

## بررسی کارایی همزیستی قارچ‌های میکوریزا با گیاه ذرت تحت شرایط تنش کم آبی و سطوح مختلف فسفر

دیاکو قربانیان<sup>۱\*</sup>، فرهاد رجالی و اشرف اسمعیلی زاد

دکتری اکولوژی زراعی.

diyako\_ghorbaniyan@yahoo.com

دانشیار، موسسه تحقیقات خاک و آب ایران.

frejali@yahoo.com

کارشناس ارشد، موسسه تحقیقات خاک و آب ایران.

Noblesse55@gmail.com

### چکیده

امروزه کاربرد قارچ‌های میکوریزی به منظور بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه و افزایش مقاومت آن در برابر تنش‌های محیطی از جمله کمبود آب قابل دسترس به طور گسترده‌ای در کشورهای در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته است. این قارچ‌ها با مهیا نمودن شرایط لازم برای جذب بیشتر عناصر معدنی (به ویژه عناصر با تحرک اندک در خاک) و آب توسط گیاهان نقش موثری در پایداری اکوسیستم‌های مختلف بر عهده دارند. در این تحقیق اثرات قارچ‌های میکوریزی و سطوح مختلف کود شیمیایی فسفره بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در سطوح مختلف آبیاری بر روی گیاه ذرت انجام گرفت. این آزمایش در طی دو سال زراعی بصورت طرح اسپلیت فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کاملا تصادفی و با چهار تکرار انجام شد. سطوح مختلف آبیاری در سه سطح (A1, A2, A3) بر اساس سطح تیخیر از تشتک کلاس آ به ترتیب ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تیخیر در کرت‌های اصلی و مقادیر مختلف فسفر در سه سطح (P1, P2, P3) به ترتیب صفر، ۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر بر مبنی  $P_2O_5$  و همچنین قارچ میکوریز در دو سطح عدم استفاده و استفاده (اضافه کردن شش گرم مایه تلقیح قارچ زیر هر بذر) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج این آزمایش نشان داد که اثرات تلقیح قارچ‌های میکوریزی از نظر آماری بر روی صفات مورد بررسی مثبت و معنی‌دار گردید. از میان اثر متقابل سه‌گانه آبیاری / فسفر / قارچ‌های میکوریزی، بالاترین عملکرد دانه ( $5.45 \text{ kg/h}$ ) و وزن هزار دانه ( $P < 0.05$ ) و همچنین غلظت فسفر ( $P < 0.01$ ) در تیمار با آبیاری مناسب، سطح دوم کود شیمیایی فسفره و مایه تلقیح میکوریزی (A1P2G2) مشاهده گردید. با ایجاد تنش، بالاترین عملکرد دانه، وزن هزاردانه، علوفه تر و غلظت فسفر در تیمار با تنش متوسط آبی و استفاده از سطح دوم کود شیمیایی فسفره ( $60 \text{ kg/ha}$ ) و استفاده از مایه تلقیح قارچ میکوریزی (A2P2G2) به دست آمد. همچنین بالاترین طول گیاه ( $242/87 \text{ cm}$ ) نیز نسبت به تمامی تیمارهای اعمال شده در همین تیمار به دست آمد. نتایج نشان داد که در سطح متوسط تنش آبی و استفاده از مقدار مناسب کود شیمیایی فسفره و در تلقیح با قارچ میکوریز عملکرد افزایش یافت و با بالا رفتن شدت تنش کم آبی، عملکرد کم شد.

واژه های کلیدی: کمبود رطوبت، کود شیمیایی، همزیستی.

۱ - آدرس نویسنده مسئول: تهران، خ آفریقا، بلوار صبا، پلاک ۲، شرکت BAT پارس.

\* - دریافت: مهر ۱۳۹۲ و پذیرش: آبان ۱۳۹۳

## مقدمه

آب بیشترین اهمیت را برای تولید و رشد گیاهان دارد، چرا که در جذب مواد غذایی و حلالیت و حرکت مواد در گیاهان نقش بسزایی ایفا می‌کند. تحت شرایط استرس خشکی فعالیت‌های حیاتی گیاه مانند فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌ها کاهش و در نهایت رشد و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (مونز، ۲۰۰۲). کاهش رشد و کوچک شدن اندازه برگ غالباً نتیجه مستقیم اثر خشکی بر روی فرآیندهای فیزیولوژیک است. نخستین و حساس‌ترین واکنش نسبت به کمبود آب، کاهش در آماس سلول‌ها و کاهش رشد خصوصاً "طول شدن" می‌باشد. متابولیسم پروتئین و سنتز اسید آمینه و در نهایت تقسیم سلولی کاهش می‌یابد (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۶).

محققان زیادی در جهت برطرف نمودن اثرات سوء ناشی از این تغییرات نشان دادند که قارچ‌های میکوریزی می‌توانند اثرات نامطلوب تنش خشکی در گیاهان را تقلیل دهند (میرانصاری ۲۰۱۰؛ اگه، ۲۰۰۱). قارچ‌های میکوریزی به عنوان جزء اصلی در بیشتر اکوسیستم‌ها، اثرات مثبتی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاهان همزیست دارند (گوسلینگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ هاریر و واتسون، ۲۰۰۴). در مطالعات بسیار زیادی به نقش قارچ‌های میکوریزی در افزایش توانایی گیاه در جذب بیشتر عناصر معدنی و آب اشاره شده است (آزکون آگیلار و بارآ، ۲۰۰۲؛ لی و زیوای، ۲۰۰۵؛ کاپور و همکاران، ۲۰۰۷).

افزایش فتوسنتز گیاه توسط قارچ‌های میکوریز توسط کوپتا و همکاران (۲۰۰۶) به اثبات رسیده است. شواهد بسیار زیادی وجود دارد که گیاهان می‌توانند سرعت فتوسنتز خود را افزایش دهند تا نیازهای همزیست خود را تامین نمایند. این عمل از طریق افزایش سطح برگ و افزایش مقدار تثبیت  $CO_2$  به ازای واحد وزن برگ انجام می‌گیرد. گیاهان میکوریزی در دوره‌های خشکی بهتر از گیاهان غیرمیکوریزی  $CO_2$  را جذب می‌نمایند (آزکون آگیلار و بارآ، ۲۰۰۲).

رابطه همزیستی بین قارچ میکوریز و انواع گیاهان با ایجاد شبکه گسترده هیفی این قارچ‌ها باعث افزایش جذب آب و مواد غذایی از طریق ریشه گیاهان (قاضی و زاک، ۲۰۰۳) و موجب افزایش رشد گیاه میزبان در طی دوره تنش خشکی می‌شود (سیمپسون و دافت، ۱۹۹۰).

گیاهان دارای همزیستی میکوریزی، نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی، آب را از خاک سریع‌تر و کامل‌تر تخلیه می‌نمایند، زیرا در گیاهان میکوریزی معمولاً اندام هوایی و سطح برگ‌ها در گیاه توسعه بیشتری پیدا می‌کند که این خود باعث افزایش نیاز تعرقی گیاهان میکوریزی می‌شود. از طرف دیگر سیستم ریشه‌ای در گیاهان میکوریزی منشعب‌تر شده، قطر ریشه‌های فرعی در آنها کاهش و طول ریشه افزایش یافته است. به همین دلیل ریشه‌های میکوریزی سطح تماس بیشتری با خاک پیدا کرده و قادر به جذب سریع‌تر آب از خاک می‌شود. حتی در گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی در شرایطی که از نظر اندازه یکسان بوده‌اند دیده شده است که در گیاهان میکوریزی آب سریع‌تر جذب شده و پتانسیل آب خاک سریع‌تر کاهش می‌یابد (برایلا و دانیوی، ۱۹۹۸؛ هاردی و لیتون، ۱۹۸۱).

از دیگر نقش‌های قارچ‌های میکوریز بر رشد گیاه، تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه مانند اکسین‌ها و سایتوکینین‌ها و غیره (جلبک و همکاران، ۲۰۰۴) و ارتباط سینرژیستی با میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات‌های غیر قابل جذب برای گیاهان می‌باشد. قارچ‌های میکوریزی قادر به کاهش غلظت اسید آبسزیک و افزایش هورمون اکسین و جیبرلین‌ها هستند (لیو و همکاران، ۲۰۰۰). همزیستی میکوریزی همچنین سبب افزایش تحمل گیاهان میزبان به دمای زیاد، آلودگی قارچ‌های بیماری‌زا و اسیدیته بالای خاک و همچنین تحمل به خشکی می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۰۶).

قارچ میکوریزی به طور موثری باعث افزایش ظرفیت جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف از طریق

که عملکرد بالای ذرت، مستلزم تامین آب کافی در طول دوره رشد می‌باشد. هوگ و ریچارد (۲۰۰۳)، در بررسی اثر تنش خشکی بر روی گیاه ذرت نیز اظهار نمودند که عملکرد دانه در شرایط تنش متوسط و شدید به ترتیب ۱۳ و ۲۶ درصد کاهش یافت. از آنجایی که ذرت در دوره‌های مختلف رشد و نمو نیازهای متفاوتی به عناصر غذایی دارد، اثر تنش خشکی نیز بر روند غلظت و تجمع عناصر غذایی در دوره‌های مختلف رشدی متفاوت بوده و با افزایش نیاز گیاه در هر مرحله از رشد به عنصر غذایی، اثر تنش خشکی نیز در آن دوره بیشتر خواهد بود (اوکامپو ۲۰۰۴).

بیان شده است که گیاه میزبان می‌تواند تا ۲۵ درصد از نیاز نیتروژن خود را از طریق رابطه همزیستی با قارچ‌های میکوریز آربسکولار تأمین نماید (مارشدر و دل، ۱۹۹۴). همزیستی بوجود آمده بین گیاه ذرت و گونه *Glomus intraradices* در شرایط تنش خشکی، مقدار جذب عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و منگنز را در دانه‌های ذرت افزایش داده است (سوبرامانیان و همکاران، ۱۹۹۷).

با توجه به اینکه اکثر مطالعات صورت گرفته پیرامون بررسی تاثیر قارچ‌های میکوریزی بر کاهش اثرات منفی تنش خشکی در گیاهان زراعی کشور، در محیط‌های کنترل شده گلخانه‌ای و یا به شکل آزمون‌های مزرعه‌ای یک ساله و بدون پرداختن به تکرارپذیری نتایج در سال‌های مختلف بوده است، لذا این تحقیق به صورت یک آزمون مزرعه‌ای دو ساله و در شرایط محیطی کاملاً مشابه با شرایطی که زارعین با آن روبرو می‌باشند به مرحله اجراء درآمد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ در مزرعه کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان واقع در استان قزوین انجام پذیرفت.

تولید آنزیم‌های متفاوتی مانند فسفاتازها و حلالیت عناصری مانند فسفر و عناصر کم تحرک بخصوص در شرایط تنش خشکی می‌شوند (مارشدر و دل، ۱۹۹۴).

تحقیقات زیادی در زمینه اثر این همزیستی بر جنبه‌های فیزیولوژیک گیاهان انجام شده است و نتایج نشان داده است که قارچ‌های میکوریزی جذب عناصر Fe, N, P, S, K, Mg, Ca, Mn را افزایش می‌دهند (جفریز، ۲۰۰۱). اهمیت این همزیستی در مورد جذب فسفر و عناصر با تحرک اندک در خاک در شرایط تنش آبی مشهودتر می‌باشد (لین، ۱۹۹۱؛ کلیرونوموس، ۲۰۰۰).

از آنجایی که قارچ‌های میکوریزی موجب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب عناصر معدنی از خاک و به خصوص از منابع غیر قابل دسترس آن‌ها می‌شوند، لذا عقیده بر این است که این قارچ‌ها می‌توانند جایگزین خوبی برای قسمتی از کودهای شیمیایی مصرف شده مخصوصاً کودهای فسفاته در اکوسیستم‌های مختلف باشند (موکرچی و چامولا، ۲۰۰۳).

گزارش شده است که فعالیت میکروارگانیزم‌های مفید خاک نظیر قارچ‌های میکوریزی و میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل نموده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (آرانکون و همکاران، ۲۰۰۴).

بررسی صورت گرفته بر روی چهار نوع لگوم درختی در شرایط تنش خشکی نشان داده است که در گیاهان میکوریزی، فعالیت تثبیت نیتروژن مولکولی، جذب عنصر نیتروژن و جذب فسفر بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی بوده است (اسونوبی و همکاران، ۱۹۹۱). همزیستی به وجود آمده بین قارچ‌های میکوریزی و گیاه ذرت کشت شده در شرایط مزرعه با تنش خشکی نیز نشان داده است که در گیاهان میکوریزی غلظت عناصر فسفر و مس در اندام هوایی گیاه و دانه افزایش یافته است (سیلویا و همکاران، ۱۹۹۳).

جوز و همکاران در سال ۲۰۰۰ عنوان نموده‌اند

## اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمون

نوع بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین گردید (جی و بادر، ۱۹۸۶). از خصوصیات شیمیایی خاک، pH و EC گل اشباع (رودز، ۱۹۸۲)، پتاسیم قابل جذب گیاه با استفاده از روش فلیم فتومتر (کنودسن و همکاران، ۱۹۸۲)، فسفر قابل جذب گیاه با استفاده از روش اولسن (اولسن، ۱۹۵۴)، کربن آلی خاک با استفاده از روش اکسیداسیون در محیط آبی (نلسون و سومرز، ۱۹۸۲) و مقدار آهن، مس، منگنز و روی قابل جذب گیاه از طریق عصاره‌گیری با DTPA و قرائت با دستگاه جذب اتمی (بیکر و آماجر، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری گردید.

## انجام آزمون

این آزمایش به صورت طرح اسپلیت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کاملا تصادفی و در چهار تکرار به اجرا درآمد. فاکتورهای مورد بررسی شامل: دوره‌های مختلف آبیاری در سه سطح، A1 آبیاری نرمال بدون تنش (آبیاری بعد از یک هفته)، A2 آبیاری با تنش متوسط (آبیاری بعد از دو هفته)، A3 آبیاری با تنش خشکی (آبیاری بعد از سه هفته) و بر اساس سطح تبخیر از تشتک کلاس آ و به ترتیب ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر در کرت‌های اصلی ( $900\text{m}^3$  آب برای هر هکتار در هر مرحله آبیاری) بود که بر اساس اطلاعات بافت خاک محل آزمایش (لوم و دارای ۴۶٪ شن)، شرایط آب و هوایی و اطلاعات اقلیمی استان قزوین به عنوان فاکتور اصلی در نظر گرفته شد.

مقادیر مختلف فسفر، بر اساس آزمون خاک مزرعه مورد استفاده، در سه سطح استفاده، P1 (عدم استفاده از فسفر)، P2 (۶۰ کیلوگرم در هکتار)، P3 (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) بر اساس  $P_2O_5$  انتخاب گردید.

مایه تلقیح میکوریزی ترکیبی از دو گونه قارچ میکوریز شامل *Glomus* و *Glomus mossea* و *interaradices* تهیه شده از کلکسیون میکروبی موسسه

تحقیقات خاک و آب (رجالی، ۱۳۸۹)، در دو سطح استفاده، G1 (عدم استفاده از مایه تلقیح میکوریزی) و G2 (استفاده از شش گرم مایه تلقیح میکوریزی به ازای هر بذر، معادل ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های فرعی بود. در هر سانتی‌متر مکعب از مایه تلقیح ترکیبی تعداد ۲۰۰ اندام فعال قارچ شمارش گردید. علت استفاده از تیمار ترکیبی دو گونه، نتیجه بهتر این تیمارها نسبت به تیمارهای تک‌گونه‌ای می‌باشد (رجالی ۱۳۸۹ و ۱۳۸۸). بدیهی است اثر مشاهده شده به همزیستی ایجاد شده بین این دو گونه و گیاه میزبان نسبت داده می‌شود.

کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب از منابع اوره ۴۶ درصد، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم تأمین گردیدند. آماده‌سازی زمین طبق روال منطقه، با یک شخم و دو دیسک عمود بر هم انجام گرفت و بعد از تقسیم‌بندی کرت‌ها بر اساس نقشه اجرای طرح، میزان کودهای مورد نظر همراه با کودهای ریز مغذی شامل آهن و منگنز به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار و روی و مس به مقدار ۲۰ کیلوگرم در هکتار مصرف و با خاک در عمق مناسب مخلوط گردیدند.

برای جلوگیری از اختلاط آب آبیاری، بین هر کرت یک و نیم متر و بین هر تکرار پنج متر فاصله و همچنین دو کانال آب که یکی مربوط به آب آبیاری و دیگری مربوط به آب خروجی بود ایجاد گردید.

زمان کاشت ۱۵ اردیبهشت در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۷، با تراکم ۷۱۰۰۰ بوته در هکتار، با فاصله ردیف-های کاشت ۷۰ سانتی‌متر از همدیگر و ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف و رقم ذرت مورد استفاده وارپته جتا (هم مصرف علوفه‌ای دارد و هم بذری) بود که به روش بذری کشت گردید ولی برای افزایش دقت در انجام آزمایش، عملکرد دانه و عملکرد علوفه‌ای (بیوماس کل) هر دو اندازه‌گیری شدند. آبیاری به صورت نرمال و با تکرار هفته‌ای یک بار در تمامی تیمارها تا زمانی که ارتفاع گیاهان به ۲۰ سانتی‌متر برسد انجام گرفت و سپس بر اساس نقشه طرح و تیمارهای مورد نظر، شرایط تنش آبی آغاز گردید. در

مقدار  $4429 \text{ kg/h}$ ، بالاترین وزن هزاردانه با مقدار  $g$   $0/219$  و بالاترین غلظت فسفر با مقدار  $g/kg$   $0/219$  مربوط به تیمار آبیاری کافی (A1) بود.

در تیمار استفاده از فسفر، بالاترین عملکرد دانه مربوط به تیمار استفاده از میزان متوسط فسفر ( $60 \text{ kg/h}$ ) یعنی تیمار P2 با مقدار عددی  $4039 \text{ kg/h}$  بود که نسبت به تیمار P3 با میزان بالای فسفر ( $120 \text{ kg/h}$ ) تفاوت معنی داری داشت. سایر صفات نیز از نظر عددی به غیر از درصد پتاسیم در تیمار P2 از بالاترین مقدار برخوردار بودند.

اثر متقابل آبیاری در فسفر تاثیر شاخصی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد محصول، وزن علفه تر، ارتفاع گیاه، غلظت فسفر و درصد پتاسیم داشت. بالاترین عملکرد دانه ( $4684 \text{ kg/h}$ )، بالاترین غلظت فسفر و بالاترین درصد پتاسیم مربوط به تیمار A1P2 بود. همچنین بالاترین مقدار ارتفاع گیاه و وزن علفه تر نیز در همین تیمار ولی بدون تفاوت معنی دار با تیمار A2P2 بود. در شرایط استرس شدید آبی استفاده از سطح بالای فسفر (A3P3)، عملکرد دانه ( $2468 \text{ kg/h}$ )، غلظت فسفر ( $0/178 \text{ g/kg}$ )، درصد پتاسیم ( $0/687\%$ ) را به کمترین میزان خود رساند.

اثر متقابل آبیاری در مایه تلقیح میکوریزی، تاثیر شاخصی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد محصول، وزن هزاردانه، وزن علفه تر، ارتفاع گیاه و غلظت فسفر داشت. بالاترین غلظت فسفر در تیمار A1G2 (تیمار آبیاری مناسب و با استفاده از مایه تلقیح میکوریزی) با تفاوت معنی دار نسبت به سایر تیمارها بود، همچنین بالاترین عملکرد دانه و وزن علفه تر ( بدون تفاوت معنی دار با تیمار A2G2) نیز در همین تیمار مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی شدید و با وجود استفاده از مایه تلقیح میکوریزی (A3G2) تنها جذب دو عنصر پتاسیم و نیتروژن تحت تاثیر منفی قرار نگرفت.

اثر متقابل فسفر در مایه تلقیح میکوریزی، تاثیر شاخصی در سطح احتمال یک درصد بر روی عملکرد

پایان دوره برداشت یعنی مرحله خمیری نرم برای ذرت علفه ای و رسیدگی کامل، برای ارزیابی عملکرد دانه، از کلیه تیمارها به مساحت یک مترمربع و بطور تصادفی برداشت و ارزیابی صفات مورد نظر صورت گرفت. از صفات عملکردی مورد مطالعه، عملکرد دانه، وزن هزاردانه، وزن علفه تر و ارتفاع گیاه و از صفات آزمایشگاهی، عناصر ماکرو (نیتروژن، پتاسیم و فسفر) مورد بررسی قرار گرفتند.

برای اندازه گیری عناصر ماکرو، نمونه های آزمایشگاهی مخلوط گیاه (برگ، ساقه، بلال) برای هر تیمار تهیه و به طریقه مرسوم آزمایشگاهی، نیترون قابل جذب گیاه با روش تیتراسیون بعد از تقطیر و استفاده از کجل تک، پتاسیم قابل جذب گیاه با استفاده از روش فلیم فتومتری و غلظت فسفر قابل جذب به روش کالریمتری ( رنگ زرد مولیبدات وانادات) اندازه گیری انجام شد (امامی ۱۳۷۵).

نتایج به دست آمده از صفات مرفولوژیکی و آزمایشگاهی، توسط نرم افزارهای MSTATC و Exell مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

## نتایج

نتایج اندازه گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در آزمون در جدول (۱) آورده شده است. طبق اطلاعات موجود در جدول تجزیه واریانس جدول (۲)، تیمارهای آبیاری تاثیر شاخصی را در سطح احتمال یک درصد بر روی تمامی صفات مورد بررسی گذاشت. همچنین تیمارهای استفاده از فسفر نیز در سطح احتمال یک درصد بر روی تمامی صفات مورد مطالعه معنی دار شدند. تیمارهای استفاده از قارچ میکوریز، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، وزن علفه تر، ارتفاع گیاه و غلظت فسفر را در سطح احتمال یک درصد و درصد پتاسیم قابل جذب را در سطح احتمال پنج درصد معنی دار نموده و بر درصد نیتروژن اثر معنی داری نداشت.

در تیمارهای آبیاری، بالاترین عملکرد دانه با

تفاوت‌های آماری معنی‌داری را در عملکرد دانه، وزن هزاردانه و غلظت فسفر نسبت به دیگر تیمارهای تنشی از خود نشان داد. عملکرد محصول و نیز وزن هزاردانه در تیمار A2P2G2 با تیمار مشابه آن که در وضعیت آبیاری مناسب به سر برده بود (A1P2G2) تفاوت معنی‌داری نداشت که نشان دهنده این است که گیاه در شرایط تنش خشکی متوسط نسبت به شرایط آبیاری مناسب توانسته است از طریق کود شیمیایی فسفره و برقراری رابطه همزیستی میکوریزی، شرایط کمبود آب قابل دسترس را به خوبی و بدون کاهش عملکرد تحمل نماید.

این خود نشان دهنده این است که با استفاده از مقدار مناسب کود شیمیایی فسفره و بکارگیری نهاده‌های زیستی مناسب می‌توان کارایی مصرف آب را در کشت گیاهانی مثل ذرت افزایش داد. با توجه به اینکه دور آبیاری بر اساس تبخیر صورت گرفته از تشتک کلاس آ انتخاب شده بود، در مقادیر بیشتر از ۶۰ میلی‌متر، بر اساس شکل ظاهری برگ‌های گیاه و مقایسه آن‌ها با برگ گیاهانی که دارای آبیاری نرمال بودند، تجارب قبلی و عرف منطقه مشخص گردید که گیاه وارد مرحله تنش خشکی شده است، که این تنش در سطح تبخیر ۱۸۰ میلی‌متر کاهش شدیدی را در رشد و عملکرد گیاه ایجاد نمود.

هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌ای در گیاهان میکوریزی شده بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزی است که این امر در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزی می‌باشد. همچنین هدایت آبی در واحد طول ریشه در گیاهان میزبان قارچ‌های میکوریزی دو تا سه برابر بیشتر می‌باشد (تروزا، ۲۰۰۳).

این دو عامل باعث می‌گردد تا گیاهان میکوریزی شده بتوانند آب را به نحو موثرتری از خاک جذب کرده و به عبارت دیگر کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهند و بدین صورت به گیاه کمک می‌کند تا مشابه نتایج این آزمون شرایط تنش متوسط رطوبتی را تحمل نمایند. تحقیقات ارائه شده توسط سایر محققین نیز

دانه، وزن هزاردانه و غلظت فسفر و بر روی ارتفاع گیاه در سطح احتمال پنج درصد تاثیر معنی‌دار داشت. بالاترین عملکرد دانه، ارتفاع گیاه، وزن علوفه تر و غلظت فسفر (با تفاوت‌های معنی‌دار نسبت به سایر تیمارها) و همچنین بالاترین وزن هزاردانه و درصد نیتروژن (بدون تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارها) در تیمار P2G2 یعنی میزان متوسط فسفر و با استفاده از مایه تلقیح میکوریزی بود. در اولین سطح استفاده از فسفر، یعنی بدون استفاده از فسفر، و بدون مایه تلقیح میکوریزی (P1G1) عملکرد محصول، غلظت فسفر و درصد پتاسیم با تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها به کمترین مقدار خود کاهش یافت. وزن هزاردانه و غلظت نیتروژن تحت تاثیر هیچ یک از تیمارها قرار نگرفت.

در این میان اثرات سه‌گانه متقابل آبیاری/فسفر شیمیایی/مایه تلقیح میکوریزی، تاثیر شاخص در سطح احتمال پنج درصد بر روی عملکرد دانه و وزن هزاردانه و تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر غلظت فسفر داشته و بر روی صفات دیگر تاثیر معنی‌داری نداشتند. بالاترین غلظت فسفر به مقدار  $0.3 \text{ g/kg}$  و همچنین بالاترین عملکرد دانه در سطح آبیاری مناسب در تیمار A1P2G2 (استفاده از  $60 \text{ kg/ha}$  فسفر و مایه تلقیح میکوریزی) به میزان  $5056 \text{ kg/ha}$  و همچنین بالاترین وزن هزار دانه در همین تیمار حاصل شد. همچنین وزن علوفه تر و درصد نیتروژن نیز در تیمار A1P2G2، هرچند که از لحاظ آماری نسبت به تیمارهای دیگر معنی دار نبود، ولی از بیشترین مقدار عددی در این تیمار برخوردار شد.

## بحث

در این آزمایش در بررسی اثرات سه‌گانه متقابل آبیاری/فسفر/مایه تلقیح میکوریزی، تیمار A2P2G2 (با سطح تنش متوسط خشکی، مقدار  $60 \text{ kg/ha}$  کود فسفره، استفاده از مایه تلقیح میکوریزی) از وضعیت مطلوب‌تری نسبت به تیمارهای تنش خشکی برخوردار گردید، چنانکه

نشان می‌دهد که تحت تنش خشکی با وجود همزیستی میکوریزی و در نتیجه با افزایش سطح جذب توسط شبکه هیف قارچ در خاک، میتوان آب و مواد غذایی بیشتری مانند فسفر، روی، مس، آهن و در نهایت افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول، و همچنین افزایش مقاومت گیاه میزبان را در برابر تنش خشکی داشته باشیم (طرفدار و مارشنر، ۱۹۹۴) که این مطلب با نتایج این آزمایش مشابه می‌باشد.

نتایج این آزمون نشان داد که در شرایط تنش متوسط و نه شدید آبی، با استفاده از مقدار مناسب کود شیمیایی فسفره و تلقیح با قارچ میکوریزی می‌توان در عملکرد دانه افزایش ایجاد کرده و با کاهش مقدار کود فسفره و بدون تلقیح میکوریزی، کاهش عملکرد و همچنین غلظت فسفر را در گیاه ذرت خواهیم داشت. این نتایج مشابه با نتایج شیرانی راد (۱۹۹۸) و میرانصاری (۲۰۱۰) بود.

هاردی و لیتون (۱۹۸۱) روابط آبی گیاه را در سطوح مختلف غلظت فسفر مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه این محققین مشخص شد که با افزایش میزان فسفر خاک، تاثیر مفید قارچ‌های میکوریز کاهش می‌یابد و حداکثر تاثیر این قارچ‌ها در سطوح پایین فسفر ظاهر می‌شود، که این امر تاکید بر نتیجه این آزمایش است که در آن تیمارهایی با میزان ۶۰ kg/ha فسفر نسبت به تیمارهای مشابه و یا استفاده از مقدار ۱۲۰ kg/ha فسفر، اکثر صفات مورد بررسی را به طور معنی‌داری افزایش داده‌اند.

در طی تحقیقی توسط علی‌آبادی فراهانی و ولدآبادی (۱۳۸۹)، مطابق نتایج همین تحقیق، نشان داده شد که بیشترین عملکرد اندام هوایی، مقدار فسفر اندام هوایی، طول ریشه و وزن هزار دانه در گیاه گشنیز از تیمار کاربرد قارچ میکوریزی، ۷۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار و آبیاری معمولی حاصل شد. همچنین دیده شد که در بررسی اثر متقابل قارچ میکوریزی و فسفر، در تیمار میکوریزی و با استفاده از ۳۵ کیلوگرم فسفر در هکتار نسبت به تیمار میکوریزی و با استفاده از ۷۰ کیلوگرم

فسفر در هکتار درصد کلونیزاسیون ریشه به طور معنی‌داری افزایش یافت. در شبدر سفید نیز کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم فسفر در هر کیلوگرم از خاک از نظر دو شاخص وزن خشک گیاه و افزایش جذب فسفر در قسمت‌های مختلف گیاه با گیاهانی که ۵۰ میلی‌گرم فسفر دریافت کرده بودند و در کشت آن‌ها از مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزی استفاده شده بود مشابه بود (لین ۱۹۹۱). این نتایج نشان می‌دهد که در صورت مصرف مقادیر بالای کودهای شیمیایی فسفره بدلیل کاهش ترشحات ریشه‌ای گیاه، همزیستی میکوریزی از کارایی کمتری برخوردار بوده و درصد کلونیزاسیون ریشه نیز کاهش می‌یابد.

ارتفاع گیاه هرچند که از لحاظ سطوح آماری در نظر گرفته شده تحت تاثیر هیچ تیماری قرار نگرفت ولی از نظر عددی بالاترین مقدار را در همین تیمار A2P2G2 به دست آورد. گزارش شده است که قارچ میکوریز از طریق گسترش شبکه هیفی در حین همزیستی با گیاه میزبان و تبدیل فسفر غیر قابل جذب به فرم قابل جذب و انتقال آن به ریشه گیاه میزبان، سبب افزایش ارتفاع گیاه، عملکرد و اجزای عملکرد به خصوص تحت شرایط تنش خشکی می‌گردد (رجالی و همکاران، ۲۰۰۸).

صفاتی مانند وزن علوفه تر، درصد پتاسیم و نیتروژن قابل جذب نیز در هیچ کدام از تیمارهای سه‌گانه، چه تیمارهایی با آبیاری مناسب و چه در تیمارهایی با تنش خشکی، از نظر آماری تحت تاثیر معنی‌داری نسبت به یکدیگر قرار نگرفتند. اما بالاترین میزان جذب نیتروژن در تیمار تلقیح شده با قارچ میکوریز با آبیاری مناسب و مقدار فسفر مناسب یعنی A1P2G2 مشاهده گردید. گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریز آربسکولار توانایی متفاوتی در جذب نیتروژن دارند. نشان داده شده است که در همزیستی با گیاه ذرت و سویا گونه *Glomus sp* نسبت به گونه *Gigaspora margarita* کارایی بیشتری دارد (خلیل و همکاران، ۱۹۹۲). نقش قارچ‌های میکوریزی در تغذیه نیتروژنه گیاه به دلیل دارا بودن ضریب پخش زیاد آن ناچیز است. افزایش جذب

نیروژن به وسیله سیستم‌های میکوریزی بیشتر در میکوریزهای بیرونی همزیست با گیاهان جنگلی مشاهده شده است (آزکون آگیلار و بارآ، ۲۰۰۲).

اطلاعات قابل قبولی در رابطه با نقش همزیستی میکوریزی در چگونگی جذب پتاسیم توسط گیاه میزبان موجود نمی‌باشد زیرا اکثر نتایج بدست آمده با یکدیگر هماهنگ نبوده و در واقع نشان‌دهنده اثر غیر مستقیم افزایش جذب فسفر در گیاه میزبان می‌باشند، لیکن به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان داشت که حدود ۱۰ درصد از کل پتاسیم جذب شده توسط گیاه میزبان ناشی از فعالیت هیف‌های خارج ریشه‌ای قارچ-های میکوریز آربسکولار می‌باشد (مارشور و دل، ۱۹۹۴). در خاک‌های قلیایی افزایش جذب پتاسیم بستگی به نوع قارچ همزیست و گونه گیاهی دارد. در همزیستی ایجاد شده بین سویا و ایزوله‌های مختلفی از قارچ *Glomus mosseae* مشاهده شده است که تنها ایزوله‌های جداسازی شده از مناطق خشک منجر به افزایش جذب پتاسیم در گیاه میزبان شده‌اند (بتلن فالوی و همکاران، ۱۹۸۹).

بر طبق گزارش سونگ (۲۰۰۵)، بهبود شرایط ریزوسفر خاک در شرایط تنش، توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه، افزایش سیستم دفاعی گیاه میزبان و مقاومت در برابر پاتوژن‌های گیاهی و کاهش خطرات اکسیداسیون ناشی از تنش خشکی را می‌توان به اثرات مثبت همزیستی میکوریز مرتبط دانست، مواردی که نتایج این تحقیق نیز به تعدادی از آنها اشاره داشته است.

### نتیجه کلی

با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص می‌گردد که از بین نهاده‌های استفاده شده در این

تحقیق میزان آبی که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد بیشترین تاثیر را در رشد و عملکرد گیاه از خود بر جای می‌گذارد. پایین‌ترین عملکرد دانه و وزن تر علوفه در شرایط تنش شدید رطوبتی حاصل گردید با افزایش میزان آب شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه افزایش یافته است. چنانچه از بین شاخص‌های بررسی شده دو شاخص عملکرد دانه و وزن تر علوفه که نسبت به سایرین از اهمیت بیشتری برخوردار هستند را مورد توجه قرار دهیم مشخص می‌گردد که در اثر متقابل آب و کود فسفره بالاترین عملکرد دانه و وزن تر علوفه در تیمار A1P2 بدست آمد که از نظر شاخص وزن تر علوفه تفاوت معنی‌داری با تیمار A2P2 نشان نمی‌دهد.

در اثر متقابل آب و تلقیح میکوریزی نیز بالاترین عملکرد دانه و وزن تر علوفه در تیمار A1G1 بدست آمد که از نظر هر دو شاخص تفاوتی بین A1G2 با A2G2 مشاهده نمی‌گردد. در اثر متقابل کود شیمیایی در تلقیح میکوریزی نیز بالاترین عملکرد دانه و وزن تر علوفه در تیمار P2G2 اندازه‌گیری گردید. در اثر متقابل سه گانه آب، کود شیمیایی فسفره و تلقیح میکوریزی نیز بالاترین عملکرد دانه و وزن تر علوفه در تیمار A1P2G2 بدست آمد که از نظر وزن تر علوفه تفاوتی بین این تیمار با تیمار A2P2G2 مشاهده نمی‌گردد.

بنابراین به نظر می‌رسد در مناطقی با اقلیم مشابه منطقه اجرای آزمایش که محدودیت منابع آبی وجود دارد، استفاده از مقادیر مناسب کودهای شیمیایی فسفره و به کار گرفتن این نوع همزیستی‌ها به منظور افزایش توانایی گیاه در جذب موثرتر آب و مواد معدنی و کاهش مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی به منظور جلوگیری از افزایش شوری خاک، روش مناسبی برای تولید بیشتر محصولات غذایی با هزینه کمتر برای کشاورزان می‌باشد.



جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمون

| Cu                  | Mn   | Zn   | Fe  | K   | P | N    | O.C  | EC                 | pH<br>گل اشباع | شن | سیلت | رس | بافت |
|---------------------|------|------|-----|-----|---|------|------|--------------------|----------------|----|------|----|------|
| mg.kg <sup>-1</sup> |      |      |     |     |   | %    |      | dS.m <sup>-1</sup> |                | %  |      |    |      |
| ۰/۷۸                | ۰/۷۸ | ۲/۴۲ | ۲/۵ | ۴۰۸ | ۸ | ۰/۰۵ | ۱/۵۲ | ۱/۷                | ۷/۵            | ۴۶ | ۴۰   | ۱۴ | لوم  |

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده

| میانگین مربعات (MS)  |                      |                      |                      |                       |                          |               | منابع تغییرات<br>S.O.V  |  |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|---------------|-------------------------|--|
| در صد<br>پتاسیم      | غلظت<br>فسفر         | در صد<br>نیترژن      | علوفه تر             | وزن هزاردانه          | عملکرد دانه              | درجه<br>آزادی |                         |  |
| ۰/۰۳ <sup>NS</sup>   | ۰/۰ <sup>NS</sup>    | ۰/۰ <sup>NS</sup>    | ۲۰/۰۶ <sup>NS</sup>  | ۸۳/۱ <sup>NS</sup>    | ۳۶۰۶۵۹/۳۷۰ <sup>NS</sup> | ۳             | تکرار                   |  |
| ۰/۰۰۰ <sup>n.s</sup> | ۰/۰۰۱ <sup>n.s</sup> | ۰/۰۱۴*               | ۷۱۵/۵۶*              | ۴۶۴/۸۴۰*              | ۶۹۶۱۱۲/۱۱۱ <sup>NS</sup> | ۱             | سال (Y)                 |  |
| ۰/۰۰۴                | ۰/۰۰                 | ۰/۰۰                 | ۶۷/۶۹                | ۲۷/۷۱۱                | ۲۵۷۰۸۸/۴۰۷               | ۳             | خطا                     |  |
| ۰/۰۸۹**              | ۰/۰۰۲**              | ۰/۰۴۴**              | ۱۶۶۲**               | ۳۱۳۲/۵۰۷**            | ۳۹۴۳۴۷۴۴/۱۱۱**           | ۲             | آبیاری (A)              |  |
| ۰/۱۱۱**              | ۰/۰۱**               | ۰/۰۱۸**              | ۱۹۷/۱۴**             | ۲۹۲/۵۴۹**             | ۲۳۰۵۵۱۸/۸۶۱**            | ۲             | فسفر (P)                |  |
| ۰/۰۱۴**              | ۰/۰۰۱ <sup>NS</sup>  | ۰/۰۰۹*               | ۴/۵۲ <sup>n.s</sup>  | ۶۶/۵۴۹ <sup>n.s</sup> | ۴۳۸۱۳۴/۱۹۴**             | ۲             | YP                      |  |
| ۰/۰۱۳**              | ۰/۰۰۵**              | ۰/۰۰۲ <sup>n.s</sup> | ۷۵/۵۷**              | ۵۵/۲۰۵ <sup>n.s</sup> | ۴۶۲۹۷۱/۱۹۴**             | ۴             | AP                      |  |
| ۰/۰۰۲ <sup>n.s</sup> | ۰/۰۰۱ <sup>n.s</sup> | ۰/۰۰۵ <sup>n.s</sup> | ۲۷/۳۸ <sup>n.s</sup> | ۵۵/۹۹۷ <sup>n.s</sup> | ۱۱۶۰۰۵/۱۹۴ <sup>NS</sup> | ۴             | YAP                     |  |
| ۰/۰۱*                | ۰/۰۱۳**              | ۰/۰۰۶ <sup>n.s</sup> | ۳۶۴/۱۷**             | ۵۶۸۷/۶۷۴**            | ۵۲۰۱۴۴۰/۴۴۴**            | ۱             | مایه تلقیح میکوریزی (G) |  |
| ۰/۰۰۰ <sup>n.s</sup> | ۰/۰۰ <sup>NS</sup>   | ۰/۰۰۷ <sup>n.s</sup> | ۳/۰۶ <sup>n.s</sup>  | ۱۸/۰۶۳ <sup>n.s</sup> | ۲۰۷۳۲۸/۴۴۴ <sup>NS</sup> | ۱             | YG                      |  |
| ۰/۰۰۴ <sup>n.s</sup> | ۰/۰۱**               | ۰/۰۰۱ <sup>n.s</sup> | ۸۴/۲۹**              | ۱۲۲۱/۵۴۹**            | ۱۸۸۰۰۹۴/۷۷۸**            | ۲             | AG                      |  |
| ۰/۰۰۲ <sup>n.s</sup> | ۰/۰۰ <sup>NS</sup>   | ۰/۰۰۱ <sup>n.s</sup> | ۳۰/۰۶ <sup>n.s</sup> | ۱۳/۰۲۱ <sup>n.s</sup> | ۳۵۴۶۷/۴۴۴ <sup>NS</sup>  | ۲             | YAG                     |  |
| ۰/۰۰۰ <sup>n.s</sup> | ۰/۰۰۵**              | ۰/۰۰۱ <sup>n.s</sup> | ۱۰۱/۹۶**             | ۳۰/۹۶۵ <sup>n.s</sup> | ۳۹۱۹۴۷/۵۲۸**             | ۲             | PG                      |  |
| ۰/۰۰۲ <sup>n.s</sup> | ۰/۰۰ <sup>NS</sup>   | ۰/۰۰۱ <sup>n.s</sup> | ۵/۶۴ <sup>n.s</sup>  | ۳۹/۵۲۱ <sup>n.s</sup> | ۲۱۲۴۸/۸۶۱ <sup>NS</sup>  | ۲             | YPG                     |  |
| ۰/۰۰۳ <sup>n.s</sup> | ۰/۰۰۳**              | ۰/۰۰۳ <sup>n.s</sup> | ۵/۳۷ <sup>n.s</sup>  | ۱۰۸/۲۴۷*              | ۲۱۲۳۶۸/۱۱۱*              | ۴             | APG                     |  |
| ۰/۰۰۰ <sup>n.s</sup> | ۰/۰۰۰ <sup>n.s</sup> | ۰/۰۰۳ <sup>n.s</sup> | ۱۷/۶۱ <sup>n.s</sup> | ۱۵/۸۸۵ <sup>n.s</sup> | ۱۰۵۴۲۱/۶۱۱ <sup>NS</sup> | ۴             | YAPG                    |  |
| ۰/۰۰۲                | ۰/۰۰                 | ۰/۰۰۲                | ۱۶/۶۹                | ۳۲/۵۰۵                | ۶۴۷۰۵/۲۹۶                | ۹۰            | خطا                     |  |
| ۵/۰۸                 | ۱۰/۶۸                | ۵/۸                  | ۸/۴۷                 | ۴/۲۴                  | ۶/۷۱                     |               | درصد ضریب تغییرات       |  |

\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و NS غیر معنی دار

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی و اثرات متقابل تیمارها بر صفات اندازه گیری شده

| تیمار    | عملکرد دانه (kg/ha) | ارتفاع گیاه (cm)     | وزن هزار دانه (g)    | علوفه تر Ton/ha     | درصد نیتروژن       | غلظت فسفر (g/kg)    | درصد پتاسیم         |
|----------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| A1       | ۴۴۲۹ <sup>a</sup>   | ۲۲۶.۳۱ <sup>a</sup>  | ۱۴۳.۲۹ <sup>a</sup>  | ۵۱.۴۱ <sup>a</sup>  | ۰.۸۱۳ <sup>a</sup> | ۰.۲۱۹ <sup>a</sup>  | ۰.۸۲۰ <sup>a</sup>  |
| A2       | ۴۱۹۵ <sup>b</sup>   | ۲۲۵.۶۸ <sup>a</sup>  | ۱۳۸.۶۲ <sup>b</sup>  | ۵۱.۸۳ <sup>a</sup>  | ۰.۷۹۰ <sup>a</sup> | ۰.۱۹۷ <sup>b</sup>  | ۰.۸۲۰ <sup>a</sup>  |
| A3       | ۲۷۵۵ <sup>c</sup>   | ۱۷۴.۶۲ <sup>b</sup>  | ۱۲۷.۵۶ <sup>c</sup>  | ۴۱.۴۳ <sup>b</sup>  | ۰.۷۵۲ <sup>b</sup> | ۰.۱۷۸ <sup>c</sup>  | ۰.۷۴۶ <sup>b</sup>  |
| P1       | ۳۶۱۹ <sup>b</sup>   | ۲۰۸.۵ <sup>ab</sup>  | ۱۳۴.۰۲ <sup>b</sup>  | ۴۷.۵۸ <sup>b</sup>  | ۰.۷۸۹ <sup>a</sup> | ۰.۱۸۳ <sup>c</sup>  | ۰.۸۲۶ <sup>a</sup>  |
| P2       | ۴۰۳۹ <sup>a</sup>   | ۲۱۱.۲ <sup>a</sup>   | ۱۳۸.۹۵ <sup>a</sup>  | ۵۰.۵ <sup>a</sup>   | ۰.۸۰۱ <sup>a</sup> | ۰.۲۱۱ <sup>a</sup>  | ۰.۸۲۰ <sup>a</sup>  |
| P3       | ۳۷۲۲ <sup>b</sup>   | ۲۰۶.۹۱ <sup>b</sup>  | ۱۳۶.۵ <sup>ab</sup>  | ۴۶.۶ <sup>b</sup>   | ۰.۷۶۴ <sup>b</sup> | ۰.۲۰۱ <sup>b</sup>  | ۰.۷۴۰ <sup>b</sup>  |
| A1G1     | ۴۳۴۶ <sup>b</sup>   | ۲۲۴.۳۷ <sup>bc</sup> | ۱۳۳.۵۴ <sup>c</sup>  | ۴۸.۶۶ <sup>b</sup>  |                    | ۰.۱۹۲ <sup>c</sup>  |                     |
| A1G2     | ۴۶۱۳ <sup>a</sup>   | ۲۲۸.۲۵ <sup>ab</sup> | ۱۵۴.۰۴ <sup>a</sup>  | ۵۴.۱۶ <sup>a</sup>  |                    | ۰.۲۴۵ <sup>a</sup>  |                     |
| A2G1     | ۳۸۰۴ <sup>c</sup>   | ۲۱۹.۸۳ <sup>c</sup>  | ۱۳۱.۳۳ <sup>cd</sup> | ۴۹.۹۵ <sup>a</sup>  |                    | ۰.۱۹۳ <sup>c</sup>  |                     |
| A2G2     | ۴۵۸۶ <sup>a</sup>   | ۲۳۱.۵۴ <sup>a</sup>  | ۱۴۵.۹۱ <sup>b</sup>  | ۵۳.۷ <sup>a</sup>   |                    | ۰.۲۰۱ <sup>b</sup>  |                     |
| A3G1     | ۲۷۶۰ <sup>d</sup>   | ۱۷۵.۷۵ <sup>d</sup>  | ۱۲۶.۷۵ <sup>d</sup>  | ۴۱.۲۹ <sup>c</sup>  |                    | ۰.۱۷۹ <sup>d</sup>  |                     |
| A3G2     | ۲۷۵۱ <sup>d</sup>   | ۱۷۳.۵ <sup>d</sup>   | ۱۲۸.۳۷ <sup>cd</sup> | ۴۱.۵۸ <sup>c</sup>  |                    | ۰.۱۷۸ <sup>e</sup>  |                     |
| A1P1     | ۴۱۶۷ <sup>cd</sup>  | ۲۲۵.۹۳ <sup>ab</sup> |                      | ۴۸.۳۱ <sup>b</sup>  |                    | ۰.۱۸۷ <sup>e</sup>  | ۰.۸۸۲ <sup>a</sup>  |
| A1P2     | ۴۶۸۴ <sup>a</sup>   | ۲۲۷.۸۷ <sup>a</sup>  |                      | ۵۴.۷۵ <sup>a</sup>  |                    | ۰.۲۵۳ <sup>a</sup>  | ۰.۸۸۲ <sup>a</sup>  |
| A1P3     | ۴۴۳۷ <sup>b</sup>   | ۲۲۵.۱۲ <sup>ab</sup> |                      | ۵۱.۱۸ <sup>ab</sup> |                    | ۰.۲۱۵ <sup>b</sup>  | ۰.۸۲۹ <sup>bc</sup> |
| A2P1     | ۴۴۳۷ <sup>b</sup>   | ۲۱۹.۸۷ <sup>b</sup>  |                      | ۵۱.۲۵ <sup>ab</sup> |                    | ۰.۱۸۲ <sup>f</sup>  | ۰.۷۴۹ <sup>e</sup>  |
| A2P2     | ۳۹۵۶ <sup>d</sup>   | ۲۳۱.۶۸ <sup>a</sup>  |                      | ۵۴.۶۸ <sup>a</sup>  |                    | ۰.۲۰۰ <sup>d</sup>  | ۰.۸۴۳ <sup>ab</sup> |
| A2P3     | ۴۳۶۸ <sup>bc</sup>  | ۲۲۵.۵ <sup>ab</sup>  |                      | ۴۹.۵۶ <sup>b</sup>  |                    | ۰.۲۰۹ <sup>c</sup>  | ۰.۸۳۵ <sup>bc</sup> |
| A3P1     | ۴۲۶۰ <sup>bc</sup>  | ۱۷۹.۶۸ <sup>c</sup>  |                      | ۴۳.۱۸ <sup>c</sup>  |                    | ۰.۱۷۷ <sup>j</sup>  | ۰.۷۸۳ <sup>de</sup> |
| A3P2     | ۳۰۶۵ <sup>e</sup>   | ۱۷۴.۰۶ <sup>cd</sup> |                      | ۴۲.۰۶ <sup>cd</sup> |                    | ۰.۱۷۹ <sup>g</sup>  | ۰.۷۵۲ <sup>e</sup>  |
| A3P3     | ۲۴۶۸ <sup>g</sup>   | ۱۷۵.۱۲ <sup>d</sup>  |                      | ۳۹.۰۶ <sup>d</sup>  |                    | ۰.۱۷۸ <sup>h</sup>  | ۰.۷۹۷ <sup>cd</sup> |
| P1G1     | ۳۵۰۰ <sup>d</sup>   | ۲۰۷.۹۱ <sup>b</sup>  |                      | ۴۷.۲۹ <sup>b</sup>  |                    | ۰.۱۸۱ <sup>f</sup>  | ۰.۶۸۷ <sup>f</sup>  |
| P1G2     | ۳۷۳۷ <sup>bc</sup>  | ۲۰۹.۰۸ <sup>b</sup>  |                      | ۴۷.۸۷ <sup>b</sup>  |                    | ۰.۱۸۴ <sup>e</sup>  | ۰.۸۱۷ <sup>a</sup>  |
| P2G1     | ۳۷۴۷ <sup>bc</sup>  | ۲۰۷.۱۶ <sup>b</sup>  |                      | ۴۷.۳۳ <sup>b</sup>  |                    | ۰.۱۹۰ <sup>d</sup>  | ۰.۸۳۵ <sup>a</sup>  |
| P2G2     | ۴۳۳۱ <sup>a</sup>   | ۲۱۵.۲۵ <sup>a</sup>  |                      | ۵۳.۶۶ <sup>a</sup>  |                    | ۰.۲۳۱ <sup>a</sup>  | ۰.۸۱۲ <sup>a</sup>  |
| P3G1     | ۳۵۶۲ <sup>cd</sup>  | ۲۰۴.۸۷ <sup>b</sup>  |                      | ۴۵.۲۹ <sup>b</sup>  |                    | ۰.۱۹۴ <sup>c</sup>  | ۰.۸۲۸ <sup>a</sup>  |
| P3G2     | ۳۸۸۲ <sup>b</sup>   | ۲۰۸.۹۵ <sup>b</sup>  |                      | ۴۷.۹۱ <sup>b</sup>  |                    | ۰.۲۰۸ <sup>b</sup>  | ۰.۷۳۳ <sup>a</sup>  |
| A1P1G1   | ۴۰۳۸ <sup>ef</sup>  |                      | ۱۳۱.۵ <sup>de</sup>  |                     |                    | ۰.۱۸۵ <sup>gh</sup> |                     |
| A1P1G2   | ۴۲۹۷ <sup>cde</sup> |                      | ۱۴۶.۷۵ <sup>bc</sup> |                     |                    | ۰.۱۸۹ <sup>f</sup>  |                     |
| A1P2G1   | ۴۳۱۲ <sup>cde</sup> |                      | ۱۳۳ <sup>d</sup>     |                     |                    | ۰.۲۰۶ <sup>d</sup>  |                     |
| A1P2G2   | ۵۰۵۶ <sup>a</sup>   |                      | ۱۵۷.۷۵ <sup>a</sup>  |                     |                    | ۰.۳۰۰ <sup>a</sup>  |                     |
| A1P3G1   | ۴۳۸۷ <sup>cd</sup>  |                      | ۱۳۳.۱۲ <sup>d</sup>  |                     |                    | ۰.۱۸۶ <sup>g</sup>  |                     |
| A1P3G2   | ۴۴۸۷ <sup>c</sup>   |                      | ۱۵۷.۶۲ <sup>a</sup>  |                     |                    | ۰.۲۴۵ <sup>b</sup>  |                     |
| A2P1G1   | ۳۷۲۳ <sup>g</sup>   |                      | ۱۲۸.۷۵ <sup>de</sup> |                     |                    | ۰.۱۸۰ <sup>j</sup>  |                     |
| A2P1G2   | ۴۱۸۷ <sup>de</sup>  |                      | ۱۴۵.۸۷ <sup>bc</sup> |                     |                    | ۰.۱۸۴ <sup>j</sup>  |                     |
| A2P2G1   | ۳۹۱۸ <sup>f g</sup> |                      | ۱۳۲.۵ <sup>de</sup>  |                     |                    | ۰.۱۸۴ <sup>hi</sup> |                     |
| A2P2G2   | ۴۸۱۸ <sup>ab</sup>  |                      | ۱۵۰.۸۷ <sup>ab</sup> |                     |                    | ۰.۲۱۶ <sup>c</sup>  |                     |
| A2P3G2   | ۳۷۶۸ <sup>g</sup>   |                      | ۱۴۱ <sup>c</sup>     |                     |                    | ۰.۲۰۲ <sup>e</sup>  |                     |
| A3P1G1   | ۴۷۵۲ <sup>b</sup>   |                      | ۱۲۴.۱۲ <sup>e</sup>  |                     |                    | ۰.۱۷۶ <sup>l</sup>  |                     |
| A3P1G2   | ۲۷۳۷ <sup>j</sup>   |                      | ۱۲۷.۱۲ <sup>de</sup> |                     |                    | ۰.۱۷۸ <sup>k</sup>  |                     |
| A3 P2Gg1 | ۲۷۲۸ <sup>j</sup>   |                      | ۱۲۹.۷۵ <sup>de</sup> |                     |                    | ۰.۱۸۱ <sup>j</sup>  |                     |
| A3 P2G2  | ۳۰۱۲ <sup>h</sup>   |                      | ۱۲۹.۸۷ <sup>de</sup> |                     |                    | ۰.۱۷۸ <sup>k</sup>  |                     |
| A3P3G1   | ۳۱۱۸ <sup>h</sup>   |                      | ۱۲۶.۳۷ <sup>de</sup> |                     |                    | ۰.۱۸۰ <sup>j</sup>  |                     |
| A3P3G2   | ۲۵۳۱ <sup>j</sup>   |                      | ۱۲۸.۱۲ <sup>de</sup> |                     |                    | ۰.۱۷۷ <sup>kl</sup> |                     |

A1: آبیاری نرمال بدون تنش، A2: آبیاری با تنش متوسط، A3: آبیاری با تنش خشکی  
 P1: عدم استفاده از فسفر، P2: استفاده از ۶۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، P3: استفاده از ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفر  
 G1: عدم استفاده از مایه تلقیح میکوریزی، G2: استفاده از مایه تلقیح میکوریزی

## فهرست منابع

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روشهای تجزیه گیاه، جلد اول، نشریه شماره ۹۸۲، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.
۲. رجالی، ف. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر گونه های مختلف قارچ های میکوریز آربوسکولار در جذب عناصر معدنی پر مصرف و کم مصرف در گندم، گزارش نهایی شماره ۱۴۴۶. موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران.
۳. رجالی، ف. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر گونه های مختلف قارچ های میکوریزی در اصلاح روابط آبی گندم در شرایط تنش خشکی، گزارش نهایی شماره ۱۴۸۲. موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران.
۴. رجالی، ف. ۱۳۸۹. شناسایی قارچ های میکوریز آربوسکولار بومی اراضی زیر کشت گندم دیم و تعیین توانایی آنها برای برقراری رابطه همزیستی با گیاه گندم، گزارش نهایی شماره ۱۵۱۵. موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران.
۵. علی احیائی، م. و ع. بهبهانی زاده. ۱۳۷۲. شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک، جلد اول، نشریه شماره ۸۹۳، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.
۶. علی آبادی فراهانی، ح. و س. ع. ولدآبادی. ۱۳۸۹. نقش قارچ میکوریز آربوسکولار بر گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) در شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش های خاک، علوم خاک و آب. جلد ۲۴، شماره یک، صفحات ۸۰-۶۹.
۷. کوچکی، ع. ، ا. سلطانی و م. عزیزی. ۱۳۷۶. اکو فیزیولوژی گیاهی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. صفحات ۲۱۴-۲۱۹.
8. Arancon, N., C. A. Edwards, P. Bierman, C. Welch and J. D. Metzger. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technol.* 93: 145-153.
9. Azcón-Aguilar, J. and M. Barea. 2002. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Scientia Horticulturae.* 68 (1-4): 1-24.
10. Baker, D. E., M. C. Amachar. 1982. Nickel, copper, zinc and cadmium. In: Page A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R., editors. *Methods of soil analysis, part 2.* Madison: American Society of Agronomy. 323-338.
11. Bethlenfalvay, G. J., R. L. Franson, M. S. Brownand and K. L. Mibara. 1989. The *Glycne-Glomus-Bradyrhizobium* symbiosis, IX: Nutritional, morphological and physiological responses of nodulated soybean to geopgraphic isolates of the mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae*. *Physiologia Plantarum.* 76: 226-232.
12. Bryla, D. R. and J. M., Duniway. 1998. The influence of the mycorrhiza *Glomus etunicatum* on drought acclimation on safflower and wheat. *Plant and Soil.* 104:87-96.
13. Celik, I., I. Ortas and S. Kilic. 2004. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research.* 78(1): 59-67.
14. Chen, B. D., Y. G. Zhu and F. A. Smith. 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on uranium and arsenic accumulation by Chinese brake fern (*Pteris vittata* L.) from a uranium mining-impacted soil. *Chemosphere.* 62: 1464-73.
15. Copetta, A., G. Lingua and G. Berta. 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. *Genovese*. *Mycorrhiza.* 16: 485-494.
16. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. In: Klute A(ed) *Methods of soil Analysis, Part 1.* 2 ed., Agronomy Monographs. American Society of Agronomy and Soil science Society. Madison. 9: 383-411.

17. Ghazi, A. K. and B. M. Zak. 2003. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*. 14: 263-269.
18. Hardi, K., and L. Leyton. 1981. The influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on growth and water relations of red clover. *New Phytologist*. 89: 599-608.
19. Harrier, L. A., and C. A. Watson. 2004. The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. *Pest Management science*. 60(2): 149-57.
20. Hugh, Earl, J. and F. D. Richard. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journul*. 95: 688-69
21. Jeffries, P. 2001. Achievements in the past and outlook for the future of AMF. Research School of Biosciences, University Of kent. Canterbury. kent.
22. Jose, C., F. Inma, D. phillippe and M. Faci. 2000. Simulation of maize yield under water stress with the EPIC phase and CROPWAT modeles. *Agronomy Journal*. 92:669- 679.
23. Kapoor, R., V. Chaudhary and A. K. Bhatnagar. 2007. Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. *Mycorrhiza*. 17:581-587.
24. Khalil, S., T. E. Loynachan and H. S. MC-Nabb. 1992. Colonization of soybean by mycorrhizal fungi and spore population in Iowa soil. *Agronomy Journal*. 84(5): 832-836.
25. Klironomos, J. 2000. Host-specificity and functional diversity among arbuscular mycorrhizal fungi. Department of Botany, University of Guelph. Ontario N1G2W1. Plant-Microve Interactions.
26. Knudsen, D., G. A. Peterson, and P. F. Pratt. 1982. Lithium, sodium, and potassium. In A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney, editors. *Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. 225–246.
27. Li, T., and Z. Zhiwei. 2005. Arbuscular mycorrhizas in a hot and arid ecosystem in southwest China. *Applied soil Ecology*. 29: 135-141.
28. Li-Lin, X., E. George and H. Marschner. 1991. Extention of the phosphorus depletion zone in VAM mycorrhizal white clover in a calcareous soil. *Plant and Soil*. 136: 41-48.
29. Liu. R., M. Li, X. Meng. 2000. Effects of AM fungi on endogenous hormones in corn and cotton plants. *Mycosystem*. 19: 91-96.
30. Marchner, H. and B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil*. 159: 89-102.
31. Miransari, M. 2010. Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stresses. Review article. *Plant Biology*. 12: 563-569.
32. Mukerji, K. G. and B. P. Chamola. 2003. *Compendium of mycorrhizal research*. A. P. H. Publisher. New Delhi. p. 310.
33. Munns, R. 2002. comparative physiology of salt and water stress. *plant Cell Environment*. 25:239-250.
34. Nelson, D. W and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: page AL, Miller RH, Keenney DR (eds) *Methods of soil analysis, part 2, 2nd edn*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 539-573.
35. Ocampo, A. M. 2004. Integrated nutrient manegment in corn. DAAIT NC Network. 504P.
36. Olsen, R. S. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture, p.939.
37. Osonubi, O., K. Mulongoy, O. O. Awotoye, M. O. Atayese and D. U. U. Okali. 1991. Effect of ectomycorrhiza and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on drought tolerance of four leguminous woody seedlings. *Plant and Soil*. 136: 131-143.

38. Rhoades, J. D. 1982. Cation exchange capacity. in A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney, editors. Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. 149–158.
39. Shirani rad, A. H. 1998. Study ecophysiology symbiosis mycorrhiza in wheat and soybean. Ph. D theses. Tehran Azad Eslami University.
40. Simpson, D. and M. J. Daft. 1990. Interaction between water-stress and different mycorrhizal inoculant in plant growth and mycorrhizal development in maize and sorghum. Plant and Soil. 121: 179-186.
41. Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in condition of drought stress and its mechanisms Electronic Journal of Biology. 1(3): 44-48.
42. Subramanian, K. S., C. Charest, L. M. Dawyer and R. I. Hamilton. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizae on leaf water potential, sugar and P contents during drought and recovery of maize. Canadian Journal of Botany. 75: 1582-1591.
43. Sylvia, D. M., L. C. Hammond, J. M. Bennett, J. H. Haas and S. B. Linda. 1993. Field response of maize to a VAM fungus and water management. Agronomy Journal. 85: 193-198.
44. Tarafdar, J. C., H. Marschner. 1994. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyposphere of VA-Mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. Soil Biology and Biochemistry. 26: 385-395.
45. Troehza loynachan, T. E. 2003. Endomycorrhizal fungi survival in continuous corn, soybean and fallow. Agronomy Journal. 95(1): 224-230.

Archive of SID