کارایی گونه های مختلف قارچ های میکوریز آربسکولار بر جذب عناصر معدنی گیاه گندم تحت شرایط تنش رطوبتی

فرهاد رجالی[۱]*

عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب؛ frejali@yahoo.com

چکیده

یکی از اثرات مفید همزیستی میکوریزی کاهش تاثیرات ناشی از تنش های محیطی در گیاهان میزبان می باشد. از مهمترین تنش های محیطی که نتیجه شرایط اقلیمی کشورمان می باشد کمبود آب و تنش خشکی است. در این شرایط آنچه که بیش از کمبود آب، رشد گیاهان را محدود می کند عدم جذب عناصر معدنی و به ویژه عناصر معدنی با تحرک اندک در خاک از جمله فسفر و روی می باشد. قارچهای میکوریزی این توانایی را دارند که در شرایط تنش رطوبتی از طریق جذب بیشتر عناصر معدنی؛ قسمتی از کاهش رشد و عملکرد را در گیاهان میزبان جبران نمایند. به منظور بررسی توانایی قارچهای میکوریزی در کاهش اثرات تنش خشکی از طریق افزایش جذب عناصر معدنی، آزمون گلخانه ای با ۱۰ تیمار قارچهای میکوریزی و ۳ سطح رطوبتی ۸ ، ۱۶ و۳۲ درصد وزنی با چهار تکرار برای هر تیمار به صورت فاکتوریل و در پایه طرحهای کاملا تصادفی به مرحله اجرا در آمد. شاخصهای اندازه گیری شده عبارت بودند از وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، درصد کلنیزاسیون ریشه و جذب عناصر معدنی فسفر، پتاسیم، روی، مس، آهن و منگنز. نتایج نشان داد که تیمارهای رطوبتی تاثیر معنی داری در سطح ۱ درصد آماری در کلیه شاخصهای اندازه گیری شده داشتند. قارچهای میکوریزی نیز در صد کلونیزاسیون ریشه را در سطح ۱ درصد آماری، وزن خشک اندام هوایی و جذب عناصر فسفر، روی و آهن را در سطح ۵ درصد آماری افزایش دادند. از بین تیمارهای مختلف قارچی گونه های *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae* و *Glomus etunicatum* نسبت به سایر گونه ها از کارایی بیشتری بر خوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، جذب عناصر معدنی، گندم، قارچ های میکوریزی.

مقدمه

مشکل کمبود آب یکی از عوامل محدود کننده رشد و نمو گیاهان زراعی به شمار می رود که تا حد قابل توجهی، باعث کاهش عملکرد دانه و علوفه گیاهان می گردد. در بررسی های انجام شده بر روی عکس العمل ژنوتیپ های مختلف گندم به تنش خشکی، مشخص شده است که در اثر کمبود آب، تولید بیوماس، ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد سنبلچه ها، عملکرد دانه و وزن ساقه کاهش می یابد. به هر حال ژنوتیپ های مقاوم در مقایسه با ژنوتیپ های حساس در واکنش به استرس خشکی در تمام پارامترها کاهش کمتری خواهند داشت (کوچکی و همکاران۱۳۷٦).

امروزه مشخص شده است که همزیستی میکوریزی که در نتیجه برقراری ارتباط بین قارچ های میکوریزی و ریشه گیاهان زراعی حاصل می گردد، نقش

---

[۱] آدرس نویسنده مسئول: استان البرز، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی، ابتدای مشکین دشت، موسسه تحقیقات خاک و آب

* دریافت: بهمن، ۱۳۹۰ و پذیرش: اردیبهشت، ۱۳۹۲

به سزایی در افزایش مقاومت گیاه میزبان به تنش دارد، چراکه تارهای میسلیومی قارچ، همانند ریشه های موئین با جذب آب و عناصر غذایی، رشد گیاه میزبان را در شرایط تنش محیطی، مورد حمایت قرار می دهند.

ال کراکی و همکاران (۱۹۹۸) عنوان می نمایند که در شرایط تنش رطوبتی آنچه که به اندازه کمبود رطوبت، رشد گیاه را محدود کرده و باعث کاهش عملکرد می گردد، عدم جذب عناصر غذایی از خاک و به ویژه عناصر غذایی با تحرک اندک در خاک از جمله فسفر، روی، آهن، منگنز و مس می باشد. سیمپسون و دافت (۱۹۹۰) گزارش نموده اند که همزیستی میکوریزی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و آب موجب افزایش رشد گیاه میزبان در طی دوره تنش خشکی می‌شود، همچنین قارچهای میکوریزی کارایی مصرف آب گیاه میزبان را در شرایط تنش خشکی افزایش می‌دهند. الیس و همکاران (۱۹۸۵) با انجام آزمایشی نشان دادند که کاربرد دو گونه *Glomus deserticola* و *Glomus fasciculatum* بر روی گندم کشت شده تحت تنش رطوبتی باعث گردید تا وزن خشک تولیدی و همچنین میزان محصول در گیاه تلقیح شده در شرایط تنش رطوبتی دو برابر همین مقدار در گیاه شاهد بدون تلقیح و کشت شده در شرایط مشابه گردد. سیلویا و ویلیامز (۱۹۹۲) نیز در کشت گیاه ذرت نشان دادند که همزیستی بوجود آمده بین قارچهای میکوریزی و گیاه ذرت کشت شده در شرایط مزرعه با تنش خشکی باعث شد تا در گیاهان میکوریزی غلظت عناصر فسفر و مس در اندام هوایی گیاه و دانه افزایش یابد. روئیز لوزانو و همکاران (۱۹۹۵) عنوان نمودند که افزایش مقاومت گیاه کاهو به تنش خشکی که در نتیجه رابطه همزیستی با ۱۰ گونه متفاوت قارچ از جنس Glomus ایجاد شده است حاکی از تأثیر مثبت این قارچها در افزایش مقاومت گیاه بوده که البته گونه قارچ نیز تأثیر بسیار مهمی در این افزایش داشته است به طوریکه گونه *Glomus deserticola* با تنها ۹ درصد کاهش وزن در شرایط تنش خشکی بیشترین تأثیر و گونه *Glomus ocultum* با ۷۰ درصد کاهش وزن کمترین تأثیر را داشته است.

بر اساس گزارش ال کراکی و ال رداد (۱۹۹۷) نتایج حاصل از بررسی تأثیر تلقیح با قارچهای میکوریزی در افزایش مقاومت واریته‌های مختلف گندم به تنش خشکی نشان داده است که واریته حساس به خشکی در شرایط تنش رطوبتی وابستگی بیشتری به رابطه همزیستی میکوریزی داشته و جذب نسبی عناصر فسفر، روی مس، منگنز و آهن در آن بیشتر از واریته مقاوم به خشکی بوده است. در همین رابطه سوبرمانیان و همکاران (۱۹۹۷) نیز گزارش کرده است که همزیستی بوجود آمده بین گیاه ذرت و گونه *Glomus intraradices* در شرایط تنش رطوبتی مقدار جذب عناصر ازت، فسفر، پتاسیم، منیزیوم و منگنز را در دانه‌های ذرت افزایش داده است. ال کراکی و کلارک (۱۹۹۹) افزایش کارایی مصرف آب و افزایش جذب عناصر غذایی در دو واریته مقاوم و حساس به خشکی گندم را مورد بررسی قرار داده اند. نتایج بدست آمده حاکی از این است که قسمت اعظم کاهش وزن ایجاد شده ناشی از تنش رطوبتی از طریق برقراری رابطه همزیستی میکوریزی قابل جبران می‌باشد. جذب عناصر معدنی در تیمارهای تلقیح شده بیشتر از تیمارهای تلقیح نشده بوده و این تفاوت مقدار جذب، در تیمارهای تحت تنش خشکی افزایش یافته است. همچنین کارایی مصرف آب در گیاهان تلقیح شده بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بوده و این تفاوت نیز در تیمارهای تحت تنش خشکی افزایش یافته است.

بریلا و دانیوی (۱۹۹۸) گزارش کرده اند که در گیاه گندم میکوریزی تحت تنش خشکی، برگها ریزش کمتری داشته و نقاط سوخته شده ناشی از تنش در آنها کمتر به چشم می‌خورد. در تحقیقی مشابه گویی کوچه ا و همکاران (۱۹۹٦) عنوان نموده اند همزیستی میکوریزی منجر به تعویق افتادن پیری و از بین رفتن برگها در گیاهان یونجه میکوریزی می‌شود. دیویس و همکاران (۱۹۹۲) معتقدند که در گیاهان میکوریزی حالت پژمردگی

برگها بسته به اندازه نسبی گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی و مقدار آب قابل دسترس موجود در خاک به تعویق می‌افتد. گما و همکاران (۱۹۹۷) نیز بیان داشته اند که پس از اتمام دوره تنش خشکی، گیاهان میکوریزی آب جذب کرده و برگها سریعتر به حالت اولیه و طبیعی خود نزدیک می‌شوند. برقراری رابطه همزیستی میکوریزی فعال و متعاقب آن افزایش پتانسیل میکوریزی خاک تحت کنترل سه عامل گیاه میزبان، گونه‌های موجود از قارچهای میکوریزی و شرایط محیطی می‌باشد. آرورا و همکاران (۱۹۹۱) ضمن اظهار این مطلب عنوان نموده اند که گونه‌های مختلف قارچهای میکوریز آربسکولار توانایی متفاوتی برای برقراری رابطه همزیستی با گیاهان میزبان دارند. بنابراین توانایی آنها در افزایش جذب عناصر و افزایش رشد در گیاه میزبان نیز متفاوت می‌باشد. وجود چنین حالتی باعث شده است تا واژه نژادهای مؤثر[2] یا کارآمد برای این قارچها نیز تعریف گردد. طبق تعریف، نژادی کارآمد یا مؤثر می‌باشد که در زمان کوتاه‌تری رابطه همزیستی با گیاه میزبان را بوجود آورد، شبکه هیفهای خارج ریشه‌ای گسترده‌تری تولید کند، توانایی بیشتری برای جذب فسفر از خاک داشته باشد و افزایش رشد بیشتری را در گیاه میزبان باعث گردد. خصوصیات فوق معمولاً در گونه‌هایی مشاهده می‌گردد که بتوانند جمعیت فعال خود را در ریزوسفر گیاه میزبان بیشتر توسعه دهند، دامنه میزبانی وسیعی داشته و نسبت به تغییرات خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و خصوصیات اقلیمی مقاومت بیشتری از خود نشان دهند.

هدف از انجام این تحقیق بررسی کارایی همزیستی قارچهای میکوریزی در افزایش مقاومت به خشکی گیاهان میزبان از طریق افزایش جذب عناصر معدنی با تحرک اندک در خاک که در نهایت رشد بیشتر گیاه را در شرایط تنش ایجاد شده در پی داشته و همچنین مقایسه کارایی گونه های مختلف قارچهای میکوریزی در کم کردن اثرات تنش خشکی بوده است.

[2]. Efficient or Effective Strain

مواد و روش‌ها

تهیه و اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاد ه در آزمون گلخانه ای

برای انجام آزمون گلخانه‌ای از خاک قطعه زمین موجود در ایستگاه تحقیقات خاک و آب کرج که چندین سال متوالی به صورت آیش باقی مانده بود استفاده گردید. نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام گرفت. برای حذف تکه‌های سنگ، از الک با قطر حفرات ۰/۵ سانتی‌متر استفاده گردید. خاکها هوا خشک شده و از الک ۵ میلی‌لیتری عبور داده و درون گلدانهای پلاستیکی ٤ کیلوگرمی توزیع شدند.

بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین گردید. از خصوصیات شیمیایی pH و EC خاک در گل اشباع، پتاسیم قابل جذب گیاه با استفاده از روش فلیم‌فتومتری، فسفر قابل جذب گیاه با استفاده از روش اولسن، کربن آلی خاک با استفاده از روش اکسیداسیون در محیط آبی و مقدار آهن، مس، منگنز و روی قابل جذب گیاه از طریق عصاره‌گیری با DTPA و قرائت با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید (علی احیایی و بهبهانی زاده،۱۳۷۲).

با توجه به هدف این تحقیق، یکی از خصوصیت بیولوژیکی خاک استفاده شده یعنی شمارش اسپورهای غیر جنسی قارچهای میکوریز بومی نوع آربسکولار، به روش الک مرطوب اندازه‌گیری شد (گردمن و نیکلسون، ۱۹٦۳; فانگ و همکاران، ۱۹۸۳).

تهیه مایه تلقیح قارچهای میکوریز آربسکولار

برای انجام این آزمون از ده تیمار قارچی به شرح زیر استفاده گردید (رجالی، ۱۳۸۹)

$T_1 \rightarrow$ Blank (شاهد بدون تلقیح قارچ)
$T_2 \rightarrow$ *Glomus clarum* (astrain no 1)
$T_3 \rightarrow$ *Glomus etunicatum*
$T_4 \rightarrow$ *Glomus intraradices* (strain no 1)
$T_5 \rightarrow$ *Glomus mosseae* (strain no 1)
$T_6 \rightarrow$ *Glomus caledonium*
$T_7 \rightarrow$ *Glomus claroideum*
$T_8 \rightarrow$ *Glomus clarum* (strain no 2)
$T_9 \rightarrow$ *Glomus mosseae* (strain no 2)
$T_{10} \rightarrow$ *Glomus intraradices* (strain no 2)

تمامی گونه‌های ذکر شده در طی یک دوره کشت چهار ماهه در محیط استریل حاوی ماسه ۷۵ درصد و خاک لوم ۲۵ درصد و در گلدانهای ٤ کیلوگرمی در مجاورت ریشه گیاه سورگوم تکثیر گردیدند (ال کراکی و همکاران، ۱۹۹۸) .

سطوح مختلف رطوبتی در آزمون گلخانه‌ای

سه سطح رطوبتی ۳۲٪ وزنی (تیمار بدون تنش رطوبتی)، سطح رطوبتی ١٦٪ وزنی (تیمار تنش ملایم رطوبتی) و سطح رطوبتی ۸٪ وزنی (تیمار شدید تنش رطوبتی) برای انجام آزمون گلخانه‌ای در نظر گرفته شد.

گشت گیاه و اعمال تیمارها

برای انجام آزمون گلخانه‌ای از گلدانهای پلاستیکی ٤ کیلوگرمی پر شده از خاک هوا خشک استفاده گردید. برای اعمال تیمارهای مربوط به قارچهای میکوریز آربسکولار، ابتدا لایه‌ای از خاک سطح گلدانها را کنار زده و در مرکز هر گلدان حفره‌ای ایجاد گردید. ۵۰ گرم از مایه تلقیح‌های مربوط به هر گونه را درون این حفرات قرار داده سطح آنها با خاک هر گلدان پوشانیده شد. درون هر گلدان ٦ بذر ضد عفونی شده و جوانه‌دار گیاه گندم رقم پیشتاز کشت گردید و روی بذرها با لایه‌ای نازک از خاک گلدان پوشانیده شد. رطوبت وزنی گلدانها در طی ۲۰ روز اول پس از کشت در حد ۸۰ ٪ رطوبت مزرعه نگهداری گردید. پس از این زمان و انجام جوانه‌زنی کامل بذرهای کشت شده اعمال تیمارهای رطوبتی ۳۲٪، ١٦٪ و ۸٪ وزنی از طریق توزین گلدانها با ترازوی دیجیتالی اعمال گردید. گلدانها به اطاقک رشد منتقل شده و تا پایان دوره رشد و محصول‌دهی نگهداری شدند گیاهان در اطاق کشت با دمای ۲۵ تا ۲۸^{0C} مدت روشنایی ١٦ ساعت و تاریکی ۸ ساعت به مدت ٤ ماه رشد کردند. با توجه به نتایج تجزیه خصوصیات شیمیایی خاک استفاده شده مقدار ۳۵۰ میلی‌گرم اوره در طی دو نوبت یکی پس از سبز شدن و جوانه‌زدن بذرهای کشت شده و دیگری در مرحله ظهور سنبله‌ها به تمامی گلدانها اضافه گردید. آبیاری گلدانها نیز با توجه به سطوح رطوبتی در نظر گرفته شده به صورت روزانه و از طریق توزین وزن گلدانها و اضافه کردن آب به مقدار لازم انجام گرفت. پس از گذشت دو هفته از شروع آزمایش گلدانها تنک شده به طوری که در هر کدام در نهایت ٤ گیاهچه گندم نگهداری شد.

برداشت اندام هوایی گیاه گندم و انجام تجزیه‌های گیاهی

با گذشت ٤ ماه از شروع آزمایش گیاه‌های گندم دوره رشد خود را تکمیل کرده و به خوشه رفتند، با پایان یافتن زمان آزمایش گیاه‌ها از سطح خاک قطع شده و با قراردادن اندام هوایی آنها در دمای ۷۰^{0C} و پس از گذشت ۷۲ ساعت وزن خشک اندام هوایی گیاه اندازه گیری گردید. همچنین با شستن خاک اطراف ریشه نمونه‌های یک گرمی از ریشه به محلول FAA (فرمالین ـ اسید استیک ـ الکل) منتقل و به منظور تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه نگهداری شدند. درصد کلنیزاسیون ریشه ها به روش تقاطع خطوط شبکه اندازه گیری گردید (نوریس و همکاران، ۱۹۹٤). وزن خشک سیستم ریشه‌ای گیاه در تیمارهای مختلف نیز اندازه‌گیری گردید. اندام هوایی با استفاده از آسیاب پودر شده و غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، روی، مس، منگنز و آهن در آنها طبق روشهای رایج اندازه‌گیری گردید (امامی،۱۳۷۵).

طرح آزمایش

آزمایش به صورت فاکتوریل با دو فاکتور ۱) قارچ میکوریز آربسکولار در ده سطح (T1 تا T10) و ۲) سطوح رطوبتی ۳۲٪، ١٦٪ و ۸٪ در سه سطح و چهار تکرار برای هر تیمار و در مجموع ۱۲۰ گلدان در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی اجرا گردید.

تجزیه و تحلیل آماری طرح

تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها توسط نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت.

نتایج

نتایج اندازه گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در آزمون گلخانه ای در

جدول شماره ۱ آورده شده است. اندازه گیری خصوصیت بیولوژیکی خاک نیز نشان داد که تعداد اسپورهای بومی قارچهای میکوریز آربسکولار در ۵۰ گرم خاک ٤٥ عدد می باشد.

تاثیر تیمارهای مختلف رطوبتی بر وزن خشک اندام هوایی گیاه در سطح یک درصد آماری معنی دار گردید. همچنین تاثیر به کارگیری تیمارهای مختلف قارچی در سطح ۵ درصد آماری معنی دار شد (جدول شماره ۲).

نمودار اثرات کلی تیمارهای رطوبتی نشان می دهد که بیشترین وزن خشک تولیدی در بالا ترین سطح رطوبتی یعنی ۳۲ درصد وزنی و کمترین آن در سطح رطوبتی ۸ درصد حاصل شده است.در هر سطح رطوبتی تیمارهای قارچی منجر به افزایش معنی دار وزن خشک اندام هوایی گیاه گندم گردیدند (جدول شماره ۳).

در شرایط بدون تنش رطوبتی بهترین تیمارها از نظر افزایش وزن خشک هوایی گندم تیمارهای T5، T8 و T10 بودند. در شرایط تنش ملایم رطوبتی تیمارهای T5 و T10 از نظر عددی بالاترین وزن خشک اندام هوایی را باعث شدند (جدول شماره ۳) و در شرایط تنش رطوبتی شدید تیمارهای T6، T9 و T10 بیشترین کارایی را در افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه گندم دارا بودند (جدول شماره ۳).

تاثیر رطوبت بر درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح ۱ درصد آماری معنی دار گردید. تاثیر تیمارهای قارچی نیز بر این شاخص اندازه گیری شده در سطح ۱ درصد آماری معنی دار بوده و اثر متقابل رطوبت در قارچ نیز در سطح ۵ درصد آماری معنی دار گردید (جدول شماره ۲). با افزایش میزان رطوبت از ۸ در صد وزنی به ۳۲ درصد وزنی کلنیزاسیون ریشه نیز افزایش یافته است. در شرایط بدون تنش رطوبتی تیمار T10 با مقدار عددی ۵۱ درصد بالاترین در صد کلنیزاسیون ریشه را داشته است (جدول شماره ٤). در شرایط تنش ملایم رطوبتی تیمار T3 با مقدار عددی ٤٠ درصد و در شرایط تنش شدید رطوبتی تیمار T5 با مقدار عددی ۳۷ درصد بالاترین درصد کلونیزاسیون ریشه را ایجاد نمودند (جدول شماره ٤).

تاثیر تیمارهای رطوبتی بر جذب فسفر در اندام هوایی گیاه گندم در سطح ۱ درصد آماری و تاثیر تیمارهای قارچی بر جذب فسفر در اندام هوایی گیاه در سطح ۵ در صد آماری معنی دار گردید (جدول شماره ۲). در شرایط بدون تنش رطوبتی دو تیمار T5 و T10 از نظر عددی بیشترین جذب فسفر را به خود اختصاص دادند (جدول شماره ۷). در شرایط تنش ملایم رطوبتی نیز این دو تیمار جزو بهترین تیمارها طبقه بندی شدند (جدول شماره ٦). در شرایط تنش شدید رطوبتی نیز تیمار T5 جزو بهترین تیمارها وجذب فسفر در این تیمار بالاترین مقدار را به خود اختصاص داد (جدول شماره ۵).

تاثیر تیمارهای رطوبتی بر جذب روی در اندام هوایی گیاه در سطح ۱ درصد آماری و تاثیر تیمارهای قارچی در سطح ۵ در صد آماری معنی دار شدند (جدول شماره ۲). بیشترین میزان جذب روی در بالا ترین سطح رطوبتی یعنی ۳۲ درصد وزنی حاصل شد که این نیز ناشی از افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه با افزایش رطوبت می باشد. در شرایط بدون تنش رطوبتی بالاترین میزان جذب روی در تیمار T4 و پایین ترین میزان جذب روی نیز در تیمار T6 مشاهده گردید که مقدار آن از جذب روی در تیمار شاهد تلقیح نشده نیز کمتر بود (جدول شماره ۷). در شرایط تنش ملایم رطوبتی بالاترین میزان جذب روی در تیمار T10 و پایین ترین مقدار آن در تیمار T6 اندازه گیری گردید (جدول شماره ٦). در شرایط تنش شدید رطوبتی، بالاترین میزان جذب روی در تیمار T5 و پایین ترین مقدار آن در تیمار T8 که تقریبا معادل شاهد تلقیح نشده بود مشاهده گردید (جدول شماره ۵).

تاثیر تیمارهای رطوبتی در جذب آهن در گیاه گندم در سطح ۱ در صد آماری و استفاده از تیمارهای قارچی نیز تاثیر معنی داری در جذب آهن در سطح ۵ درصد آماری داشته است (جدول شماره ۲). تاثیر معنی

دار تیمارهای قارچی در جذب آهن در سطح تنش رطوبتی خاک یعنی ۸ و ١٦ درصد وزنی مشاهده گردید. در این دو سطح رطوبتی تیمار T3بالاترین میزان جذب آهن را به خود اختصاص داد (جداول شماره ۵ و ٦). بالاترین میزان جذب آهن در بالاترین سطح رطوبتی خاک یعنی ۳۲ درصد وزنی مشاهده شده و با افزایش تنش رطوبتی از جذب آهن توسط گیاه کاسته شده است (جداول شماره ۵ ،٦ و ۷).

نتایج بدست آمده نشان داد که تاثیر تیمارهای رطوبتی (P<0.01) و مایه تلقیح های تهیه شده از قارچهای میکوریز آربسکولار در رشد گیاه گندم و جذب عناصر فسفر (P<0.05)، روی (P<0.05) و آهن (P<0.05) معنی دار بود. وزن خشک اندام هوائی گیاه گندم در تیمارهای تلقیح شده چه در شرایط تنش رطوبتی و چه در شرایط غیرتنش رطوبتی بیشتر از تیمارهای تلقیح نشده بود، لیکن در گیاهان تلقیح شده نیز در شرایط تنش رطوبتی وزن خشک اندام هوایی گیاه، (جدول شماره ۳) نسبت به شرایط غیرتنش رطوبتی کاهش یافت که این خود در درجه اول بیانگر نقش رطوبت کافی در رشد و عملکرد گیاه و از طرف دیگر بیانگر کارایی سیستم همزیستی میکوریز آربسکولار در افزایش وزن خشک گیاه گندم در خاکهای با کمبود رطوبت و حاصلخیزی پایین می باشد. همچنین این نتایج بیانگر عدم کفایت جمعیت قارچهای میکوریز آربسکولار بومی موجود در خاک برای برقراری یک رابطه همزیستی موثر با گیاه گندم است.

با افزایش تنش خشکی درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه گندم کاهش یافت (جدول شماره ٤). سایر محققین از جمله ال کراکی و کلارک (۱۹۹۹) نیز به کاهش درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه گندم در شرایط تنش رطوبتی اشاره نموده‌اند.

کاهش مشاهد شده در رشد اندام هوایی و ریشه گیاه گندم در شرایط تنش رطوبتی را می‌توان در نتیجه همین کاهش کلنیزاسیون ریشه و کاهش جذب عناصر معدنی دانست. نتایج این تحقیق نشان داد که به موازات کاهش درصد کلنیزاسیون ریشه، رشد گیاه نیز چه در شرایط تنش رطوبتی و چه در شرایط غیر تنش رطوبتی کاهش یافته است به عبارت دیگر یک رابطه مثبت بین درصد کلنیزاسیون ریشه و افزایش رشد گیاه برقرار می باشد. محققین دیگری از جمله ال کراکی و همکاران (۱۹۹۸) و کلارک و زتو (۱۹۹٦) نیز در نتایج خود به وجود چنین رابطه مثبتی اشاره نموده‌اند.

شیرانی راد و همکاران (۱۳۷۹) نیز گزارش نموده اند که با تلقیح با قارچهای میکوریز آربسکولار و در شرایط تنش خشکی، مؤلفه های رشد کمی و کیفی گندم و کارایی مصرف آب افزایش معنی دار یافت. در همین رابطه هاردی و لیتون (۱۹۸۱) و بتلنفالوی و همکاران (۱۹۸۹) عنوان نموده اند که در گیاهان میکوریزی به دلیل توسعه شبکه هیف قارچ در محیط پیرامون ریشه، سطوح جذب کننده آب بیشتر شده و بدین صورت هدایت هیدرولیکی ریشه افزایش می یابد که این خود منجر به افزایش فتوسنتز در گیاه شده که نتیجه نهایی آن در افزایش رشد و عملکرد گیاه مشاهده می‌گردد. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش رشد گیاه گندم به موازات افزاش درصد کلنیزاسیون ریشه صورت گرفته است. بنابراین، این افزایش رشد را می توان یک اثر ثانویه از افزایش جذب عناصر معدنی به ویژه فسفر و سایر عناصر با تحرک اندک درخاک مثل روی و آهن دانست. در چنین شرایطی با افزایش جذب فسفر، روابط آبی گیاه اصلاح می شود، روزنه‌ها در مدت زمان بیشتری باز می ماند، فتوسنتز بیشتری صورت گرفته و در نهایت رشد و عملکرد گیاه افزایش می یابد. دایتز و فویر (۱۹۸٦) و دیویس و همکاران (۱۹۹۲) در تحقیقات خود به چنین مکانیسم هایی اشاره کرده اند. با توجه به نتایج این تحقیق مشخص می گردد که تاثیر گونه های مختلف قارچهای میکوریز آربسکولار به کار گرفته شده بر پارامترهایی مثل وزن خشک اندام هوایی، جذب عناصر معدنی و درصد کلنیزاسیون ریشه تا حدودی متفاوت از یکدیگر می باشند. لیکن در بیشتر موارد تاثیر گونه *G. mosseae*، *G.*

etunicatum و *G. intraradices* بهتر از سایر گونه های به کار گرفته شده در این تحقیق بود. روئیز لوزانو و همکاران (۱۹۹۵) و کلارک و زتو (۱۹۹٦) نیز عنوان کرده اند که ایزوله‌های مختلف قارچهای میکوریز آربسکولار از نظر توانایی در افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی در گیاه میزبان متفاوت از یکدیگر می‌باشند. حالت نیمه اختصاصی که گاهاً برای ایزوله‌های مختلفی از قارچ‌های میکوریز آربسکولار و توسط ابوت و رابسون (۱۹۹۱) در همزیستی با گیاهان میزبان ویژه‌ای گزارش شده است، ممکن است در نتیجه توانایی آن ایزوله در کلنیزاسیون بیشتر ریشه و یا در نتیجه گسترده‌تر کردن شبکه هیف قارچ و توانایی بیشتر آن ایزوله در جذب عناصر معدنی و آب از خاک باشد. در تحقیق دیگری که بر روی گندم و توسط الیس و همکاران (۱۹۸۵) و در شرایط تنش خشکی صورت گرفته است مشاهده گردیده که گونه *G. deserticola* نسبت به گونه *G. fasciculatum* تاثیر بیشتری در افزایش رشد و عملکرد گیاه داشته است. محققین مختلف از جمله شارما و همکاران (۱۹۹٤) و مارشنر و دل (۱۹۹٤) به نقش انتشار شبکه هیف قارچ و تاثیر آن در افزایش جذب عناصر غذایی در گیاهان میزبان قارچهای میکوریز آربسکولار اشاره کرده‌اند. در تحقیقات متعددی از جمله تحقیق صورت گرفته توسط کوواپاتا و هال (۱۹۸۵) به نقش همزیستی میکوریزی و به ویژه در شرایط تنش خشکی در افزایش جذب عناصر فسفر ، روی و مس اشاره شده است. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که قارچهای میکوریز آربسکولار به کار گرفته شده در این آزمون توانسته‌اند عناصر فسفر، روی و آهن را از منابع موجود در خاک که به سختی قابل استفاده گیاه می‌باشد جذب و به گیاه گندم انتقال دهند. بنابراین همزیستی میکوریزی توانسته است از طریق افزایش جذب این سه عنصر قسمتی از کاهش رشد گیاه را در شرایط تنش خشکی جبران نماید. به عنوان نتیجه گیری نهایی می توان عنوان نمود که افزایش رشد و جذب بیشتر عناصر معدنی توسط گیاه گندم در تیمار میکوریزی نشانگر توانایی این همزیستی در ایجاد یک سیستم اضافی برای جذب بیشتر عناصر معدنی در گیاه گندم در شرایط تنش خشکی است. همچنین بر اساس نتایج این تحقیق از بین گونه های مختلف قارچهای میکوریزی به کارگرفته شده در این تحقیق، سه گونه *Glomus mosseae* ، *Glomus intraradices* و *Glomus etanicatum* تاثیری به مراتب بهتر از سایر گونه ها در کلنیزه کردن ریشه گیاه گندم و افزایش رشد و جذب عناصر معدنی به ویژه فسفر و روی داشته اند. بنابراین حضور این گونه ها در تهیه مایه تلقیح های قارچهای میکوریزی که در اراضی زیر کشت گندم و به منظور افزایش مقاومت گیاه در برابر تنشهای محیطی و به ویژه تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند ضروری به نظر می‌رسد.

جدول ۱- نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

عمق	pH	ECe dSm^{-1}	T.N.V	OC	F.C	P.W.P	نیتروژن کل	P ava	K ava	Fe ava	Zn ava	Mn ava	Cu ava	Tex.
			(%)					$mg.kg^{-1}$						رسی
۰-۳۰	۷/۵	۰/۸۵	۸/۲	۰/۷۲	۳۴/۹	۵/۶	۰/۵	۹/۱۱	۲۴۱	۴/۵۵	۰/۹۹	۱۲/۵	۱/۳۷	لومی

جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای مختلف بر شاخص های اندازه گیری شده در آزمون گلخانه ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	درصد کلنیزاسیون	جذب فسفر	جذب روی	جذب مس	جذب آهن	جذب پتاسیم	جذب منگنز
		میانگین مربعات (MS)								
قارچ	۹	۴/۴۹ *	۰/۱۷۱ n.s	۴۶۸/۹ **	۴۳/۹۹ *	۳۶۹/۴۳۹ *	۵۲۴/۷۳۱ n.s	۲۹۴/۴۴۱ *	۹۶۱/۱۳۳ n.s	۱۸۰/۴۱۸ n.s
رطوبت	۲	۷۵/۸۳۹ **	۱۳۵/۶۱۴ **	۹۱۲/۵۴۶ **	۸۱۳/۳۴۷ **	۴۹۸/۶۹۱ **	۱۱۵۶/۱۳۳ **	۸۴۶/۲۳۰ **	۱۰۹۹/۶۵۵ **	۱۸۳۴/۴۴۹ **
قارچ×رطوبت	۱۸	۰/۲۳۶ *	۰/۱۳۱ n.s	۶۵/۹۸۸*	۳۴/۵۵۱ n.s	۲۳۹/۱۲۰ n.s	۱۰۵/۱۱۸ n.s	۴۳۴/۴۴ n.s	۷۹۱/۳۴۹ n.s	۷۶۱/۱۸۹ n.s
خطا	۸۷	۲/۷۶۱	۰/۱۳۹	۴۹/۰۷۸	۲۰/۱۳۳	۲۹/۰۵۹	۴۳/۶۱۹	۲۸/۹۹	۷۱/۴۱۴	۳۹/۶۳۴

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای مختلف بر وزن خشک اندام هوایی گیاه گندم

تیمارمیکوریزی	M8	M16	M32
T1	۶/۰۵^{h}	۹/۵^{e}	۱۰/۵^{d}
T2	۶/۶۵^{g}	۱۰^{de}	۱۱/۳^{c}
T3	۶/۶۵^{g}	۱۱^{cd}	۱۲^{bc}
T4	۷/۱f^{g}	۱۱/۵^{c}	۱۲/۵^{b}
T5	۶/۶۹^{g}	۱۲^{bc}	۱۳/۵^{a}
T6	۷/۴^{f}	۱۰/۵^{d}	۱۱/۵^{c}
T7	۶/۵۴^{g}	۱۱/۳^{c}	۱۲/۵^{b}
T8	۶/۳۳^{gh}	۱۱/۷^{bc}	۱۳^{ab}
T9	۷/۲^{f}	۱۱/۶^{c}	۱۱/۹^{bc}
T10	۷/۶^{f}	۱۲/۱^{bc}	۱۳^{ab}

T1 الی T10 تیمارهای قارچی و M8 و M16 و M32 به ترتیب سطوح رطوبتی ۸ ، ۱۶ و ۳۲ درصد وزنی می باشند.

در هر ستون اعداد با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری معنی دار هستند.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای مختلف بر درصد کلونیزاسیون ریشه گندم

تیمارمیکوریزی	M8	M16	M32
T1	۱۵^{e}	۱۸^{d}	۲۰^{d}
T2	۳۰^{c}	۳۵^{bc}	۳۸^{bc}
T3	۳۳^{c}	۴۰^{b}	۴۳^{b}
T4	۳۶^{bc}	۳۸^{bc}	۴۸^{ab}
T5	۳۷^{bc}	۳۵^{bc}	۴۰^{b}
T6	۲۴^{cd}	۲۹^{c}	۳۵^{bc}
T7	۲۸^{c}	۳۱^{c}	۳۷^{bc}
T8	۲۹^{c}	۳۶^{c}	۴۰^{b}
T9	۳۲^{c}	۳۸^{c}	۴۹^{ab}
T10	۳۰^{c}	۳۷^{c}	۵۱^{a}

T1 الی T10 تیمارهای قارچی و M8 و M16 و M32 به ترتیب سطوح رطوبتی ۸ ، ۱۶ و ۳۲ درصد وزنی می باشند.

در هر ستون اعداد با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری معنی دار هستند.

جدول ۵- مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای قارچی بر جذب عناصر معدنی گیاه گندم در سطح رطوبتی ۸ درصد

تیمارمیکوریزی	P	Zn	Fe
	میلی گرم در گلدان		
T1	۲۰^{d}	۰/۱۷^{c}	۰/۹^{c}
T2	۲۶^{c}	۰/۲^{bc}	۰/۹۲^{bc}
T3	۳۰^{ab}	۰/۲۸^{ab}	۱/۲^{a}
T4	۲۹^{ab}	۰/۲۲^{bc}	۰/۹۹^{abc}
T5	۳۳^{a}	۰/۲۹^{a}	۱/۱^{ab}
T6	۲۷^{b}	۰/۲۴^{b}	۰/۹۴^{bc}
T7	۲۹^{ab}	۰/۲۶^{ab}	۰/۹۵^{bc}
T8	۲۶^{bc}	۰/۱۸^{c}	۱/۳^{a}
T9	۲۸^{b}	۰/۲۲^{bc}	۱/۱^{ab}
T10	۲۷^{b}	۰/۲۵^{b}	۰/۹۸^{abc}

T1 الی T10 تیمارهای قارچی می باشند در هر ستون اعداد با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری معنی دار هستند

جدول ٦- مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای قارچی بر جذب عناصر معدنی گیاه گندم در سطح رطوبتی ١٦ درصد

تیمارمیکوریزی	P	Zn	Fe
	میلی گرم در گلدان		
T1	۵۰^{c}	۰/۳^{bc}	۱/۲۶^{c}
T2	۵۷^{bc}	۰/۳۲^{ab}	۱/۵^{ab}
T3	۶۰^{ab}	۰/۳۵^{ab}	۱/۶۱^{a}
T4	۵۹^{bc}	۰/۳۱^{bc}	۱/۵۹^{a}
T5	۶۶^{ab}	۰/۳۴^{ab}	۱/۵۷^{ab}
T6	۵۷^{bc}	۰/۲۹^{bc}	۱/۵۹^{a}
T7	۶۰^{ab}	۰/۳۱^{bc}	۱/۴۵^{b}
T8	۵۶^{bc}	۰/۳^{bc}	۱/۳^{bc}
T9	۵۸^{bc}	۰/۳۵^{ab}	۱/۶^{a}
T10	۶۲^{ab}	۰/۳۸^{a}	۱/۴۵^{b}

T1 الی T10 تیمارهای قارچی می باشند

در هر ستون اعداد با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری معنی دار هستند

جدول ۷- مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای قارچی بر جذب عناصر معدنی گیاه گندم در سطح رطوبتی ۳۲ درصد

تیمارمیکوریزی	P	Zn	Fe
	میلی گرم در گلدان		
T1	۶۰^{c}	۰/۴۸^{ab}	۱/۸^{abc}
T2	۷۰^{ab}	۰/۵^{ab}	۱/۷۵^{abcd}
T3	۶۹^{ab}	۰/۵۷^{a}	۱/۹^{a}
T4	۶۹^{ab}	۰/۵۹^{a}	۱/۸۵^{ab}
T5	۷۳^{a}	۰/۵۷^{a}	۱/۷۷^{abcd}
T6	۶۷^{abc}	۰/۳۹^{bc}	۱/۸۲^{abc}
T7	۷۱^{ab}	۰/۴۵^{b}	۱/۸۶^{ab}
T8	۶۶^{bc}	۰/۴۱^{bc}	۱/۷۳^{abcd}
T9	۶۸^{abc}	۰/۵۵^{ab}	۱/۸۱^{abc}
T10	۷۵^{a}	۰/۵۸^{a}	۱/۸۹^{a}

T1 الی T10 تیمارهای قارچی می باشند

در هر ستون اعداد با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری معنی دار هستند

فهرست منابع:

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روشهای تجزیه گیاه. جلد اول، نشریه شماره ۹۸۲. موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران.

۲. رجالی ، ف. ۱۳۸۹. شناسایی قارچ های میکوریز آربسکولار بومی اراضی زیر کشت گندم و تعیین توانایی آنها برای برقراری رابطه همزیستی با گیاه گندم. نشریه شماره ۱۵۱۵. موسسه تحقیقات خاک و آب. ایران.

۳. شیرانی راد، ا.ح.، ع. علیزاده و ا. هاشمی دزفولی. ۱۳۷۹. بررسی اثر قارچ میکوریز و سیکولار آربسکولار، فسفر و تنش خشکی بر کارایی جذب عناصر غذایی در گیاه گندم. نشریه علمی پژوهشی نهال و بذر. جلد ۱٦. شماره ۳. ص ۳۲۷ تا ۳٤۹.

۴. کوچکی، ع.، ا. سلطانی و م. عزیزی. ۱۳۷٦. اکوفیزیولوژی گیاهی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۵. علی احیائی، م. و ع. بهبهانی‌زاده. ۱۳۷۲. شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک. جلد اول. موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران.

1. Abbot, L.K. and A.D. Robson. 1991. Field management of mycrorrhizal fungi *In:* The rhizosphere and plant growth. Keister, D.L. and P. B. Cregan (eds.). Kluwer Academic Publisher Dordecht, the Netherlands. PP. 355-362.
2. Al-Karaki, G.N., A. Al–Roddad and R.B. Clark. 1998. Water stress and mycorrhizal isolates effects on growth and nutrient acquisition of wheat. Jornal of Plant Nutration. P. 891-902.
3. Al-Karaki, G.N., and A. Al-Raddad. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistence. Mycorrhiza. 7:83-88.
4. Al-Karaki, G.N., and R.B. Clark. 1999. Growth, mineral acquisition and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. Journal of Plant Nutrition. 21:263-276.
5. Arora, D.K., B. Rai, K.G. Mukerji and G. R. Knudsen (eds.). 1991. Handbook of applied mycology. Volum 1: Soil and Plant. Marcel Dekker, INC. New York. P. 256.
6. Bethlenfalvay, R. L. Franson, M.S. Brown 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.
7. 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.
8. Clark, R.B. and S.K. Zeto. 1996. Mineral acquisition by mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. Soil Biology and Biochemistry. 28: 1405-1503.
9. Davies, F.T., J.R. Potter and R.G. Linderman. 1992. Drought resistance of mycorrhizal pepper plants independent of leaf P-concentration response in gas exchange and water relations. Physilogica Plantarum. 87: 45-53.
10. Dietz, K.J. and C. Foyer. 1986. The relationship between phosphate and photosynthesis in leaves reversibility of the effects of phosphate deficiency on photosynthesis. Planta. 167: 376-381.
11. Ellis, J.R., H.J. Larsen and M.G. Boosalis. 1985. Drought resistance of wheat plants inoculated with vesicular-arbuscular mycorrhizae. Plant and Soil. 86:369-378.
12. Fang, Y.C., A.C. McGraw, M. Hakam and J. M. Hendrix. 1983. A procedure for isolating single-spore cultures of ertain endomycorrhizal fungi, New Phytol, No. 93, p. 107-114.
13. Gemma, J.N., R.E. Koske, E.M. Roberts, N. Jackson and K. Antonis. 1997. Mycorrhizal fungi improve drought resistance in creeping bentgaress. Journal of Turfgrass Science. 73: 15-29.
14. Gerdemann, J.W, T. H. Nicolson. 1963. *Spores of mycorrhizal Endogone extracted from*

soil by wet-sieving and decanting, Trans Br Mycol Soc., No. 46, p. 235-244.

15. Goicoechea, N., K. Dolezal, M.C. Antolin, M. Strand and M. Sanchez-Diaz. 1996. Root cytokinins, acid phosphatase and nodule activity in drought-stressed mycorrhizal or nitrogen fixing alfalfa plants. Journal of Experimental Botany. 47: 683-686.
16. 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.
17. Kwapata, M.B., A.E. Hall. 1985. Effects of moisture regime and phosphorus on mycorrhizal infection, nutrient uptake, and growth of cowpeas [Vigna unquiculata (L.) Walp]. Field Crops Research. 12: 241-250.
18. Marschner, H., and B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and Soil. 159: 89-102.
19. Norris, J., D. Read and A. Varma (eds). 1994. Techniques for the study of mycorrhiza. Academic Press, NewYork.
20. Ruiz-Lozano, J. M., R. Azcon and M. Gomes. 1995. Effects of arbuscular mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: Physiological and nutrimental plant response. Applied and Environmental Microbiology. 61: 456-460.
21. Sharma, A.K., P.C. Srivastava and B.N. Johri. 1994. Contribution of VA mycorrhiza to zinc uptake in plants. Pp. 111-123. In: J. A. Manthey, D. E. Crowley, and D. G. Luster (eds.). Biochemistry of Metal Micronutrient in the Rhizosphere. Lewis Publishers, Boca Raton.
22. Simpson, D. and M.J. Daft. 1990. Interaction between water-stress and different mycorrhizal inocula in plant growth and mycorrhizal development in mazie and sorghum. Plant and Soil. 121: 179-186.
23. Subramanian, K.S., C. Charest, L.M Dawyer and R.I. Hamilton. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizae on leaf water potential,suger content and P content during drought and recovery of maize .Canadian Journal of Botany. 75:1582-1591.
24. Sylvia, D.M. and S.E. Williams. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress. In: Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. G. J. Bethlenfalvay and R. G. Linderman (eds.). ASA special Publication, Number 54, Madison Wisconsin. 101-12