ارزیابی مقاومت به خشکی دو گونه بروموس (*Bromus kopetdaghenis* و *Bromus tometolus*) با استفاده از همزیستی میکوریزایی

سمیه کریمخانی[۱]، محمدرضا اردکانی[۲*]، فرزاد پاک‌نژاد[۳] و پریسا نجات‌خواه[۴]

۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲ و ۳) گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

۴) گروه زراعت، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[*]نویسنده مسئول: mohammadreza.ardakani@kiau.ac.ir

این مقاله برگرفته ار رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۴

چکیده

به‌منظور مطالعه ارزیابی مقاومت به خشکی دو گونه بروموس با استفاده از هم‌زیستی میکوریزایی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در جنوب استان تهران انجام گرفت. کرت اصلی شامل تنش خشکی در سه سطح شامل شاهد (بدون تنش در حد ظرفیت زراعی) (S1)، تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)، تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3) و کرت فرعی نیز شامل کاربرد قارچ میکوریزا در سه سطح شامل بدون میکوریزا به‌عنوان شاهد (M1)، گونه *Glomus intraradices* (M2)، گونه *Glomus mosseae* (M3)، دو گونه گیاه بروموس نیز به‌عنوان کرت فرعی در دو سطح شامل کوپه داغی *Bromus kopetdaghensis* (B1) و علف پشمکی *Bromus tometolus* (B2) در نظر گرفته شدند. نتایج نشان دادند که تنش خشکی منجربه کاهش تعداد برگ شد. میزان میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و میانگین حسابی بهره‌وری (MP) در شرایط تنش متوسط بالاتر از تنش شدید بود. استفاده از گونه میکوریزا (M2) منجربه افزایش معنی‌دار تعداد برگ، کیفیت گیاه و شاخص میانگین حسابی بهره‌وری گردید. در مقایسه میانگین (S×M)، تنش خشکی و کاربرد میکوریزا منجربه افزایش طول ریشه و وزن خشک کل گیاه شد. بیش‌ترین وزن خشک کل گیاه در شرایط (S3M2) به‌میزان ۸/۶ گرم و طول ریشه در شرایط (S3M3) به‌میزان ۳۷/۷ سانتی‌متر حاصل شد. کاربرد (M2) در سطح سوم تنش منجربه افزایش ۲۱/۱ درصدی وزن خشک کل گیاه نسبت عدم کاربرد میکوریزا در همین سطح تنش گردید. همچنین تنش منجر به کاهش کیفیت گیاه شد و در هر سه سطح تنش خشکی، کاربرد میکوریزا منجربه افزایش معنی‌دار کیفیت گیاه نسبت به شاهد گردید و این افزایش در M2 بیش‌تر از M3 بود. در این آزمایش بیش‌ترین طول ریشه در (S3B2) حاصل گردید. در مقایسه میانگین اثر متقابل (M×B)، بیش‌ترین طول ریشه در شرایط M3B2 حاصل شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل (S×M×B)، بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار (S1M2B2) به‌دست آمد. بیش‌ترین GMP در هر دو سال در گونه علف پشمکی همراه با کاربرد گونه میکوریزا *G. intraradices* (M2B2Y1) و (M2B2Y2) حاصل شد. بر اساس نتایج اثر متقابل (S×M×B×Y)، بیش‌ترین شاخص تحمل به خشکی S3M2B2Y2 و S3M2B2Y1 به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تنش کمبود آب، شاخص مقاومت به خشکی و کیفیت گیاه.

مقدمه

شناسایی گونه‌های مقاوم به خشکی و معرفی آن‌ها، نه‌تنها در کاهش مصرف آب مؤثر است، بلکه سبب حفظ منابع ژنتیکی کشور نیز می‌شود (مصطفایی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Kafi and Kaviani, 2002). بروموس[1] گیاهی پایا و از خانواده گندمیان است. از این‌گونه نیز در برخی موارد به‌عنوان چمن استفاده می‌شود. علف پشمکی[2] یکی از گندمیان پایا و خوش خوراک است که به‌علت خوش خوراکی مورد چرای شدید دام نیز قرار می‌گیرد (بیرانوند و همکاران، ۱۳۸۹). گونه *Bromus kopedaghensis* گیاهی است چند ساله که در تنوع زیستی مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران حائز اهمیت است. همچنین از لحاظ ارزش اقتصادی، تولید علوفه و مقاومت در برابر خشکی دارای اهمیت است (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های تولیدات گیاهی در ایران کمبود آب است. تقریباً ۹۰ درصد مناطق ایران به‌عنوان اقلیم خشک و نیمه‌خشک در نظر گرفته می‌شوند (Bannayan *et al*., 2010) و اثر تنش خشکی بر روی بروموس‌ها پیچیده بوده و بستگی زیادی به مراحل رشد و نموی آن‌ها دارد. محدودیت رطوبت در خاک از طریق کاهش مقدار فتوسنتز، سطح برگ تولیدی، اختلال در جذب عناصر غذایی و انتقال مواد فتوسنتزی بر عملکرد گیاهان اثر سوء می‌گذارد. در مطالعه‌ای تنش خشکی باعث کاهش طول و قطر ساقه، سطح برگ، وزن خشک گیاه، نسبت وزن ساقه به ریشه بروموس گردید (Sangtarash *et al*., 2009). نتایج تحقیقات اخوان‌ارمکی و همکاران (۲۰۱۳) بیانگر آن بود که با افزایش تنش میزان جوانه‌زنی، طول ریشه، طول ساقه، طول گیاهچه و شاخص کلروفیل گیاه بروموس کاهش یافت. در این تحقیق گونه *Bromus tomentellus* دارای بیش‌ترین تحمل به تنش اسمزی بود. در مطالعه‌ای دیگر تنش خشکی ارتفاع گیاه، ماده خشک حاصل از سربرداری، طول ریشه و کیفیت را در سه گونه چمن کاهش داد (تاتاری و همکاران، ۱۳۹۴). در کل احیای پوشش گیاهی در مناطق نیمه‌خشک به‌علت شرایط نامطلوب خاک از روند کندی برخوردار است (Renata *et al*., 2010). قارچ‌های میکوریزا از اهمیت ویژه‌ای در بوم‌شناسی خاک برخوردار هستند. وجود قارچ‌های میکوریزا سبب تغییر ترکیب بیوشیمیایی ترشحات ریشه، جذب عناصر غذایی، اثرگذاری بر تعاملات جامعه میکروبی ریزوسفر گیاهان عالی می‌شود و همه این عوامل بر ترکیب جامعه گیاهی اثر می‌گذارد (Azul *et al*., 2010). در کل هم‌زیستی میکوریزایی باعث بهبود جذب و تعادل عناصر غذایی در گیاهان و خاک می‌شود (Shi *et al*., 2017). نتایج مطالعات اکوفیزیولوژیکی بسیاری نشان می‌دهند که هم‌زیستی قارچ میکوریزا یک عامل کلیدی برای کمک به مقابله و افزایش مقاومت به تنش خشکی در بسیاری از گیاهان میزبان است (Smith and Read, 2008). افزایش مقاومت به تنش خشکی توسط قارچ میکوریزا می‌تواند به‌دلیل بالاتر بردن سرعت فتوسنتز برگ و افزایش تجمع کربوهیدرات‌های غیرساختمانی و در نتیجه کاهش پتانسیل

1- *Bromus* sp.
2- *Bromus tomentellus*

اسمزی باشد (Rapparini and Penuelas, 2014). همچنین تسهیل در استقرار اولیه پایه‌های بروموس درنتیجه فراهم بودن رطوبت، فسفر، نیتروژن و مواد آلی بیش‌تر در تلقیح میکوریزایی ایجاد می‌شود (Barea and Honrubia, 2004). با توجه به محدودیت آب در بسیاری از مناطق ایران، هدف از این آزمایش بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا و انتخاب گونه مناسب بروموس برای کاهش اثرات سوء ناشی از تنش خشکی و افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه ارزیابی مقاومت به خشکی دو گونه بروموس با استفاده از هم‌زیستی میکوریزایی، آزمایشی در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ انجام گرفت. محل آزمایش در جنوب تهران و در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۰۶۰ متر از سطح دریا بود. آزمایش به‌صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. کرت اصلی شامل تنش خشکی در سه سطح شامل شاهد (بدون تنش در حد ظرفیت زراعی) (S1)، تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)، تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3) و کرت فرعی نیز شامل کاربرد قارچ میکوریزا در سه سطح شامل بدون میکوریزا به‌عنوان شاهد (M1)، گونه *Glomus intraradices* (M2)، گونه *Glomus mosseae* (M3)، دو گونه گیاه بروموس نیز به‌عنوان کرت فرعی در دو سطح شامل کوپه داغی *Bromus kopetdaghensis* (B1) و علف پشمکی *Bromus tometolus* (B2) در نظر گرفته شدند. پس از اتمام آزمایش آنالیز به‌صورت کمباین مورد تجزیه قرار گرفت. قبل از کشت، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام گرفت که مشخصات کامل آن در جدول ۱ ارائه شده است.

به‌منظور اجرای آزمایش، نخست بذر دو گونه بروموس در سینی‌های نشا کشت شدند. نشاءهای حاصل پس از یک ماه، به گلدان‌های کاغذی منتقل گردید و در تیمارهای جداگانه با دو گونه مایکوریزا *G. intraradices* و *G. mosseae* تلقیح شد. قبل از کاشت نشاءها در گلدان، نخست در خاک میکوریزایی آغشته شدند. هنگامی‌که ارتفاع گیاهان به حدود پنج سانتی‌متر رسید، گلدان‌ها به بیرون از گلخانه منتقل و پس از یک هفته در زمین اصلی کاشته شدند. ابعاد هر کرت ۳×۳ در نظر گرفته شد. جهت اندازه‌گیری سطوح تنش خشکی از روش بلوک‌های گچی استفاده گردید. میزان رطوبت خاک با نصب بلوک‌های گچی به‌طور مرتب کنترل گردید. برای جلوگیری از اشباع بلوک گچی خشک توسط محلول خاک، قبل از نصب در خاک با مقطر مرطوب گردید. پس از قرار دادن در خاک آبیاری انجام شد و چگونگی تغییرات مقاومت بلوک گچی یادداشت گردید و منحنی رسم گردید (شکل ۱). در این آزمایش صفاتی نظیر ارتفاع گیاه، طول ریشه، تعداد برگ، وزن

خشک کل گیاه، شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی شامل شاخص میانگین حسابی بهره‌وری[1](MP)، شاخص تحمل[2] (TOL) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری[3](GMP) و ویژگی‌های رنگ، تراکم و بافت پوششی مورد سنجش قرار گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری طول ریشه، ارتفاع گیاه و تعداد برگ، تعداد ۵ گیاه به‌طور تصادفی انتخاب شد و کاملاً از خاک خارج گردید. طول ریشه نمونه‌ها از یقه تا نوک ریشه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری طول ریشه و ارتفاع گیاه، نمونه‌ها جداگانه در پاکت کاغذی قرار گرفت و پس از خشک کردن در سایه، به مدت ۴۸ ساعت، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شد. وزن خشک کل گیاه با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری و ثبت گردید (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۲). کیفیت گیاه با در نظر گرفتن ویژگی‌های رنگ، تراکم و بافت پوششی از طریق ارزیابی‌های چشمی و طبق برنامه ملی ارزیابی چمن صورت گرفت. رتبه ۹، پوشش با رنگ سبز تیره، تراکم بالا و بافت مطلوب (مشابه گیاهان در حالت طبیعی و بدون تنش) و رتبه یک برای پوشش‌های کاملاً زرد رنگ و با تراکم پایین و بافت نامطلوب در نظر گرفته شد (Wang *et al*., 2009). هم‌چنین با استفاده از عملکرد در محیط بدون تنش (Y_P) و تنش (Y_S) شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی شامل شاخص میانگین حسابی بهره‌وری (MP)، شاخص تحمل (TOL) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) طبق رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ محاسبه شد (زینالی خانقاه و همکاران، ۱۳۸۳):

رابطه ۱: $MP = (Y_P + Y_S) / 2$

رابطه ۲: $TOL = Y_P - Y_S$

رابطه ۳: $GMP = \sqrt{Yp \times Ys}$

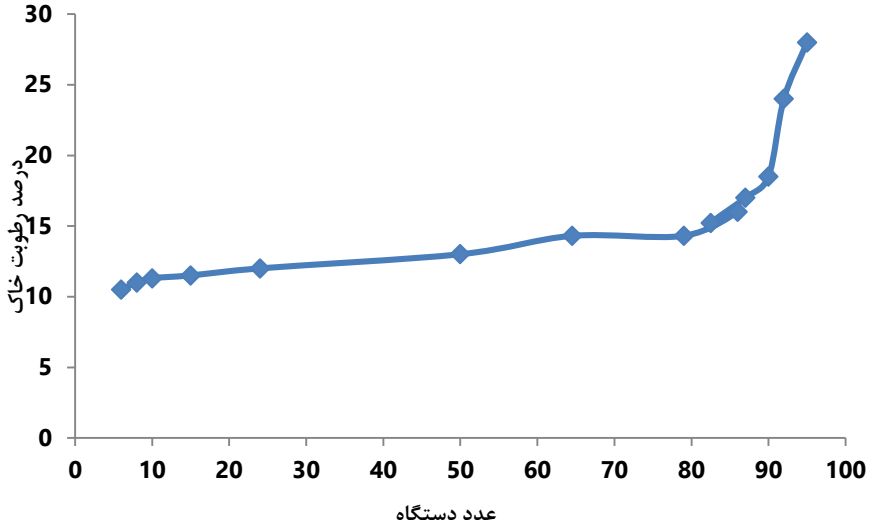
در این رابطه‌ها، Y_S عملکرد در شرایط تنش خشکی و Y_P عملکرد در شرایط آبیاری مطلوب هست.

داده‌های حاصل از آزمایش، از طریق برنامه آماری SAS v.9.4 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای کنترل کیفیت و اعتبار تجزیه واریانس، قبل از تجزیه واریانس نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین قبل از تجزیه واریانس جهت همگن بودن واریانس‌ها، آزمون بارتلت برای صفات مورد مطالعه انجام شد که بر اساس نتایج آزمون بارتلت، تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار نشد و بنابراین بین دو سال اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و انجام تجزیه مرکب مجاز شد. آزمون F بر اساس امید ریاضی با در نظر گرفتن سال به‌عنوان عامل تصادفی انجام و قاعده ادغام واریانس‌ها در صورت معنی‌دار نبودن منابع رعایت شد. میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شدند. رسم نمودارها با کمک نرم‌افزار Excel 2010 انجام گرفت.

1- Mean Productivity
2- Tolerance
۳ Geometric Mean Productivity

جدول ۱: نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق زراعی	سیلتی	رسی	شنی	اسیدیته	کربن آلی (درصد)	درصد اشباع	هدایت الکتریکی	مواد خنثی شونده (درصد)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
	(درصد)								(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	
۳۰-۰	۲۳	۳۷	۴۰	۸/۴۸	۰/۵۷	۳۵	۱/۰۲	۱۱/۵	۴/۶۶	۱۶۸
۶۰-۳۰	۳۰	۳۵	۳۵	۸/۳۲	۰/۳۹	۳۵	۰/۷۹۵	۱/۳۱	۱/۳۱	۱۲۱



شکل ۱: منحنی رطوبتی خاک و تغییرات الکتریکی بلوک‌های گچی

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، ارتفاع گیاه تحت اثر اثر اصلی سال (Y)، تنش خشکی (S)، میکوریزا (M) و اثر متقابل (S×M)، (S×B) و (S×M×B) در سطح یک درصد و اثر گونه بروموس (B) در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه (S×M×B)، در کل در هر دو گونه بروموس، تنش منجربه کاهش ارتفاع گیاه گردید و در سه سطح رطوبتی کاربرد مایکوریزا منجربه افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته در هر دو رقم گردید. در شرایط تنش شدید و متوسط و کاربرد میکوریزا گونه *G. intraradices*، ارتفاع بوته در گونه علف پشمکی بیش‌ترین میزان بود و عدم کاربرد میکوریزا در دو شرایط تنش منجربه کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته در هر دو رقم گردید. به‌طوری‌که کم‌ترین میزان این صفت در گونه کوپه داغی در شرایط تنش شدید بدون استفاده از میکوریزا (S3M1B1) حاصل شد. در شرایط بدون تنش، کاربرد میکوریزا گونه *G. intraradices* در گونه علف پشمکی (S1M2B2) بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته را به دنبال داشت (جدول ۳). کم‌آبی در گیاهان، حجم سلول، تقسیم سلولی، بزرگ شدن سلول و وزن ماده خشک گیاهی رو تحت اثر قرار داده و باعث کاهش آن‌ها نسبت به شرایط عدم تنش می‌شود (Sirousmehr *et al.*, 2014). رشد سلولی

حساس‌ترین مرحله‌ای است که تحت اثر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد. اندازه اندام‌ها با کاهش رشد سلول محدود شده و اولین اثر قابل‌لمس در اثر پسابیدگی در گیاهان با کوچک شدن سایز برگ و ارتفاع گیاه نمایان می‌شود (Krank and Gokoglan, 2003). کاهش ارتفاع گیاه با افزایش تنش خشکی با نتایج تحقیقات Armaki و همکاران (۲۰۱۳) در گونه-های مختلف بروموس و تاتاری و همکاران (۱۳۹۴) در سه گونه چمن مطابقت دارد. تلقیح میکوریزایی با افزایش جذب مواد غذایی و آب باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (Querejeta *et al*., 2006).

طول ریشه

در این آزمایش اثر اصلی تنش خشکی (S)، میکوریزا (M) و گونه بروموس (B) و اثر متقابل (S×M)، (S×B) و (M×B) در سطح یک درصد بر طول ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل (S×M) نشان دادند که کاربرد میکوریزا در هر سه سطح تنش خشکی نسبت به عدم کاربرد میکوریزا منجربه افزایش طول ریشه گردید. در شرایط بدون تنش و تنش متوسط بین دو گونه میکوریزا از نظر طول ریشه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما در شرایط تنش شدید کاربرد *G. mosseae* بیش‌ترین طول ریشه را به میزان ۳۷/۷ سانتی‌متر به‌دنبال داشت. در کل کاربرد *G. mosseae* در سطح سوم تنش منجربه افزایش ۴۱/۳ درصدی طول ریشه نسبت عدم کاربرد مایکوریزا در همین سطح تنش گردید (جدول ۴). در مقایسه میانگین اثر متقابل (S×B)، بیش‌ترین طول ریشه در گونه *Bromus tometolus* (علف پشمکی) در شرایط آبیاری بر اساس ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (۴۲/۳ سانتی‌متر) حاصل گردید. در کل تنش خشکی در هر دو گونه بروموس منجربه افزایش معنی‌دار طول ریشه شد و طول ریشه در هر سه سطح تنش در گونه *B. tometolus* بالاتر از گونه *B. kopetdaghensis* (کوپه داغی) بود (جدول ۵). بر اساس مقایسه میانگین اثر متقابل (M×B)، بیش‌ترین طول ریشه در گونه علف پشمکی همراه با کاربرد گونه میکوریزا *G. mosseae* (M3B2) به میزان ۳۴/۳ سانتی‌متر حاصل شد و کم‌ترین میزان این صفت در گونه کوپه‌داغی در عدم کاربرد میکوریزا (M1B1) به میزان ۱۴/۳ سانتی‌متر به‌دست آمد. در کل کاربرد میکوریزا در هر دو گونه بروموس منجر به افزایش معنی‌دار طول ریشه گردید (جدول ۵).

در این تحقیق تنش منجربه افزایش طول ریشه بروموس شد. در تفسیر می‌توان بیان کرد که در زمان بروز تنش، رشد نسبی ریشه افزایش می‌یابد تا سیستم ریشه، آب بیش‌تری را از لایه‌های عمیق‌تر خاک استخراج کند (Mahan and Wanjura, 2005). افزایش جذب آب در اثر افزایش اندازه و عمق ریشه یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های مطلوب تحمل به خشکی برای گیاهان علفی است. این امر به گیاهان علفی اجازه استفاده از منابع آب در دسترس خاک را می‌دهد و مدت‌زمان نیاز به آبیاری تکمیلی را طولانی می‌کند (Richardson *et al*., 2008). در پژوهشی آبیاری با فواصل طولانی، طول ریشه بالاتری را نسبت به آبیاری هر روز یا دو روز یک‌بار در گیاه بنت گراس به همراه داشت (Jordan *et al*., 2003)

نتایج این تحقیق مبنی بر افزایش طول ریشه با افزایش تنش خشکی با نتایج تحقیقات تاتاری و همکاران (۱۳۹۴) مغایرت دارد. قارچ‌ها با تولید هورمون‌های گیاهی و افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌توانند رشد گیاه یا رشد ریشه را تشدید کنند. در نتیجه ظرفیت جذب عناصر غذایی را بالا می‌برند و شانس گیاه را در اجتناب از خشکی افزایش می‌دهند (Alguacil *et al*., 2012). نتایج تحقیقات تدین و سلطانیان (۱۳۹۵) بیانگر آن بود که همزیستی گیاه با قارچ میکوریزا موجب افزایش طول ریشه در شرایط تنش خشکی می شود.

تعداد برگ

بر اساس نتایج تجزیه مرکب، تعداد برگ تحت اثر تنش خشکی (S)، میکوریزا (M) و گونه بروموس (B) در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). در این آزمایش، تنش خشکی منجربه کاهش تعداد برگ شد، به‌طوری‌که تعداد برگ در شرایط بدون تنش نسبت به شرایط تنش شدید ۶۱ درصد افزایش یافت (جدول ۷). استفاده از گونه میکوریزا *G. intraradices* (M2) منجربه افزایش معنی‌دار تعداد برگ شد، به‌طوری‌که تعداد برگ در کاربرد گونه (M2) نسبت به شاهد (M1) ۱۴/۵ درصد افزایش یافت (جدول ۸). بین دو گونه بروموس از نظر تعداد برگ اختلاف معنی‌دار مشاهده شد و تعداد برگ در گونه علف پشمکی بالاتر از گونه کپه‌داغی بود (جدول ۹). کمبود آب ممکن است گسترش سایه‌انداز گیاه را از طریق اثر بر تعداد، اندازه و ریزش برگ محدود کند. محدودیت سطح برگ اولین خط دفاعی برای مقابله با خشکی گزارش شده است (فتحی سعدآبادی و نوایی، ۱۳۸۷) Liu و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که خشکیدگی برگ با طولانی شدن تیمار هم‌زمان خشکی و گرما در پنج رقم گیاه کنتاکی بلوگراس افزایش یافت. آن‌ها دوره تنش خشکی را مهم‌ترین عامل اثرگذار بر افزایش مقدار این صفت دانستند. افزایش تعداد برگ در با تلقیح میکوریزا با نتایج تحقیقات Kyriazopoulosو همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد.

وزن خشک کل گیاه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر اصلی تنش خشکی (S)، میکوریزا (M) و گونه بروموس (B) و اثر متقابل (S×M) در سطح یک درصد بر وزن خشک کل گیاه معنی‌دار گردید (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر متقابل (S×M)، تنش خشکی و کاربرد میکوریزا منجربه افزایش وزن خشک کل گیاه شد. بیش‌ترین وزن خشک کل گیاه در شرایط (S3M2) به میزان ۸/۶ گرم حاصل شد. در کل کاربرد *G. intraradices* در سطح سوم تنش منجر به افزایش ۲۱/۱ درصدی وزن خشک کل گیاه نسبت عدم کاربرد میکوریزا در همین سطح تنش گردید (جدول ۴). بین دو گونه بروموس از نظر وزن خشک کل گیاه اختلاف معنی‌دار مشاهده شد و وزن خشک کل گیاه در گونه علف پشمکی بالاتر از گونه کپه‌داغی بود (جدول ۹). در این تحقیق افزایش وزن خشک کل گیاه در اثر تنش خشکی را می‌توان به افزایش وزن خشک ریشه در

اثر تنش نسبت داد. افزایش وزن خشک ریشه با تنش خشکی با نتایج تحقیقات Kyriazopoulos و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. وی این عامل را به‌عنوان یک عامل اساسی برای بقای بهتر تحت شرایط تنش آب بیان کرد. در این مطالعه کاربرد میکوریزا منجربه افزایش وزن خشک کل گیاه گردید. در تفسیر این موضوع می‌توان بیان کرد که این قارچ‌ها افزایش بیوماس را به‌وسیله افزایش جذب آب، مواد معدنی و تولید هورمون‌های رشد انجام می‌دهند. تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین به‌وسیله این قارچ‌ها اثبات‌شده است (de Aguilar *et al*., 1979). این موضوع نشان می‌دهد که سویه مناسب میکوریزا به افزایش جذب آب، مواد غذایی، پتاسیم، فسفر، نیتروژن و مواد معدنی به گیاه کمک بیش‌تری می‌کند و باعث بهبود ساختار و ثبات خاک می‌شود. درنتیجه باعث افزایش بیوماس و رشد گیاه نسبت به گیاهان شاهد می‌شود و به استقرار آن‌ها در شرایط سخت محیطی کمک می‌کند (Barea and Honrubia, 2004). افزایش وزن خشک کل گیاه با کاربرد گونه *G.intraradices* در گیاه بروموس با نتایج تحقیقات عظیمی و همکاران (۱۳۹۲) هم‌راستا است. نتایج تحقیقات Aposyolos و همکاران (۲۰۱۴) و Soliman و همکاران (۲۰۱۴) با نتایج این آزمایش مبنی بر اثر مثبت میکوریزا بر وزن خشک هم‌خوانی دارد.

جدول ۲: تجزیه واریانس اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر برخی صفات دو گونه بروموس در شرایط کم‌آبی طی دو سال آزمایشی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷

		میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ریشه	ارتفاع گیاه	تعداد برگ	وزن خشک کل گیاه	کیفیت پوشش
سال (Y)	۱	۳۲/۱۶ ns	۶۱/۱۶ *	۰/۱۱ ns	۰/۰۲ ns	۱/۱۲ ns
(تکرار) سال	۶	۲۶/۱	۸/۲۶	۰/۱۹	۱/۰۱	۵/۷
تنش خشکی (S)	۲	۳۹۵۷/۱۹ **	۲۴۸۵/۵۲ **	۷۶/۳۵ **	۶۷/۷۳ **	۹۵/۲۴ **
S×Y	۲	۰/۲ ns	۳/۰۳ ns	۰/۰۵ ns	۰/۳۷ ns	۰/۴ **
خطا اصلی	۱۲	۱/۹	۲/۳۲	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۰۵
میکوریزا (M)	۲	۶۵۳/۵ **	۲۲۴/۶ **	۶/۳۱ **	۳۶/۰۷ **	۱۰/۰۱ *
S×M	۴	۶۷/۲۶ **	۸/۴۲ **	۰/۱۵ ns	۰/۴۸ **	۰/۰۶ *
M×Y	۲	۰/۳۶ ns	۰/۷۴ ns	۰/۰۷ ns	۰/۳۹ ns	۰/۳۹ *
S×M×Y	۴	۱/۷۳ ns	۰/۱۷ ns	۰/۰۶ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۱ ns
خطای فرعی	۳۶	۳/۴۶	۳/۹۴	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۰۷
گونه بروموس (B)	۱	۶۹۹۱/۳۳ **	۴۶۴۳/۴ *	۳۹/۲۳ **	۸۰/۳۴ **	۳/۳۹ ns
S×B	۲	۲۴۱/۵۲ **	۱۹۶/۰۴ **	۲/۶۵ ns	۰/۱۲ ns	۰/۱۲ ns
M×B	۲	۲۸/۰۶ **	۱۷/۰۸ **	۰/۴۹ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۳ ns
S×M×B	۴	۱/۶ ns	۱/۶۲ **	۰/۰۶ ns	۰/۱۸ ns	۰/۰۴ ns
B×Y	۱	۰/۰۴ ns	۵/۱۷ ns	۰/۰۱ ns	۰/۶۹ ns	۰/۶۳ *
S×B×Y	۲	۴/۶۲ ns	۰/۲۴ ns	۰/۲۱ ns	۰/۳۹ ns	۰/۰۱ ns
M×B×Y	۲	۰/۰۷ ns	۰/۰۶ ns	۰/۰۸ ns	۰/۱۲ ns	۰/۰۴ ns
S×M×B×Y	۴	۱/۵۶ ns	۰/۰۲ ns	۰/۱ ns	۰/۱۱ ns	۰/۰۲ ns
خطای فرعی	۵۴	۵/۶۴	۸/۱	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۱
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۷	۱۴/۶	۱۰/۹	۹/۹	۵/۲

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد.

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر ارتفاع گیاه دو گونه بروموس در شرایط کم‌آبی

تیمارهای آزمایشی		ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	
		Bromus kopetdaghensis	*Bromus tometolus*
تنش خشکی	قارچ میکوریزا		
بدون تنش (در حد ظرفیت زراعی) (S1)	بدون میکوریزا (شاهد)	۱۶/۸ j	۳۱/۲ c
بدون تنش (در حد ظرفیت زراعی) (S1)	*Glomus intraradices*	۲۱/۱ g	۳۸ a
بدون تنش (در حد ظرفیت زراعی) (S1)	*Glomus mosseae*	۱۸/۸ h	۳۲/۳ b
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	بدون میکوریزا (شاهد)	۱۳/۳ o	۲۴/۹ e
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	*Glomus intraradices*	۱۵/۷ k	۲۹/۴ d
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	*Glomus mosseae*	۱۳/۵ n	۲۴/۵ f
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	بدون میکوریزا (شاهد)	۷/۴ r	۱۴/۲ m
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	*Glomus intraradices*	۱۰/۱ p	۱۷/۷ i
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	*Glomus mosseae*	۸/۱ q	۱۴/۷ l

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها می‌باشند.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر برخی صفات بروموس در شرایط کم‌آبی

تیمارهای آزمایشی		طول ریشه	وزن خشک کل	کیفیت پوشش
تنش خشکی	قارچ میکوریزا	(سانتی‌متر)	گیاه (گرم)	(رنگ از ۱ تا ۹)
بدون تنش (در حد ظرفیت زراعی) (S1)	بدون میکوریزا (شاهد)	۱۲/۹ f	۴/۹ h	۶/۶ d
بدون تنش (در حد ظرفیت زراعی) (S1)	*Glomus intraradices*	۱۶/۸ e	۶/۳ d	۷/۴ a
بدون تنش (در حد ظرفیت زراعی) (S1)	*Glomus mosseae*	۱۶ e	۵/۳ g	۶/۸ c
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	بدون میکوریزا (شاهد)	۲۱/۴ d	۵/۵ f	۶/۴ e
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	*Glomus intraradices*	۲۶/۹ c	۷/۶ b	۷/۳ b
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	*Glomus mosseae*	۲۷/۳ c	۶/۱ e	۶/۷ c
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	بدون میکوریزا (شاهد)	۲۶/۷ c	۷/۱ c	۳/۹ h
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	*Glomus intraradices*	۳۵/۶ b	۸/۶ a	۵ f
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	*Glomus mosseae*	۳۷/۷ a	۷/۶ b	۴/۴ g

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها می‌باشند.

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر طول ریشه دو گونه بروموس

تنش خشکی	گونه بروموس	طول ریشه (سانتی‌متر)
بدون تنش (در حد ظرفیت زراعی) (S1)	*Bromus kopetdaghensis*	۱۰/۷ e
بدون تنش (در حد ظرفیت زراعی) (S1)	*Bromus tometolus*	۱۹/۷ d
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	*Bromus kopetdaghensis*	۱۷/۷ d
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	*Bromus tometolus*	۳۲/۷ b
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	*Bromus kopetdaghensis*	۲۴/۴ c
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	*Bromus tometolus*	۴۲/۳ a

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر طول ریشه دو گونه بروموس

میکوریزا	دو گونه بروموس	طول ریشه (سانتی‌متر)
بدون میکوریزا (شاهد)	*Bromus kopetdaghensis*	۱۴/۳ f
بدون میکوریزا (شاهد)	*Bromus tometolus*	۲۶/۴ c
Glomus intraradices	*Bromus kopetdaghensis*	۱۹ e
Glomus intraradices	*Bromus tometolus*	۳۳/۹ b
Glomus mosseae	*Bromus kopetdaghensis*	۱۹/۷ d
Glomus mosseae	*Bromus tometolus*	۳۴/۳ a

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها می‌باشند.

جدول ۷: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر برخی صفات بروموس در دو سال آزمایشی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷

تنش خشکی	تعداد برگ	میانگین حسابی بهره‌وری	میانگین هندسی بهره‌وری
بدون تنش (در حد ظرفیت زراعی) (S1)	۶/۶ a	-	-
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	۵/۱ b	۱/۹۷ a	۱/۹۵ a
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	۴/۱ c	۱/۷۷ b	۱/۷ b

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها می‌باشند.

جدول ۸: مقایسه میانگین اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر برخی صفات گونه بروموس

گونه‌های قارچ میکوریزا	تعداد برگ	میانگین حسابی بهره‌وری (MP)
بدون میکوریزا (شاهد)	۴/۹ c	۱/۶۳ b
Glomus intraradices	۵/۷ a	۲/۳۱ a
Glomus mosseae	۵/۲ b	۱/۶۷ b

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها می‌باشند.

جدول ۹: مقایسه میانگین برخی صفات دو گونه بروموس به‌صورت تجزیه مرکب

گونه‌های بروموس	تعداد برگ	وزن خشک کل گیاه (گرم)	میانگین حسابی بهره‌وری (MP)
Bromus kopetdaghensis	۴/۸ b	۵/۸ b	۱/۴۷ b
Bromus tometolus	۵/۸ a	۷/۳ a	۲/۲۷ a

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها می‌باشند.

کیفیت پوشش

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، کیفیت پوشش تحت اثر اثر اصلی تنش خشکی (S) و اثر متقابل (S×Y) و (B×Y) در سطح یک درصد و اثر میکوریزا (M) و (S×M) و (M×Y) در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر متقابل (B×Y)، در هر دو سال آزمایش بین دو گونه بروموس از نظر کیفیت پوشش اختلاف معنی‌دار

مشاهده شد و کیفیت پوشش در هر دو سال در علف پشمکی بالاتر از کپه داغی بود (جدول ۱۰). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل (S×M) نشان داد که بالاترین کیفیت پوشش در شرایط بدون تنش همراه با کاربرد میکوریزا گونه *G. intraradices* (S1M2) به‌دست آمد. کم‌ترین میزان این صفت در شرایط تنش شدید بدون استفاده از میکوریزا (S3M1) حاصل شد. در کل تنش منجربه کیفیت پوشش گردید و در هر سه سطح تنش خشکی، کاربرد میکوریزا منجربه افزایش معنی‌دار کیفیت پوشش نسبت به عدم استفاده از میکوریزا گردید و این افزایش در M2 بیش‌تر از M3 بود. در شرایط تنش شدید، کاربرد گونه M2 و M3 نسبت به شاهد (M1) به‌ترتیب منجربه افزایش ۲۵/۹ و ۱۱/۷ درصدی کیفیت پوشش شد (جدول ۴). خشکی با اثر منفی بر میزان رشد شاخساره سبب کاهش تراکم و عرض برگ‌ها می‌شود. با توجه به اینکه عرض برگ نمایانگر بافت پوشش است و بافت پوشش نیز یکی از مؤلفه‌های کیفیت پوشش است. بنابراین خشکی، کیفیت پوشش را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر کاهش محتوای کلروفیل که از اثرات تنش خشکی است، روی رنگ پوشش که یکی دیگر از شاخص‌های کیفیت است، اثرگذار است. این عوامل در کنار افزایش سوختگی برگ‌ها و کاهش تراکم پوشش سبب کاهش کیفیت پوشش می‌شوند (تاتاری و همکاران، ۱۳۹۴) در همین راستا در آزمایشی کیفیت کنتاکی بلوگراس در طی پنج روزی که در معرض تنش خشکی بودند، تا حد زیادی کاهش پیدا کرد (Bian and Jiang, 2009). کاهش کیفیت پوشش و میزان کلروفیل با افزایش تنش خشکی با نتایج تحقیقات تاتاری و همکاران (۱۳۹۴) در سه نوع چمن (*Agropyron desertorum*، *Poa pratensis* L.، *Bromus inermis* Leyss) و مهدوی و همکاران (۱۳۹۶) در سه گونه بومی *Festuca arundinacea*، *Festuca rubra* و *Brumos tomentellus* هم‌راستا است.

شاخص تحمل به خشکی (TOL)

اثر اصلی تنش خشکی (S) و میکوریزا (M) و اثر متقابل (S×M×B×Y) در سطح پنج درصد و اثر (B×Y)، (S×B×Y) و (M×B×Y) در سطح یک درصد بر شاخص تحمل به خشکی معنی‌دار گردید (جدول ۱۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل (S×M×B×Y) نشان دادند که بیشترین شاخص تحمل به خشکی در هر دو سال در گونه علف پشمکی در شرایط تنش شدید و استفاده از گونه میکوریزا *G. intraradices* (S3M2B2Y2) و (S3M2B2Y1) به‌دست آمد. در کل در هر دو گونه بروموس، شاخص تحمل به خشکی در شرایط تنش شدید بیش‌ترین میزان بود (جدول ۱۲).

شاخص میانگین حسابی بهره‌وری (MP)

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب، اثر اصلی تنش خشکی (S) در سطح پنج درصد و اثر میکوریزا (M) و گونه بروموس (B) در سطح یک درصد بر شاخص میانگین حسابی بهره‌وری معنی‌دار گردید (جدول ۱۱). MP در شرایط

آبیاری بر اساس ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بالاتر از آبیاری بر اساس ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۷). بیش‌ترین میزان MP در کاربرد گونه میکوریزا *G. intraradices* (M2) حاصل شد. بین کاربرد گونه *G. mosseae* و عدم کاربرد میکوریزا (M1) و (M3) از نظر این صفت اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۸). بین دو گونه بروموس ازنظر MP اختلاف معنی‌دار مشاهده شد و MP در گونه علف پشمکی بالاتر از گونه کپه‌داغی بود (جدول ۹).

جدول ۱۰: مقایسه میانگین اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا و سال بر کیفیت پوشش بروموس

سال	قارچ مایکوریزا	کیفیت پوشش
سال اول (۹۷-۱۳۹۶)	بدون میکوریزا (شاهد)	۵/۶۳ d
	Glomus intraradices	۶/۳۶ b
	Glomus mosseae	۵/۸۹ c
سال دوم (۹۸-۱۳۹۷)	بدون میکوریزا (شاهد)	۵/۶۲ d
	Glomus intraradices	۶/۷۱ a
	Glomus mosseae	۶/۰۸ c

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها می‌باشند.

شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)

در این آزمایش شاخص میانگین هندسی بهره‌وری تحت اثر اثر اصلی تنش خشکی (S) در سطح پنج درصد و اثر میکوریزا (M) و گونه بروموس (B) و اثر متقابل (M×B×Y) در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۱۱). میزان GMP در شرایط آبیاری بر اساس ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بالاتر از آبیاری بر اساس ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۷). بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل (M×B×Y)، بیش‌ترین GMP در هر دو سال در گونه علف پشمکی همراه با کاربرد گونه میکوریزا *G. intraradices* (M2B2Y1) و (M2B2Y2) حاصل شد و کم‌ترین میزان این صفت در گونه کوپه داغی در عدم کاربرد میکوریزا در سال اول (M1B1Y1) به‌دست آمد. در کل در هر دو رقم بروموس، کاربرد گونه میکوریزا *G. intraradices* در هر دو سال منجربه افزایش GMP معنی‌دار گردید. در علف پشمکی بین کاربرد گونه *G. mosseae* و عدم کاربرد میکوریزا (M1) و (M3) در هر دو سال اختلاف معنی‌داری از نظر این صفت وجود نداشت (جدول ۱۳). شاخص‌های متعددی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها بر مبنای وضعیت عملکرد آن‌ها در محیط‌های دارای تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است که بر مبنای آن‌ها ژنوتیپ‌های دارای وضعیت یکنواخت در شرایط بدون تنش و تنش شناسایی می‌شوند. حساسیت به خشکی یک ژنوتیپ معمولاً بر اساس میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی برآورد می‌شود (Blum, 1988). بر اساس شاخص تحمل به خشکی و شاخص میانگین حسابی عملکرد، ارقامی که در شرایط با رطوبت مناسب و نیز در شرایط کم آبیاری عملکرد با ثبات‌تری داشته باشند و یا به‌عبارت‌دیگر تفاوت عملکرد آن‌ها در هر دو شرایط

حداقل باشد، تحمل نسبی بیش‌تری به خشکی خواهند داشت. نتایج تحقیقات ابراهیمیان و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که همبستگی بسیار معنی‌دار بین شاخص‌های GMP، STI و عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش مشاهده گردید. بنابراین آن‌ها این دو شاخص را به‌عنوان بهترین شاخص برای تخمین پایداری و عملکرد و درنهایت دستیابی به ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو محیط مورد استفاده قراردادند. عزیزی و همکاران (۲۰۰۹) نتیجه گرفتند که دو شاخصGMP ، STI بیش‌ترین همبستگی را با عملکرد دارند. به‌طورکلی انتظار می‌رود ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بالا برای شاخص‌های GMP و STI دارای تحمل زیادی نسبت به خشکی باشند و هرچقدر مقدار شاخص‌های SSI و TOL بیش‌تر باشد، نشان‌دهنده تحمل کم‌تر در ژنوتیپ مربوطه هست. بااین‌حال تنها پایین بودن مقادیر SSI و TOL برای یک ژنوتیپ به‌منزله مناسب بودن آن جهت کشت در شرایط تنش نیست، زیرا ممکن است ژنوتیپ‌هایی یافت شوند که دارای حساسیت پایین به خشکی باشند ولی دارای عملکرد پایین در هر دو شرایط نیز باشند (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998). در این تحقیق با اینکه میزان شاخص تحمل به خشکی در گونه علف پشمکی بالاتر از کوپه‌داغی است و نشان‌دهنده حساسیت بالاتر این ژنوتیپ به خشکی است، اما به علت برتری زیاد عملکرد آن در شرایط عدم تنش باوجود کاهش زیاد عملکرد نسبت به گونه کوپه داغی ارجحیت دارد.

جدول ۱۱: تجزیه واریانس اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر شاخص‌های تحمل به خشکی دو گونه بروموس در شرایط کم‌آبی

		میانگین مربعات		
منابع تغییرات	درجه آزادی	Tol	MP	GMP
سال (Y)	۱	۰/۰۶ ns	۰/۱ ns	۰/۱۲ ns
(تکرار) سال	۶	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۳
تنش خشکی (S)	۱	۳/۹۶ *	۱/۰۱ *	۱/۵ *
S×Y	۱	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۶ ns
خطا اصلی	۶	۰/۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۱
میکوریزا (M)	۲	۰/۰۶ *	۴/۶۲ **	۴/۳۵ **
S×M	۲	۰/۰۹ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۳ ns
M×Y	۲	۰/۰۲ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۵ ns
S×M×Y	۲	۰/۰۶ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۲ ns
خطای فرعی	۲۴	۰/۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۱
گونه بروموس (B)	۱	۱/۵۵ ns	۱۵/۲۶ **	۱۴/۹۷ **
S×B	۱	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۲ ns
M×B	۲	۰/۰۳ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۲ ns
S×M×B	۲	۰/۰۷ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۲۷ ns
B×Y	۱	۰/۳ **	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۵ ns
S×B×Y	۱	۰/۱۳ **	۰/۰۳ ns	۰/۰۴ ns
M×B×Y	۲	۰/۱۹ **	۰/۱۸ ns	۰/۱۶ **
S×M×B×Y	۲	۰/۰۸ **	۰/۰۲ ns	۰/۰۳ ns
خطای فرعی	۳۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۹/۱	۷/۲	۷/۵

ns، * و ** : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱درصد.

جدول ۱۲: مقایسه میانگین اثر تنش خشکی × گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا × گونه بروموس × سال بر شاخص تحمل به خشکی

تیمارهای آزمایشی		گونه بروموس	سال اول	سال دوم
تنش خشکی	قارچ میکوریزا			
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	بدون میکوریزا (شاهد)	*Bromus kopetdaghensis*	۰/۴۳ hij	۰/۳۷ j
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	بدون میکوریزا (شاهد)	*Bromus tometolus*	۰/۶۵ fg	۰/۴۲ hij
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	*Glomus intraradices*	*Bromus kopetdaghensis*	۰/۶۵ fg	۰/۴ ij
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	*Glomus intraradices*	*Bromus tometolus*	۰/۶ fghi	۰/۹۹ bc
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	*Glomus mosseae*	*Bromus kopetdaghensis*	۰/۳۸ ij	۰/۰۷ k
تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) (S2)	*Glomus mosseae*	*Bromus tometolus*	۰/۴۴ ghij	۰/۷۵ def
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	بدون میکوریزا (شاهد)	*Bromus kopetdaghensis*	۰/۶۶ fg	۰/۶۹ ef
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	بدون میکوریزا (شاهد)	*Bromus tometolus*	۰/۹۲ bcd	۰/۹ b-e
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	*Glomus intraradices*	*Bromus kopetdaghensis*	۱/۱۱ b	۰/۸۹ bcde
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	*Glomus intraradices*	*Bromus tometolus*	۱/۳۱ a	۱/۴۳ a
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	*Glomus mosseae*	*Bromus kopetdaghensis*	۰/۷۸ c-f	۰/۶۴ fgh
تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) (S3)	*Glomus mosseae*	*Bromus tometolus*	۰/۹۴ bcd	۰/۷۵ def

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها می‌باشند.

جدول ۱۳: مقایسه میانگین اثر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) دو گونه بروموس

میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)		گونه بروموس	میکوریزا
سال دوم	سال اول		
۱/۲۷ ef	۱/۱۱ g	*Bromus kopetdaghensis*	بدون میکوریزا (شاهد)
۲/۰۶ c	۱/۹۳ c	*Bromus tometolus*	بدون میکوریزا (شاهد)
۱/۷۷ d	۱/۹۵ c	*Bromus kopetdaghensis*	*Glomus intraradices*
۲/۷۲ a	۲/۵۷ b	*Bromus tometolus*	*Glomus intraradices*
۱/۳۵ e	۱/۱۵ fg	*Bromus kopetdaghensis*	*Glomus mosseae*
۲/۰۲ c	۲/۰۴ c	*Bromus tometolus*	*Glomus mosseae*

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در این آزمایش تنش خشکی منجربه کاهش تعداد برگ شد. میزان GMP و MP در شرایط آبیاری بر اساس ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بالاتر از آبیاری بر اساس ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بود. استفاده از گونه میکوریزا *G. intraradices* (M2) منجر به افزایش معنی‌دار تعداد برگ و شاخص میانگین حسابی بهره‌وری گردید، اما کاربرد *G. mosseae* (M3) نسبت به شاهد اثر معنی‌دار بر شاخص میانگین حسابی بهره‌وری نداشت. در این آزمایش تعداد برگ، MP، کیفیت پوشش، وزن خشک کل گیاه در علف پشمکی بالاتر از گونه کپه‌داغی بود. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل (S×M) نشان دادند که تنش خشکی و کاربرد میکوریزا منجر ه افزایش طول ریشه و وزن خشک کل گیاه شد. بیش‌ترین وزن خشک کل گیاه در شرایط (S3M2) به میزان ۸/۶ گرم و طول ریشه در شرایط (S3M3) به میزان ۳۷/۷ سانتی‌متر حاصل شد. کاربرد *G.intraradices* در سطح سوم تنش منجربه افزایش ۲۱/۱ درصدی وزن خشک کل گیاه نسبت عدم کاربرد میکوریزا در

همین سطح تنش گردید. در این آزمایش تنش منجربه کاهش کیفیت پوشش گردید و در هر سه سطح تنش خشکی، کاربرد میکوریزا منجربه افزایش معنی‌دار کیفیت پوشش نسبت به عدم استفاده از میکوریزا گردید و این افزایش در (M2) بیش‌تر از (M3) بود. در مقایسه میانگین اثر متقابل (S×B)، بیش‌ترین طول ریشه در گونه *Bromus tometolus* (علف پشمکی) در شرایط آبیاری بر اساس ۴۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل گردید. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر (M×B) حاکی از آن بود که بیش‌ترین طول ریشه در گونه علف پشمکی همراه با کاربرد گونه میکوریزا *G. mosseae* (M3B2) حاصل شد. در مقایسه میانگین اثر متقابل (S×M×B)، بیش‌ترین ارتفاع گیاه در گونه علف پشمکی در شرایط بدون تنش همراه با کاربرد میکوریزا گونه *G. intraradices* (S1M2B2) به دست آمد. در دو گونه بروموس در هر سه سطح تنش خشکی، کاربرد میکوریزا *G. intraradices* منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه نسبت به عدم استفاده از میکوریزا گردید. بیش‌ترین GMP در هر دو سال در گونه علف پشمکی همراه با کاربرد گونه میکوریزا *G. intraradices* (M2B2Y1) و (M2B2Y2) حاصل شد و کم‌ترین میزان این صفت در گونه کوپه‌داغی در عدم کاربرد میکوریزا در سال اول (M1B1Y1) به‌دست آمد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل (S×M×B×Y) نشان دادند که بیش‌ترین شاخص تحمل به خشکی در هر دو سال در گونه علف پشمکی در شرایط تنش شدید و استفاده از گونه میکوریزا *G. intraradices* (S3M2B2Y2) و (S3M2B2Y1) به‌دست آمد. در کل در هر دو گونه بروموس، شاخص تحمل به خشکی در شرایط تنش شدید بیش‌ترین میزان بود. با توجه به نتایج فوق، گونه بروموس *Bromus tometolus* و استفاده از قارچ گونه *Glomus intraradices* برای این منطقه در شرایط تنش خشکی توصیه می‌شود.

منابع

ابراهیمیان، م.، مجیدی، م.م.، میرلوحی، ا. ف. و نصیری، م. ۱۳۹۰. بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های فسکیوی بلند. تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران. ۱۹ (۱): ۱۱۸-۱۰۱.

بیرانوند، ک.، اشرف جعفری، ع.، رحمانی، ا. و چمنی، م. ۱۳۸۹. بررسی تنوع در عملکرد و صفات مورفولوژیکی در جمعیت‌هایی از دو گونه از بروموس (*Bromus tomentellus* و *Bromus persicus*). تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران. ۱۸(۲): ۲۸۰-۲۹۳ .

تاتاری، م.، فتوحی قزوینی، ر.، موسوی، ا. و اعتمادی، ن. ۱۳۹۴. بررسی برخی خصوصیات مورفولوژیک سه گونه چمن در شرایط تنش خشکی. دو فصلنامه علمی پژوهشی خشک بوم. ۵ (۲): ۱۱-۲۷ .

تدین، ع. و سلطانیان، م. ۱۳۹۵. اثر قارچ میکوریزای آربوسکولار بر رشد، کلونیزاسیون ریشه و جذب فسفر بزرک (*Linum ussitatissimum* L.) تحت سطوح مختلف کم‌آبی. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۵(۱۵): ۱۴۷-۱۵۶.

زینالی خانقاه، ح.، ایزانلو، ع.، حسین‌زاده، ع. و مجنون حسینی،ن. ۱۳۸۳. تعیین شاخص های مناسب مقاومت به خشکی در ارقام سویا وارداتی. علوم کشاورزی ایران. ۳۵(۴): ۸۸۵-۸۷۵.

عظیمی، ر.، جنگجو، م. و اصغری، ح. ر. ۱۳۹۲. تأثیر تلقیح قارچ میکوریزا بر استقرار نهال و خصوصیات مورفولوژیکی رشد بروموس (*Bromus kopetdaghenisis*) در شرایط عرصه‌های مرتعی. مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران. ۶۷ (۴): ۵۵۹-۵۷۰ .

فتحی سعد ابادی، م. و نوایی، ف. ۱۳۸۷. اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای آن در چهار ژنوتیپ پنبه در منطقه دارابن. علوم زراعی ایران. ۱۰ (۲): ۱۱۰-۱۲۴.

مصطفایی، ا.، عرب، م.، اعتمادی، ن. ا و روزبان، م. ر. ۱۳۹۳. ارزیابی قابلیت استفاده کاربردی از دو گونه گراس بومی ایران. به زراعی کشاورزی. ۱۶(۴): ۱۰۳۶-۱۰۴۷.

مهدوی، ر.، پارسا، م.، گزانچیان، ع. و خزاعی، ح.ر. ۱۳۹۶. تأثیر تنش خشکی بر کیفیت ظاهری، خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ۳ گونه چمن بومی. علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۱ (۱) : ۲۱۶-۲۲۵.

Alguacil, M., Torrecillas, E., Roldán, A., Díaz, G.and Torres, M. 2012. Perennial plant species from semiarid gypsum soils support higher AMF diversity in roots than the annual Bromus rubens. Soil Biology and Biochemistry. 49 : 132-138.

Armaki, M. A., Hashemi, M. and Azarniv, H. 2013. Physiological and morphological responses of three Bromus species to drought stress at seedling stage and grown under germinator and greenhouse conditions. African Journal of Plant Science. 7(5) :155-161.

Azul, A. M., Ramos, V. and Sales, F. 2010. Early effects of fire on herbaceous vegetation and mycorrhizal symbiosis in high altitude grasslands of Natural Park of Estrela Mountain (PNSE). Symbiosis. 52(2-3) : 113-123.

Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Lotfabadi, S. S. and Mohamadian, A. 2010. Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. Field crops research. 118(2): 105-114.

Barea, J. and Honrubia, M. 2004. The plant mycorrhization directed forestal. *A*dvances in the studio of Mediterranean forest management, Environmental Studies Center Foundation CEAM Mediterranean, Valencia. 215-260.

Bian, S. and Jiang, Y. 2009. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. Scientia Horticulturae. 120(2): 264-270.

Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments.,(CRC Press Inc.: Boca Raton, FL, USA).

Chakherchaman, S. A., Mostafaei, H., Imanparast, L. and Eivazian, M. R. 2009. Evaluation of drought tolerance in lentil advanced genotypes in Ardabil region, Iran. Journal of Food, Agriculture & Environment. 7(3/4): 283-288.

de Aguilar, C. A.-G., Azcón, R. and Barea, J. 1979. Endomycorrhizal fungi and Rhizobium as biological fertilisers for Medicago sativa in normal cultivation. Nature. 279 (5711): 325-327.

Jordan, J., White, R., Vietor, D., Hale, T., Thomas, J. and Engelke, M. 2003. Effect of irrigation frequency on turf quality, shoot density, and root length density of five bentgrass cultivars. Crop science. 43(1): 282-287.

Kafi, M. and Kaviani, S. 2002. Establishment management and turf maintenance. Cultural and Artistic Institution Shaghayegh Rusta, 230.

Kyriazopoulos, A. P., Orfanoudakis, M., Abraham, E. M., Parissi , Z. M. and Serafidou, N. 2014. Effects of arbuscular mycorrhiza fungi on growth characteristics of Dactylis glomerata L. under drought stress conditions. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 42(1): 132-137.

Liu, J., Xie, X., Du, J., Sun, J. and Bai, X. 2008. Effects of simultaneous drought and heat stress on Kentucky bluegrass. Scientia Horticulturae. 115(2): 190-195.

Mahan, J. R. and Wanjura, D. F. 2005. Seasonal patterns of glutathione and ascorbate metabolism in field-grown cotton under water stress. Crop science. 45(1): 193-201.

Querejeta, J., Allen, M., Caravaca, F. and Roldán, A. 2006. Differential modulation of host plant δ13C and δ18O by native and nonnative arbuscular mycorrhizal fungi in a semiarid environment. New Phytologist. 169(2): 379-387.

Ramirez-Vallejo, P. and Kelly, J. D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica. 99(2): 127-136.

Rapparini, F. and Peñuelas, J. 2014. Mycorrhizal fungi to alleviate drought stress on plant growth Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses. 1: 21-42

Renata, G., Bruno, T. and Danielle, K. 2010. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and cattle manure in the establishment of Tocoyena selloana Schum. mined dune areas. European Journal of Soil Biology. 46: 237-242.

Richardson, M. D., Karcher, D. E., Hignight, K. and Rush, D. 2008. Drought tolerance and rooting capacity of Kentucky bluegrass cultivars. Crop science. 48(6): 2429-2436.

Ruiz-Lozano, J. M. and Aroca, R. 2010. Modulation of aquaporin genes by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in relation to osmotic stress tolerance Symbioses and stress., 357-374

Sangtarash, M., Qaderi, M., Chinnappa, C. and Reid, D. 2009. Differential sensitivity of canola (*Brassica napus*) seedlings to ultraviolet-B radiation, water stress and abscisic acid. Environmental and Experimental Botany. 66(2): 212-219.

Shi, Z., Zhang, X., Xu, S., Lan, Z., Li, K., Wang, Y. and Chen, Y. 2017. Mycorrhizal relationship in lupines: a review. Legume Research-An International Journal. 40 (6): 965-973.

Sirousmehr, A., Arbabi, J. and Asgharipour, M. R. 2014. Effect of drought stress levels and organic manures on yield, essential oil content and some morphological characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum*). Advances in Environmental Biology. 8(4): 880-885.

Smith, S. and Read, D. 2008. Mycorrhizal symbiosis,. 3rd edn.(Academic Press: New York).

Soliman, A. S., Shanan, N. T., Massoud, O. N. and Swelim, D. M. 2012. Improving salinity tolerance of *Acacia saligna* (Labill.) plant by arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium inoculation. African Journal of Biotechnology. 11(5): 1259-1266.

Wang, W. B., Kim, Y. H., Lee, H. S., Kim, K. Y., Deng, X. P. and Kwak, S. S. 2009. Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. Plant Physiology and Biochemistry. 47(7): 570-577.