فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۷، شماره ۴، صفحه ۶۳۸-۶۲۳، (۱۴۰۰)
DOI: 10.30466/jfrd.2021.53270.1525
DOR: 20.1001.1.24763551.1400.7.4.7.4

مقالهٔ پژوهشی

بررسی تأثیر قارچ‌های مایکوریزی بر نهال‌های سنجد (*Elaeagnus angustifolia* L.) تحت تنش آبی

بهمن زمانی کبرآبادی*[۱]، سیدمحمد حجتی [۲]، فرهاد رجالی [۳]، مسعود اسماعیلی شریف[۴] و راضیه صبوحی[۵]

۱- دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. (Zamanikebrabadi67@gmail.com)
۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (S-m-hodjati@yahoo.com)
۳- دانشیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. (frejali@yahoo.com)
۴- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی اصفهان، ایران. (Masoudesmaeilisharif@gmail.com)
۵- دکتری علوم مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. (razieh_saboohi@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱۷

چکیده

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل: ۱- تلقیح با قارچ‌های آربسکولار مایکوریزا در سه سطح *Rhizophagus irregularis*، *Funneliformis mosseae* و شاهد (بدون تلقیح) و ۲- تنش خشکی در چهار سطح ۱۰۰ (شاهد)، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی (FC) در چهار تکرار در گلخانه انجام شد. صفات مورفولوژیکی نهال‌های سنجد *Elaeagnus angustifolia* L. (ارتفاع، قطر یقه و غیره) در ابتدا و انتهای دوره آزمایش اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با افزایش تنش آبی صفات رویشی مانند ارتفاع، قطر یقه، تعداد شاخه و برگ، وزن خشک ریشه و اندام هوایی نهال‌های سنجد به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. طول ریشه اصلی نهال‌ها با افزایش تنش خشکی تا FC ۵۰ درصد روند افزایشی نشان داد که نشان‌دهنده افزایش طول ریشه در شرایط تنش آبی بود. متوسط طول ریشه نهال‌های سنجد در گونه‌های قارچی *F. mosseae* و *R. irregularis* به‌ترتیب ۴۶ و ۳۸ سانتی‌متر بود. کاربرد میکوریز به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای رشد رویشی و صفات مورفولوژیکی نهال‌ها را در شرایط تنش خشکی افزایش داد، گونه قارچی *F. mosseae* در تمامی صفات مورفولوژیک غیر از وزن خشک ریشه شرایط مطلوب‌تری نسبت به گونه قارچی *R. irregularis* برای نهال‌های یک‌ساله سنجد ایجاد کرد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع نهال، کلونیزاسیون، قطر یقه، وزن اندام هوایی، وزن ریشه.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۳۳۲۳۶۰۰۹

مقدمه

بخش وسیعی از سرزمین‌های جهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با محدودیت آب مواجه هستند. طبق آمار موجود مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان تقریباً ۴۴/۷ میلیون کیلومتر مربع را شامل می‌شوند. تقریباً ۹۰ درصد مناطق خشک جهان در ۲۷ کشور مانند ایران متمرکز شده‌اند (Verma et al., 2013). در میان تنش‌های غیرزیستی که گیاهان با آن روبه‌رو می‌شوند، تنش خشکی در بیشتر مناطق دنیا از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در گسترش و زادآوری گیاهان در سیستم‌های طبیعی و کشاورزی شناخته شده است (Caravaca et al., 2005). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌هایی است که در دنیا وجود دارد و زمانی که اندازهٔ تبخیر و تعرق از جذب آب بیشتر شود در گیاهان به وقوع می‌پیوندد. نقاط مختلفی از جهان در معرض تنش خشکی قرار دارند (Dehghan et al., 2016). تنش آبی می‌تواند از یک یا چند فعالیت فیزیولوژیکی مانند تعرق، فتوسنتز، رشد بافت، اندام و یا فعالیت‌های آنزیمی سلول ممانعت کرده و یا حتی سبب توقف آن شود. خسارت ناشی از کمبود آب موجب کاهش تولید در اثر تأخیر یا عدم استقرار گیاه، تضعیف و یا از میان رفتن گیاهان مستقر شده، مستعدشدن گیاه به حمله آفات و بیماری‌ها، تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در سوخت و ساز گیاهان و کاهش کیفیت گیاهان شود (Wu et al., 2006). درحال حاضر ایران نیز با متوسط نزولات سالانه ۲۴۰ میلی‌متر در زمره مناطق خشک جهان قرار دارد. با توجه به کم‌بودن ریزش‌های جوی و نامناسب‌بودن پراکنش زمانی و مکانی آن در ایران، کشور ما در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Kungu et al., 2008). یکی از استراتژی‌های مقابله با خشکی که مدتی است مورد توجه قرار گرفته است، تلقیح گیاهان با انواع مختلف از قارچ‌های مفید خاکزی است (Belhassen et al., 1997; García et al., 2010).

از انواع قارچ‌های مفید خاکزی، قارچ‌های مایکوریزایی هستند که این قارچ‌ها می‌توانند رشد را بهبود داده و سبب فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک شوند و با توجه به اثر تعدیل‌کنندگی آن‌ها نقش مهمی در شرایط تنش ایفا کنند (Augé, 2001). قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا از شناخته‌شده‌ترین انواع قارچ‌های میکوریز هستند که پراکنش وسیع‌تری داشته و با اغلب گونه‌های گیاهی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک هم‌زیستی دارند (Zamani kebrabadi et al., 2020). قارچ‌های میکوریزایی از نظر بهبود توانایی گیاه در جذب مواد غذایی، تعادل یون، حفظ فعالیت آنزیم، افزایش غلظت کلروفیل و افزایش سطح تماس ریشه با خاک، خطرات ناشی از تنش را کاهش داده و سبب افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شوند (Al-Karaki et al., 2004). هیف‌های قارچ سطح جذب کلی گیاهان تلقیح‌شده را افزایش داده و یا سبب افزایش دسترسی گیاهان میزبان به عناصر غذایی در منطقه دورتر از ریشه گیاه می‌شوند و عملاً حجم خاک مورد جستجو برای عناصر غذایی را افزایش داده و عناصر بیشتری را جذب می‌کنند (Al-Karaki and Hammad., 2001). به‌علاوه تحمل گیاهان به خشکی را از طریق بهبود جذب آب و پتانسیل آماس برگ، کنترل منافذ روزنه‌ای و تعرق، افزایش طول و عمق ریشه و توسعه هیف‌های انتهایی افزایش می‌دهد (Zawoznik et al., 2011). انشعابات میسلیومی قارچ‌ها قادرند نقش مهمی را در جذب و انتقال آب ایفا کنند. یکی از دلایل مهم حمایت مایکوریز در شرایط تنش آبی از گیاه میزبان، افزایش جذب عناصر غذایی در خاک و تغذیه بهتر گیاه است (Kouchaki, 1988) پژوهش‌های دیگر نشان داده‌اند که هم‌زیستی میکوریز آربسکولار می‌تواند با تنظیم پتانسیل اسمزی

در گیاه، اثر تنش خشکی را کاهش دهد (Aliasgharzad et al., 2006). احتمالاً انتقال آب از طریق هیف‌ها عامل افزایش جذب آب به‌وسیله گیاهان میکوریزی است. سطح اضافی ایجادشده به‌وسیله هیف‌های برون ریشه‌ای عامل افزایش جذب آب به‌وسیله گیاهان میکوریزی است. علاوه بر آن، افزایش سطح ایجاد شده به‌وسیله هیف‌های برون‌ریشه‌ای در واقع یک مسیر مستقیم برای جذب و انتقال آب به ریشه‌ها را فراهم می‌کند (Wu et al., 2006).

نتایج پژوهش روی گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی در شرایط تنش آبی نشان داد که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزایی بیش‌تر از گیاهان غیرمیکوریزایی است، این موضوع در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول دو تا سه برابری ریشه‌های میکوریزایی است. برگ‌های گیاهان مایکوریزایی دارای مقاومت کمتری به انتشار بخار آب هستند و هم‌چنین سطح آن‌ها در مقایسه با گیاهان غیرمایکوریزایی افزایش نشان می‌دهد (Zhang et al., 2006). در پژوهشی در نهالستان ایلام بین تیمارهای مختلف آبیاری ۲، ۴، ۶، ۹ و ۱۱ روز یک بار و ویژگی های مورفولوژیکی، بین نهال‌های کیکم اختلاف معنی‌داری از نظر خصوصیات مرفولوژیک سطح برگ، وزن تر برگ، وزن خشک ریشه، رشد طولی ساقه و قطر یقه وجود داشت که بیشترین میانگین صفات مربوط به آبیاری ۴ روز یک بار گزارش شد (Heydari and Attarooshan., 2011). ارزیابی تأثیر تنش خشکی روی مورفولوژی نهال سنجد تلخ در چهار سطح تنش خشکی ۲، ۴، ۸ و ۱۲ روز یک بار نشان داد، تنش خشکی ۱۲ روز یک بار روی مورفولوژی سنجد تلخ سبب افقی شدن شاخه‌ها با زاویه بیشتر و قطر کمتر شد (Ahani et al., 2018). نتایج پژوهش تنش خشکی روی سنجد تلخ در چین نشان داد که نهال‌ها به‌صورت خوابیده رشد کرده و شاخه‌ها و برگ‌های نازک‌تر و با زوایای بیشتری نسبت به شاهد دارد و هم‌چنین مقدار زی‌توده در چهار سطح آبیاری از شاهد تا خیلی خشک به‌ترتیب ۲۵، ۱۲۲، ۱۰۳ و ۱۳۶ گرم به‌دست آمد (Jacob and Clark., 2002). در پژوهشی تأثیر قارچ میکوریز و ریزوباکتری محرک رشد بر فعالیت آنزیم‌های آنتیاکسیدانی نهال استبرق تحت تنش خشکی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که تلقیح میکوریز و ریزوباکتریایی سودوموناس تحت شرایط خشکی به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان را افزایش می‌دهد (Ghanbary et al., 2020). در پژوهش دیگر تنش‌های محیطی فشار بیشتری را بر ارتفاع درختان سنجد تلخ پایه‌های ماده، نسبت به پایه‌های نر وارد می‌کند، درحالی‌که پایه‌های ماده سطح ویژه برگ، طول روزنه و شاخص روزنه بیشتری از پایه‌های نر در شیب ارتفاعی دارند (Sehgal et al., 2018). بررسی پتانسیل آبی برگ درختان سنجد تلخ قزوین نشان داد که این گونه تحمل متوسطی به خشکی دارد (Wu and Xia., 2006). با توجه به موقعیت ایران که از نظر اقلیمی در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و بحران آب در این منطقه، استفاده گیاهان سازگار به شرایط خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. توانایی گیاه برای سازش به تنش‌های محیطی بستگی به نوع، شدت و مدت تنش و هم‌چنین گونه گیاهی و مرحله وقوع تنش دارد. سنجد با نام علمی (*Elaeagnus angustifolia* L.) از مهم‌ترین گونه‌های معطر است که رویشگاه طبیعی وسیعی در اروپا و آسیا دارد. این گیاه در جنوب اروپا، باختر و شمال مرکزی آسیا تا هیمالیا به‌طور بومی می‌روید (Kumar., 1984). هم‌چنین در کشور ما نیز در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان یک گیاه خودرو، بادشکن و آبادکننده راه‌ها و اراضی، تکثیر یافته است و دارای انعطاف‌پذیری زیادی

در سازگاری با شرایط محیطی است (Lu et al., 2007). از گونه سنجد می‌توان به‌عنوان یک گونه مناسب در جنگلکاری اطراف شهرک‌ها و صنایع استفاده کرد. هم‌چنین این گیاه طی دهه‌های اخیر به سبب کاربردهای متعددی که در صنایع تبدیلی پیدا کرده جزء یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی در عرصه تجارت جهانی است (Ahmadiani et al., 2007). گونه سنجد توانایی جنگلکاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک را نیز داراست، این بررسی با استفاده از قارچ‌های هم‌زیست ریشه و برای ارزیابی مقدار تحمل گونه درختی سنجد به تنش رطوبتی و تأثیر قارچ‌ها در افزایش مقاومت در برابر تنش خشکی در شرایط گلخانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در تیرماه سال ۱۳۹۸ در محل مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان اجرا و تأثیر دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار *Rhizophagus irregularis* و *Funneliformis mosseae*، بر ویژگی‌های رشدی نهال‌های یکساله سنجد*Elaeagnus angustifolia* L. تحت تنش آبی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین‌منظور، نهال‌های یک‌ساله و با مورفولوژی یکسان حاصل از بذر پایه‌ی مادری یکسان، هدف‌گذاری شدند. نهال‌های سنجد با متوسط ارتفاع ۷۰–۵۰ سانتی‌متر، حداقل قطر ۱–۰/۵ سانتی‌متر و تعداد برگ حداقل تا ۳۰ عدد از نهالستان وابسته به اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان انتخاب شد (سعی شد تمامی نهال‌ها دارای میانگین شرایط ارتفاع، قطر، شادابی، تعداد برگ و غیره یکسان باشند). سپس نهال‌ها به گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان منتقل و به‌مدت ۲۰ روز برای سازگاری با شرایط جدید در آن‌جا نگهداری شدند.

کشت گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل و در چهار تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل ۱– قارچ در سه سطح تلقیح با قارچ‌های آربوسکولار مایکوریز *R. irregularis*، *F. mosseae* و شاهد (بدون تلقیح)، ۲– تنش‌های آبی در چهار سطح شامل ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌عنوان شاهد (سطح مطلوب آبیاری)، تنش ملایم (حدود ۷۵ FC درصد)، تنش آبی متوسط (حدود ۵۰ FC درصد) و تنش آبی شدید (حدود ۲۵ FC درصد) رطوبت ظرفیت زراعی اعمال شد. منحنی رطوبتی خاک در آزمایشگاه با روش صفحه فشاری (Plate Pressure) تعیین و بر اساس آن ظرفیت زراعی خاک محاسبه شد. سطوح مختلف تیمارهای خشکی بر مبنای ظرفیت زراعی خاک تنظیم شد. تعیین مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار تنش خشکی، از روش وزن‌کردن گلدان‌ها (گلدان‌های هشت کیلوگرمی پلاستیکی با وزن خاک ۸ کیلوگرم) انجام شد و آب مقطر تا حدی که گلدان به وزن مورد نظر (با توجه به نوع تیمار خشکی) برسد، اضافه شد.

آب مورد نیاز برای هر تیمار بر اساس زمان رسیدن رطوبت خاک به رطوبت مورد نظر در هر تیمار تنش خشکی، با استفاده از یک دستگاه رطوبت سنج گلدانی (TDR) تعیین می‌شد (Doorenbos and Pruitt., 1977). عمق آب آبیاری با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Alizadeh, 1994).

$$In = (\theta FC - \theta BL) \times D$$ رابطهٔ (۱)

در این رابطه In نیاز خالص آبیاری، θFC مقدار رطوبت حجمی (میلی‌متر) ظرفیت زراعی برای هر تیمار، θBL مقدار رطوبت حجمی (میلی‌متر) خاک قبل از آبیاری برای هر تیمار، D عمق توسعه ریشه یا گلدان (میلی‌متر) است.

$$Ig=In/(1-Lf)$$ رابطهٔ (۲)

رابطهٔ (۳) $V=Ig*A$

در روابط ۲ و ۳، Ig نیاز ناخالص آبیاری (میلی‌متر)، Lf برخه آبشویی (Leaching fraction)، A سطح مقطع گلدان (میلی‌متر مربع) و V حجم آب آبیاری (میلی‌متر مکعب) برای هر گلدان است.

برای اعمال تیمار کم‌آبی در آغاز ظرفیت زراعی اعمال شد و پس از استقرار نهال‌ها، تیمارهای ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه اعمال شد. قارچ‌های آربوسکولار مایکوریز *R. irregularis* و *F. mosseae* از مؤسسه تحقیقات آب و خاک کل کشور تهیه شدند. آغاز کشت گلخانه‌ای، به‌منظور اعمال تیمار قارچ آربوسکولار مایکوریزی، مقدار ۵۰ گرم زادمایه (در هر گرم ۷۰ الی ۸۰ اندام فعال قارچ) در اطراف ریشه نهال‌های سنجد پخش و روی آن‌ها با خاک پوشانده شد (Porcel et al., 2005). بعد از کشت و تلقیح قارچ با ریشه نهال‌های سنجد، نهال‌ها در گلخانه با شرایط طبیعی در دمای حداکثر و حداقل به‌ترتیب ۲۸ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۴۰ به مدت چهار ماه نگهداری شدند. قبل از اعمال تیمار ارتفاع و قطر نهال‌ها اندازه‌گیری و در دوره رشد (چهار ماه)، اندازه‌گیری‌ها هر ۳۰ روز یک‌بار تکرار شد تا نهال‌های مورد نظر رشد طبیعی خود را طی کنند.

در پایان دوره رشد (چهار ماه)، ارتفاع نهال‌ها با استفاده از متر از یقه تا جوانه انتهایی نهال و رویش قطر یقه با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. سپس رویش قطری، رویش ارتفاعی، تعداد برگ و تعداد شاخه از ارزیابی مقدار رشد در ماه چهارم منهای مقدار رشد در ابتدای دوره آزمایش محاسبه شد. طول ریشه اصلی نهال‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی سطح برگ، سطح سه برگ کاملاً توسعه‌یافته از بالاترین قسمت هر نهال با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter تعیین شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه، پس از شست و شوی اندام‌های مختلف (ریشه، ساقه و برگ) از هم جدا و به‌مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. برای ارزیابی درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها ۱۰۰ قطعه یک سانتی‌متری از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به روش (Giovannetti and Mosse, 1980) به‌منظور ارزیابی درصد کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ‌های AM به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. مقدار کلونیزاسیون با برآورد طولی از ریشه که به ساختمان‌های قارچی آلوده بودند محاسبه شد و میانگین کلونیزاسیون ریشه برای این صد قطعه تعیین شد. پنج طبقه (صفر تا ۵ درصد، ۵ تا ۲۵ درصد، ۲۵ تا ۵۰ درصد، ۵۰ تا ۷۵ درصد و ۷۵ تا ۱۰۰ درصد) بر اساس مقدار کلونیزاسیون برای هم‌زیستی مایکوریزی تعریف شده است (Heidari and Attar Roshan., 2010). قبل از اعمال تیمارهای مختلف خشکی و قارچ‌های میکوریز به‌منظور جلوگیری از تأثیر میکروارگانیسم‌های موجود در خاک، به‌وسیله گرمادهی استریل و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱). در نهایت تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده نیز از آزمون چند-دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد استفاده شد.

نتایج

ابتدا خاک مورد بررسی از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مورد آنالیز قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1. Physical and chemical properties of the used soil

بافت Texture	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم/ کیلوگرم) Available potassium ($mg.kg^{-1}$)	فسفرقابل جذب (میلی‌گرم/ کیلوگرم) Available phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	ازت کل (درصد) N total (%)	درجه اسیدی و قلیاییت pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity
Loamy	20	30	50	457	28.2	1.6	0. 6	7.62	1.5

ارتفاع و قطر نهال

کاربرد مایکوریز موجب افزایش قابل‌ملاحظه رویش (ارتفاع و قطر) تیمارها در مقایسه با شاهد (Control) شد. بیشترین افزایش ارتفاع و قطر در تمامی تیمارهای تنش خشکی مربوط به گونه قارچی F. mosseae بود. صرف‌نظر از نوع مایکوریز به‌کار رفته، تنش آبی سبب کاهش رشد (ارتفاع و قطر) نهال‌ها، در تمامی تیمارهای تنش آبی شد. در تنش آبی زیاد (۲۵ FC درصد) نسبت به شاهد (آبیاری مطلوب) در گونه قارچی F. mosseae ارتفاع از ۴۸/۲۲ به ۳۹/۳۲ سانتی‌متر و قطر از ۲/۱۹ به ۱/۷۶ میلی‌متر کاهش یافت (شکل۲). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع ساقه و قطر ساقه تحت تأثیر اثر متقابل نوع قارچ و تنش آبی قرار گرفت (۱ درصد= α). به‌طوری که در گیاهان مایکوریزایی رشد کرده در تنش خشکی کم (۷۵ درصد FC)، متوسط (۵۰ درصد FC)، شدید (۲۵ درصد FC) و بدون تنش (۱۰۰ درصد FC) شرایط رویشی بهتری از گیاهان غیرمایکوریز داشتند که این اختلاف از نظر آماری نیز معنی‌دار بود.

وزن خشک ریشه و اندام هوایی

تنش آبی به‌شدت مقدار ماده خشک نهال‌های سنجد را نسبت به شاهد کاهش داد، اما تیمارهای قارچ مایکوریز سبب افزایش افزایش ماده خشک در تمامی تیمارهای تنش آبی شد. در تمامی تیمارهای خشکی گونه قارچی *R. irregularis* بیشترین وزن خشک ریشه (اندام زیرزمینی) و گونه قارچی *F. mosseae* بیشترین وزن خشک اندام هوایی را به‌خود اختصاص دادند. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن خشک ریشه و اندام هوایی تحت تأثیر اثر متقابل نوع قارچ و تنش آبی قرار گرفت (۱ درصد =α). در سطح آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد FC)، وزن خشک اندام هوایی نهال‌های سنجد در گونه قارچی F. mosseae و وزن خشک ریشه در گونه قارچی R. irregularis به ترتیب نسبت به شاهد (بدون قارچ)، ۲ و بیش از ۲ برابر افزایش پیدا کرد. به‌ترتیب بیشترین ماده خشک ریشه و اندام هوایی در نهال‌های سنجد مربوط به تیمارهای خشکی بدون تنش (۱۰۰ درصد FC)، تنش آبی کم (۷۵ درصد FC)، متوسط (۵۰ درصد FC) و شدید (۲۵ درصد FC) بود (شکل ۳).

تعداد شاخه و برگ

تعداد برگ و شاخه نهال‌ها نیز (که تأثیر مستقیم بر روی وزن ماده خشک اندام هوایی دارد) در تیمارهای مایکوریزی بیشتر از شاهد (بدون قارچ) بود. تنش آبی سبب کاهش تعداد شاخه و برگ نهال‌های سنجد و در نهایت سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی نهال‌ها شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد شاخه و برگ تحت تأثیر اثر متقابل نوع قارچ و تنش آبی است (۱ درصد =α). بیشترین تعداد شاخه و برگ مربوط به گونه قارچی *F. mosseae* در تمامی تیمارهای تنش آبی بود. سطح برگ در تمامی گیاهان میکوریزی بیش از گیاهان غیر مایکوریزایی بود. سطح برگ تحت تأثیر تنش آبی قرار نگرفت، اما در سطح احتمال یک‌درصد

تحت تأثیر قارچ مایکوریز واقع شد (جدول ۲). اثر متقابل قارچ و تنش آبی بر تعداد شاخه معنی‌دار نبود. در گونه قارچی *F. mosseae* در تنش آبی شاهد (۱۰۰درصد FC) نسبت به تنش آبی شدید (۲۵ درصد FC) تعداد برگ از ۲۷۵ به ۱۲۸ و تعداد شاخه از ۲۱ به ۱۰ کاهش یافت (شکل ۴).

طول ریشه اصلی

طول ریشه نهال‌های سنجد در گونه قارچی *F. mosseae* بیشتر از گونه قارچی *R. irregularis* و در تیمار تنش آبی متوسط (۵۰ درصد FC) شرایط مطلوب‌تری دارا بود. کمترین طول ریشه در تنش آبی با سطح آبیاری مطلوب (۱۰۰درصد) بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که طول ریشه اصلی تحت تأثیر اثر متقابل نوع قارچ و تنش آبی قرار گرفت (۱ درصد =α). طول ریشه در گونه قارچ *F. mosseae* در سطح آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد FC) برابر با ۴۰/۴۸ سانتی‌متر و در تنش آبی متوسط (۵۰ درصد FC) برابر با ۵۲/۹۸ سانتی‌متر بود (شکل ۵). به‌ترتیب بیشترین طول ریشه اصلی در تنش‌های آبی متوسط (۵۰ درصد FC)، تنش آبی شدید (۲۵ درصد FC)، تنش آبی کم (۷۵درصد FC) و شاهد (سطح آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد FC) بود (شکل ۵).

درصد کلونیزاسیون

کاربرد مایکوریز موجب افزایش قابل ملاحظه درصد کلونیزاسیون قارچ در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد شد (شکل ۱). درصد کلونیزاسیون قارچ در تمامی گیاهان میکوریزی بیش از گیاهان غیرمایکوریزایی بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد کلونیزاسیون قارچ آربوسکولار مایکوریز در ریشه نهال‌ها تحت تأثیر اثر متقابل نوع قارچ و تنش آبی قرار دارد (۱ درصد =α). از نظر درصد کلونیزاسیون قارچ و سطح برگ، بین تیمارهای گیاهان تلقیح شده به مایکوریز و غیرتلقیح شده به مایکوریز رشد کرده در تنش آبی کم (۷۵ درصد FC)، متوسط (۵۰ درصد FC)، شدید (۲۵ درصد FC) و بدون تنش (۱۰۰ درصد FC)، اختلاف معنی‌داری ملاحظه شد. اثر تنش آبی و اثر متقابل خشکی با قارچ میکوریز بر سطح برگ نهال‌های سنجد معنی‌دار نبود، درحالی‌که اثر متقابل تنش آبی و قارچ مایکوریز بر فراوانی قارچ مایکوریز (کلونیزاسیون) در ریشه نهال‌های سنجد در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طور مثال در سطح مطلوب آبیاری (بدون تنش خشکی)، درصد کلونیزاسیون قارچ به‌طور متوسط از ۳۱/۳۷ درصد در شاهد به ۴۸/۷ درصد در گونه قارچی *F. mosseae* و به ۴۴/۲۷ درصد در گونه قارچی *R. irregularis* رسید. صرف نظر از نوع مایکوریز به‌کار رفته، تنش آبی سبب کاهش درصد کلونیزاسیون قارچ شد، به‌طوری‌که در سطح مطلوب آبیاری بیشترین درصد کلونیزاسیون و در تنش آبی شدید (۲۵ درصد FC) کمترین درصد کلونیزاسیون قارچی مشاهده شد (شکل۱).

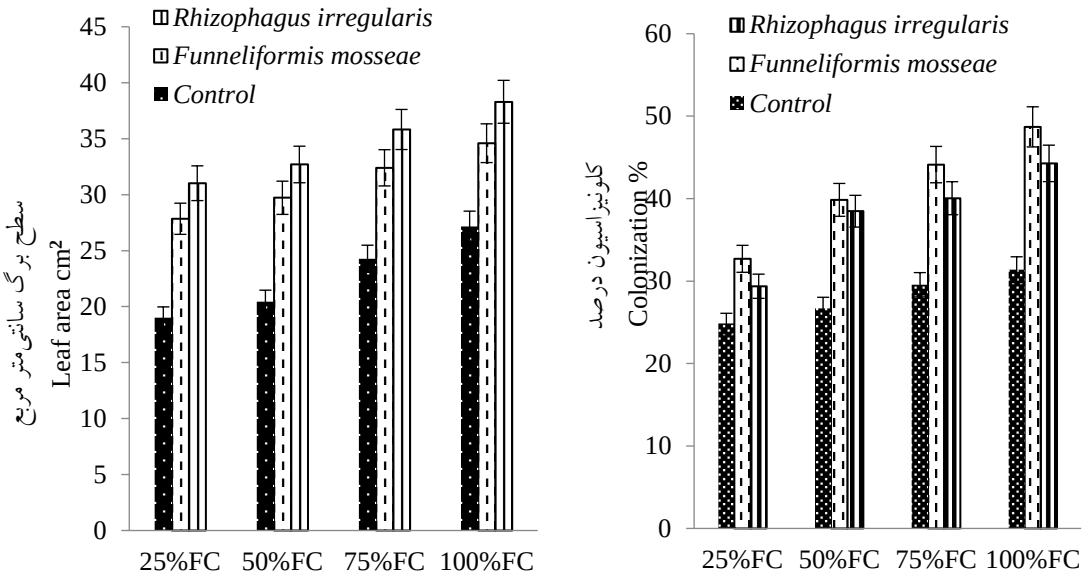
جدول ۲- تجزیه واریانس تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های رویشی سنجد

Table 2. Analysis of variance of different treatments on vegetative characteristics of *Elaeagnus angustifolia* L.

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square								
		رویش قطری Diameter growth	رویش ارتفاعی Height growth	سطح برگ Leaf area	طول ریشه Root length	درصد فراوانی (کلونیزاسیون) Colonization	وزن خشک ریشه Root dry weight	تعداد برگ Number leaf	وزن خشک هوایی Shoot dry weight	تعداد شاخه Number branch
تکرار Block	3	0.399	74.466	46.76	13.57	14.28	56.377	1131.000	21.259	16.36
قارچ Fungus	2	2.127**	787.071**	*585.084*	3175.473**	**758.123	1064.073**	35707.000*	1436.046**	14.8083**
تنش آبی × قارچ Fungus × Drought Stress	6	0.035*	12.625**	0.669	7.489**	21.081**	9.821**	422.083*	17.735**	2.417
تنش آبی Drought Stress	3	0. 454**	267.995**	130.611	294.770**	334.280**	136.905**	5362.521**	280.970**	53.188**
خطا error	33	0.033	6.205	3.897	1.131	1.190	4.698	94.250	1.772	1.363
ضریب تغییرات CV%		11.36	6.88	7.27	3.01	2.934	10.60	4.62	5.22	8.46

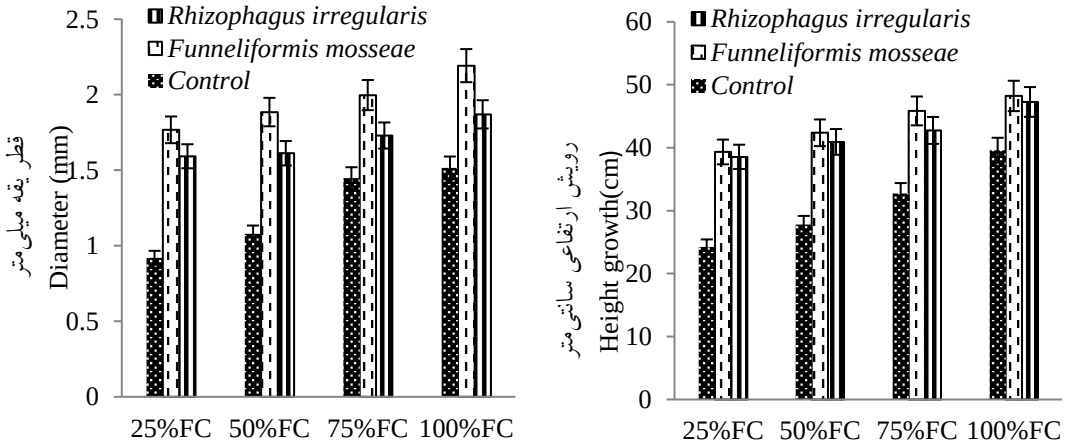
** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

** and * are significant at the 1 and 5% probability levels, respectively.



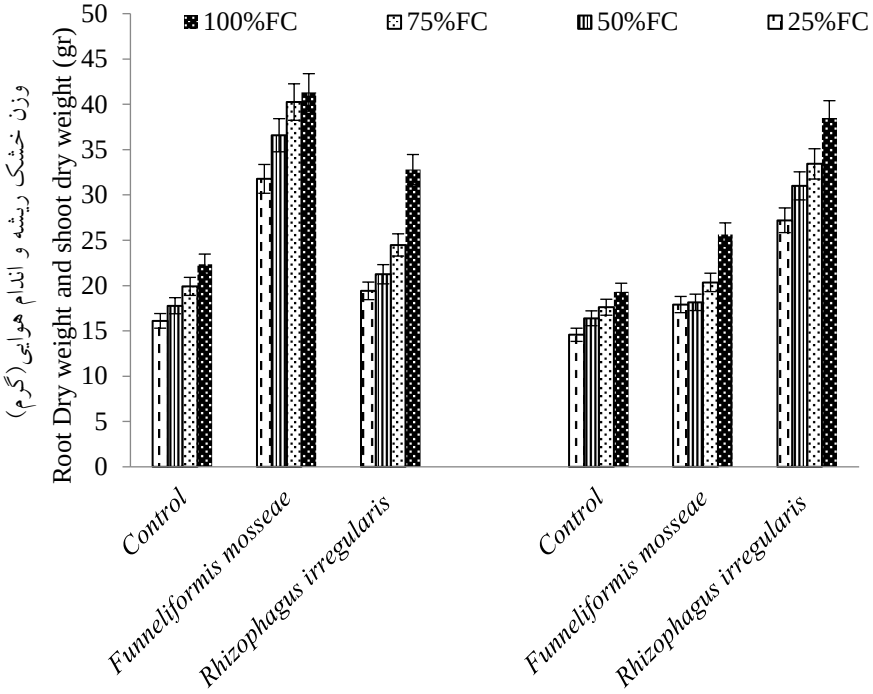
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های اثرهای متقابل مایکوریز و تنش آبی بر درصد کلونیزاسیون قارچ (راست) و سطح برگ (چپ). نهال‌های یکساله سنجد (میانگین±SE)،

Figure 1. Comparison of the mean interaction effects of mycorrhizal and drought stress on fungal colonization (right) and Leaf area (left) of One-year-old seedlings of Russian olive (average ± SE).



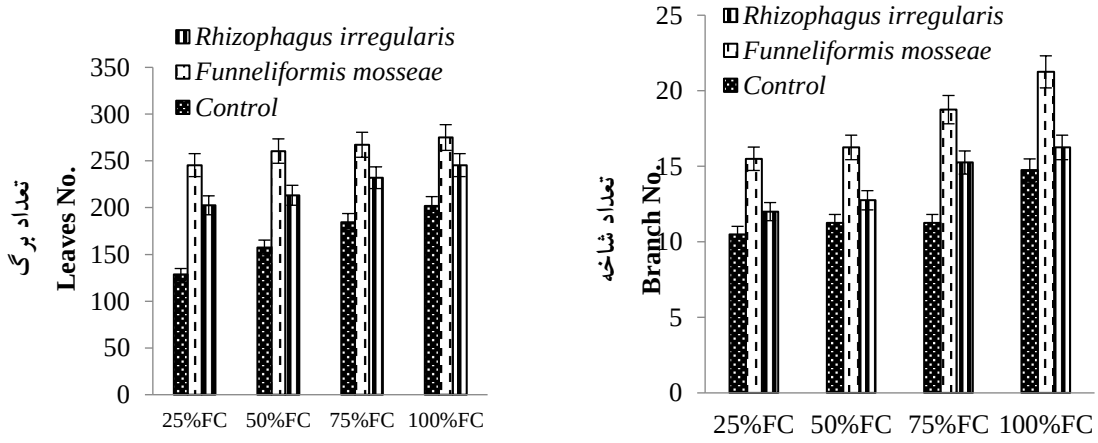
شکل ۲- مقایسه میانگین های اثرهای متقابل مایکوریز و تنش آبی بر رویش ارتفاعی (راست) و قطر یقه (چپ) نهال‌های یکساله سنجد (میانگین±SE).

Figure 2. Comparison of the mean interaction effects of mycorrhizal and drought stress on elevation (right) and collar diameter (left) of One-year-old seedlings of Russian olive (average ± SE).



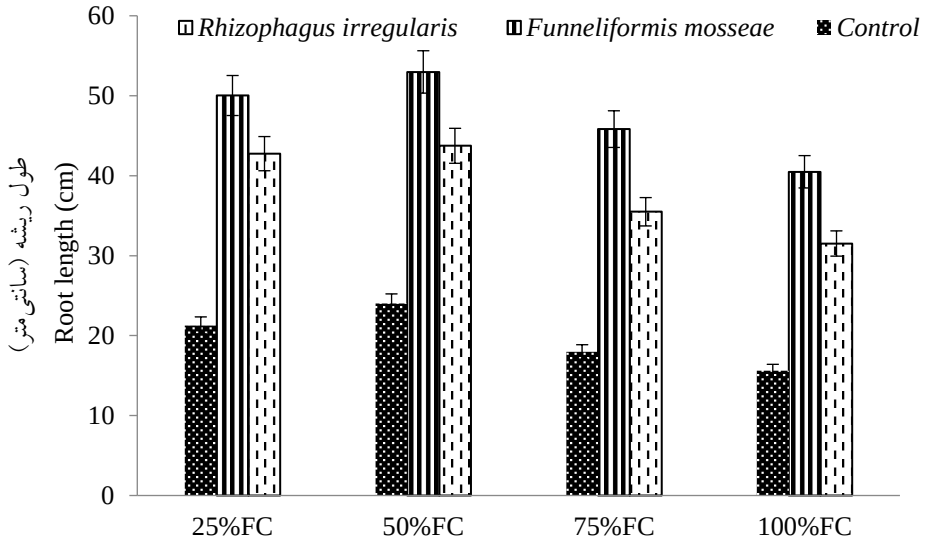
شکل ۳- مقایسه میانگین اثرهای متقابل مایکوریز و تنش آبی بر وزن خشک ریشه (راست) و اندام هوایی (چپ) نهال‌های یکساله سنجد (میانگین±SE).

Figure 3. Comparison of the mean interaction effects of mycorrhizal interactions and drought stress on root dry weight (right) and shoot dry weight (left) of One-year-old seedlings of Russian olive (average ± SE).



شکل ۴- مقایسه میانگین های اثرهای متقابل مایکوریز و تنش آبی بر تعداد شاخه (راست) و تعداد شاخه (چپ) نهال‌های یکساله سنجد (میانگین±SE).

Figure 4. Comparison of the mean interaction effects of mycorrhizal interactions and drought stress on the number of branches (right) and the number of branches (left) of One-year-old seedlings of Russian olive (average ± SE).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرهای متقابل مایکوریز و تنش آبی بر طول ریشه نهال‌های یکساله سنجد (میانگین±SE).

Figure 5. Comparison of the mean interaction effects of mycorrhizal interactions and drought stress on root length of One-year-old seedlings of Russian olive (average ± SE).

بحث

بیشترین رویش قطری، بالاترین رویش ارتفاعی، بیشترین وزن خشک ریشه و اندام هوایی و تعداد برگ نهال‌های سنجد در تیمار خشکی با آبیاری مطلوب به‌همراه تلقیح قارچ *F. mosseae* حاصل شد. تنش آبی سبب کاهش تمامی صفات رویشی نهال‌های سنجد و از طرفی تلقیح با قارچ آربوسکولار مایکوریز سبب افزایش صفات رویشی در تمامی تیمارهای خشکی شد. Lu et al. (2007) نیز که از سه رژیم ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد رطوبت نسبی را برای بررسی اثر تنش آبی بر *Zizyphus spinosus* استفاده کردند، نشان دادند که مایکوریز سبب افزایش ارتفاع، تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی نهال‌های تحت استرس شد (Klich., 2000). تنش آبی سبب کاهش ارتفاع نهال‌های سنجد شد، با کاهش رشد سلول، رشد اندام‌ها محدود می‌شود و به‌همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم آبی روی گیاهان را می‌توان از طریق کاهش ارتفاع تشخیص داد. به‌طور کلی رشد سلولی حساس‌ترین عکس‌العمل گیاه به تنش آبی است و کاهش پتانسیل‌های آب به مقدار ۰/۱- مگاپاسکال منجر به کاهش محسوس رشد سلولی می‌شود (Bethlenfalvay et al., 1988). اثرها مثبت مایکوریز در افزایش ارتفاع و قطر نهال در پژوهش‌های مختلفی (Smith et al., 1998; Liu et al., 2007) دیده شده است، که هم‌سو با نتایج به‌دست‌آمده است.

افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی در نهال‌های مایکوریز *Pinus thalepeis*، *Quercus faginea*، *Q. petraea* (Wu *et al.*, 2010)، *Juniperus oxycedrus* (Alguacil et al., 2006)، کاسیا (Giovannetti and Mosse., 1980) و مورد (Giri et al., 2005) نیز دیده شده است.(2010) .Zhang et al نیز با بررسی اثر شش گونه مایکوریز از جنس گلوموس بر نهال گونه جنگلی *Casuarina equisetifolia* در شرایط گلخانه‌ای نشان دادند که وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی در نهال‌های مایکوریز بیشتر بوده است که با نتایج این بررسی هم‌سو است (Zhang et al., 2010). بر این اساس می‌توان گفت که گیاهان تلقیح‌شده با قارچ آربوسکولار مایکوریز

وضعیت آبی بهتری را نشان دادند و امکان بیشتری برای تداوم فتوسنتز و تولید اسیدهای آلی برای تأمین ساختارهای کربنی و انرژی برای تنظیم اسمزی داشته‌اند. در نتیجه با حفظ رطوبت بیشتر از یک طرف و جذب دی‌اکسیدکربن بیشتر از طرف دیگر، نهال‌ها مقدار اسیمیلاسیون تولیدی خود را بالا نگه داشته‌اند.

در این پژوهش با افزایش تنش آبی از آبیاری مطلوب (FC ۱۰۰ درصد) به تنش آبی متوسط (FC ۵۰ درصد) طول ریشه افزایش نشان داد. گیاهان مقاوم به تنش آبی برای استفاده بهینه از آب موجود در خاک در شرایط کمبود آب طول ریشه خود را افزایش می‌دهند و این افزایش طول ریشه با کاهش قطر ریشه همراه است و در نتیجه ریشه گیاه بهتر می‌تواند به منافذ خاک نفوذ کرده و آب را جذب کند. تنش آبی سبب فعال‌شدن ژن‌های تولیدکننده پروتئین اکسپانزین می‌شود و تولید این پروتئین در ریشه زیاد شده و این پروتئین سبب سست کردن پیوندهای دیگلوکان بین رشته‌های سلولزی در دیواره سلولی می‌شود و به‌دنبال سست شدن دیواره سلولی با جذب آب و تورژسانس سلولی سلول‌ها بزرگ شده و سبب افزایش طول ریشه می‌شوند (Zhang et al., 2006). هم‌چنین وجود قارچ‌های آربوسکولار مایکوریز در تمامی تیمارهای خشکی سبب افزایش طول ریشه نسبت به شاهد (بدون قارچ) شدند. Kumar et al. (2010) نشان دادند که قارچ‌های مایکوریز سبب افزاش رشد طولی ریشه نهال‌های *Jatropha curcas* می‌شوند (Smith et al., 1998) که مطابق با نتایج این پژوهش است. افزایش طول ریشه در تنش آبی متوسط (FC ۵۰ درصد) نشان داد نهال‌های یک‌ساله سنجد با افزایش طول ریشه در شرایط خشکی می‌توانند نسبت به این تنش از خود مقاومت نشان دهند. وجود سیستم ریشه‌ای قوی و گسترده تا حدود زیادی سبب افزایش تحمل و مقاومت گیاه نسبت به شرایط خشکی می‌گردد (Wu et al., 2001).

قارچ‌های مایکوریزی با افزایش کلونیزاسیون ریشه‌ها، ویژگی‌های رشدی گیاه و جذب آب توسط گیاه را افزایش داده و در نتیجه سبب افزایش تحمل گیاه نسبت به شرایط نامساعد محیطی مانند خشکی می‌شوند. در بین گونه‌های قارچ مورد بررسی، گونه قارچی *F. mosseae* در نهال‌های سنجد تأثیر بیشتری بر خصوصیات مورفولوژیکی در تیمارهای مختلف خشکی داشتند. صرف‌نظر از نوع مایکوریز به‌کاررفته، تنش آبی سبب کاهش رشد نهال‌های سنجد شد، به‌طوری که در بیشتر تیمارها، سطح مطلوب آبیاری بیشترین رشد و تنش آبی شدید کمترین رشد را نشان دادند. نهال‌های یکساله سنجد با دارا بودن سیستم ریشه‌ای مناسب و قوی شرایط تحمل در تنش آبی متوسط (FC۵۰ درصد) را دارا هستند.

درصد کلونیزاسیون قارچ در تیمار تنش آبی با آبیاری مطلوب (FC ۱۰۰ درصد) بیشتر از دیگر تیمارهای تنش آبی در هر دو گونه قارچی *R. irregularis* و *F. mosseae* بود. Alguaci et al. (2006) نشان دادند که افزایش تنش آبی سبب کاهش هم‌زیستی قارچ‌های آربوسکولار مایکوریز (*R. irregularis*، *F. mosseae*) با گونه درختی *Juniperus oxycedrus* می‌شود (Alguacil et al., 2006). Lu et al., (2007) نیز گزارش کردند که در کنار (*Zizyphs spinosus*) با افزایش تنش آبی، درصد کلونیزاسیون کاهش می‌یابد (Klich, 2000). اثر منفی استرس خشکی بر درصد کلونیزاسیون ریشه *Citrullus lanatus* توسط قارچ *R. irregularis* (Kumar et al., 2010)، در گیاه تنباکو توسط قارچ‌های *R. irregularis* و *F. mosseae* (Talaat et al., 2015) و در گونه *Citrus tangerine* توسط قارچ *Diversispora versiformsi* (Vamerali et al., 2003) نیز مشاهده شده که با نتایج به‌دست‌آمده

در این پژوهش هم‌سو است. می‌توان از دلایل کاهش درصد کلونیزاسیون قارچ در تنش‌های خشکی متفاوت را نیاز آبی قارچ به‌منظور تولید اسپور دانست. کاهش وزن خشک گیاه تحت شرایط تنش آبی امری ثابت شده است که علت این امر نیز به‌دلیل وجود شرایط اسمزی در منطقه ریشه، کاهش مقدار جذب آب توسط گیاه، کاهش رشد و به‌طورکلی کاهش وزن گیاه است. از دلایل کاهش وزن خشک گیاه سنجد در شرایط تنش آبی زیاد، بدون کاربرد قارچ‌های آربوسکولار مایکوریز احتمالاً آن است که در شرایط تنش، همراه با کاهش ظرفیت بیوشیمیایی برای کربن‌گیری و محدودیت انتشار گازی، انتقال مواد فتوسنتزی تحت تأثیر قرار گرفته که موجب اشباع‌شدن برگ‌ها از این مواد و در نتیجه محدودشدن فرآیند فتوسنتز و کاهش وزن تر و خشک گیاه می‌شود. بنابراین کاهش فتوسنتز گیاهان تحت تنش را می‌توان ناشی از تأثیر منفی تنش بر دستگاه فتوسنتزی، مقدار کلروفیل و یا اثر توأم هر دو عامل دانست (Song, 2005).

References

Ahani, H.; Jalilvand, H.; Vaezi, J.; Sadati, S. S., The effect of drought stress on morphology of bitter elm seedlings *Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson. *Journal of Plant Ecology* **2018**, (5) 11, 191-204. (In Persian)

Ahmadiani, A.; Hosseiny, J.; Semnanian, S.; Javan, M.; Saeedi, F.; Kamalinejad, M.; Saremi, S., Antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Elaeagnus angustifolia* fruit extract. *Journal of ethnopharmacology* **2000,** *72* (1-2), 287-292.

Alguacil, M.; Caravaca, F.; Diaz-Vivancos, P.; Hernández, J.; Roldan, A., Effect of arbuscular mycorrhizae and induced drought stress on antioxidant enzyme and nitrate reductase activities in Juniperus oxycedrus L. grown in a composted sewage sludge-amended semi-arid soil. *Plant and soil* **2006,** *279* (1), 209-218.

Aliasgharzad, N.; Neyshabouri M.R.; Salimi, G., Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* on drought stress of soybean. *Biologia* **2006,** 61, 324-328. (In Persian)

Alizadeh, A., *Principles of Designing Irrigation Systems (First Edition)*. Imam Reza University Press, **1994**; p 539. (In Persian)

Al-Karaki GN, Hammad R. Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. Journal of plant nutrition. 2001;24(8):1311-23.

Al-Karaki, G.; McMichael, B.; Zak, J., Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* **2004,** *14* (4), 263-269.

Augé, R. M., Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* **2001,** *11* (1), 3-42.

Bethlenfalvay, G. J.; Thomas, R.; Dakessian, S.; Brown, M.; Ames, R.; Whitehead, E., Mycorrhizae in stressed environments: effects on plant growth, endophyte development, soil stability and soil water. *Arid Lands: today and tomorrow* **1988**, 1015-1029.

Caravaca, F.; Alguacil, M.; Hernández, J.; Roldán, A., Involvement of antioxidant enzyme and nitrate reductase activities during water stress and recovery of mycorrhizal Myrtus communis and Phillyrea angustifolia plants. *Plant Science* **2005,** *169* (1), 191-197.

Chonghua, W.; Jiren, W.; Junxiu, Y.; Lihua, L., A study on the resources of AMF in Taibai Mountain Nature Preserve. *Journal of Northwest Forestry College* **2001,** *16* (2), 35-39.

Dehghan., S.; Tabari Kochak Saraei M.; Jalali. Gh., Effect of SiO_2 NPS nanoparticles on morphophysiological characteristics of *Pinus nigra* under drought stress. *Forest Research and Development*, **2016**, 2 (3), 289-299. (In Persian)

Doorenbos, J.; Pruitt, W. H., Crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage* **1977**, 24, 108- 119.

García, A. N.; Árias, S. d. P. B.; Morte, A.; Sánchez-Blanco, M. J., Effects of nursery preconditioning through mycorrhizal inoculation and drought in Arbutus unedo L. plants. *Mycorrhiza* **2011,** *21* (1), 53-64.

Ghanbary, E.; Fathizadeh, O.; Tabari, M., The effect of mycorrhizal fungi and growth-

promoting rhizobacteria on the activity of antioxidant enzymes of Calotrope seedlings under drought stress**.** *Journal of Forest Research and Development* **2020**, 6 (3), 477-489. (In Persian)

Giovannetti, M.; Mosse, B., An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New phytologist* **1980**, 489-500.

Giri, B.; Kapoor, R.; Mukerji, K., Effect of the arbuscular mycorrhizae Glomus fasciculatum and G. macrocarpum on the growth and nutrient content of Cassia siamea in a semi-arid Indian wasteland soil. *New forests* **2005,** *29* (1), 63-73.

Heidari, M.; Attar Roshan, S., Determine the appropriate irrigation period for *Acer mopessulanum* seedlings. In Darrehshahr Nursery, Ilam Province, *Renewable Natural Resources Research* **2010**, 1 (2), 59-71. (In Persian)

Heydari, M.; Attar Roshan, S., Determining the appropriate irrigation period for Acer monspessulanum seedlings in Darrehshahr nursery - Ilam province. *Journal of Renewable Natural Resources Research* **2011**, 2 (1), 51-71. (In Persian).

Jacob, H.; Clarke, G., Methods of soil analysis, Part 4, Physical method. *Soil Science Society of America, Inc, Madison, Wisconsin, USA* **2002**.

Klich, M. G., Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. *Environmental and experimental botany* **2000,** *44* (3), 171-183.

Kouchaki, A., Aspects of drought stress in Sorghum. *Journal of agricultural science and industries* **1988**, 2 (2), 77-81.

Kumar, A.; Sharma, S.; Mishra, S., Influence of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and salinity on seedling growth, solute accumulation, and mycorrhizal dependency of Jatropha curcas L. *Journal of Plant Growth Regulation* **2010,** *29* (3), 297-306.

Kumar, D., The value of certain plant parameters as an index for salt tolerance in Indian mustard (Brassica juncea L.). *Plant and Soil* **1984,** *79* (2), 261-272.

Kungu, J. B.; Lasco, R. D.; Delacruz, L. U.; Delacruz R. E; Husain, T., Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of Senna spectabilis. *Pakistan Journal of Botany* **2008**, 40(5), 2217-2224.

Liu, J.; Wu, L.; Wei, S.; Xiao, X.; Su, C.; Jiang, P.; Song, Z.; Wang, T.; Yu, Z., Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, nutrient uptake and glycyrrhizin production of licorice (Glycyrrhiza uralensis Fisch). *Plant Growth Regulation* **2007,** *52* (1), 29-39.

Lu, J.; Liu, M.; Mao, Y.; Shen, L., Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizae on the drought resistance of wild jujube (Zizyphs spinosus Hu) seedlings. *Frontiers of Agriculture in China* **2007,** *1* (4), 468-471.

Mullet, J. E.; Whitsitt, M. S., Plant cellular responses to water deficit. In *Drought tolerance in higher plants: Genetical, physiological and molecular biological analysis*, Springer: 1996; pp 41-46.

Sehgal, A.; Sita, K.; Siddique, K. H.; Kumar, R.; Bhogireddy, S.; Varshney, R. K.; HanumanthaRao, B.; Nair, R. M.; Prasad, P.; Nayyar, H., Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in plant science* **2018,** *9*, 1705.

Smith, M.; Charvat, I.; Jacobson, R., Arbuscular mycorrhizae promote establishment of prairie species in a tallgrass prairie restoration. *Canadian Journal of Botany* **1998,** *76* (11), 1947-1954.

Song, H., Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Electronic Journal of Biology* **2005,** *1* (3), 44-48.

Talaat, N. B.; Shawky, B. T.; Ibrahim, A. S., Alleviation of drought-induced oxidative stress in maize (Zea mays L.) plants by dual application of 24-epibrassinolide and spermine. *Environmental and Experimental Botany* **2015,** *113*, 47-58.

Vamerali, T.; Saccomani, M.; Bona, S.; Mosca, G.; Guarise, M.; Ganis, A., A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. In *Roots: The Dynamic Interface Between Plants and the Earth*, Springer: 2003; pp 157-167.

Verma, J. P.; Yadav, J.; Tiwari, K. N.; Kumar, A., Effect of indigenous Mesorhizobium spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (Cicer arietinum L.) under sustainable agriculture. *Ecological Engineering* **2013,** *51*, 282-286.

Wu, Q.; Zou, Y.; He, X., Exogenous putrescine, not spermine or spermidine, enhances root mycorrhizal development and plant growth of trifoliate orange (Poncirus trifoliata)

seedlings. *International Journal of Agriculture and Biology* **2010,** *12* (4), 576-580.

Wu, Q.-S.; Xia, R.-X., Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of plant physiology* **2006,** *163* (4), 417-425.

Zamani Kebraabadi, B.; Hojati, S.M.; Rejali, F.; Esmaeili sharif, M.; Rahmani. H.R., Effects and identification of inoculated Arbuscular Mycorrhizal fungi of resilience to lead and zinc on some morphological treats of *Cerasus mahaleb* L. Mill. *Journal of Forest Research and Development* **2020**, 6 (2), 295-311. (In Persian)

Zawoznik, M. S.; Ameneiros, M.; Benavides, M. P.; Vázquez, S.; Groppa, M. D., Response to saline stress and aquaporin expression in Azospirillum-inoculated barley seedlings. *Applied microbiology and biotechnology* **2011,** *90* (4), 1389-1397.

Zhang, X.-h.; Lin, A.-j.; Chen, B.-d.; Wang, Y.-s.; Smith, S. E.; Smith, F. A., Effects of Glomus mosseae on the toxicity of heavy metals to Vicia faba. *Journal of Environmental Sciences* **2006,** *18* (4), 721-726.

Zhang, Y.; Zhong, C.; Chen, Y.; Chen, Z.; Jiang, Q.; Wu, C.; Pinyopusarerk, K., Improving drought tolerance of Casuarina equisetifolia seedlings by arbuscular mycorrhizas under glasshouse conditions. *New Forests* **2010,** *40* (3), 261-271.

Investigation of the effect of mycorrhizal fungi on seedlings *Elaeagnus angustifolia* L. under drought stress

B. Zamani Kebrabadi[*1], M. Hodjati[2], F. Rejali[3], M. Esmaeili Sharif[4] and R. Saboohi[5]

1- Ph.D of Silviculture and Forest Ecology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (Zamanikebrabadi67@gmail.com)
2- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University, Sari, I. R. Iran. (S-m-hodjati@yahoo.com)
3- Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural, Research, Education and Extension Organization, Karaj, I. R. Iran. (Frejali@yahoo.com)
4- Assistant professor, Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources, Agricultural, Research, Education and Extension Organization, Isfahan, I. R. Iran. (masoudesmaeilisharif@gmail.com)
5- PhD of Range Management, Isfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, I. R. Iran. (razieh_saboohi@yahoo.com)

Received: 05.10.2020 Accepted: 06.01.2021

Abstract

Russian olive seedlings were planted in environmental plan in the form of Complete Randomized Block Design (RCBD) with four replications and treat mental plan in the form of factorial with 2 factors in the greenhouse. The test factors were *Arbuscular mycorrhizal* inoculum (*Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae* and control without inoculation) and four drought stress intensity (25, 50, 75 and 100% of field capacity (FC)). Seedlings growth rate include height, collar diameter, number of leaves, number of branches, weight of aerial and underground organs were calculated by comparison of the growth rate at the beginning and end of the experimental period. With increasing drought stress intensity, vegetative traits such as height, collar diameter, number of branches and leaves, root dry weight and shoot dry weight of Russian olive seedlings were decreased significantly. With increasing drought stress to 50% of FC, the main root length of seedlings showed an increasing trend, indicating an increase in root length under dehydration. The average root length of Russian olive seedlings in *F. mosseae* and *R. irregularis* were 46 and 38 cm, respectively. Application of mycorrhiza significantly increased vegetative growth and morphological traits of seedlings under drought stress. *F. mosseae* in all morphological traits except root dry weight was more favorable than *R. irregularis* for one-year-old Russian olive seedlings.

Keywords: Seedling height, Colonization, Collar diameter, Shoot weight, Root weight.

[*] Corresponding author Tel: +989133236009