FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume 11, Number 3, Autumn (2026)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

Alleviation of the most destructive environmental stress by arbuscular mycorrhizal fungi in Fraxinus angustifolia seedling

Bahman Zamani Kebrabadi[1]*, Yaghoob Iranmanesh [2]

*1. PhD of Forestry, Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran
2. Associate Prof., Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
*Email Address: b.zamani@areeo.ac.ir

Article Info

Article Type:
Research Paper

Article History:

Received Date:
2026/01/31
Revised Date:
2026/02/12
Accepted Date:
2026/11/03
Published Date:
2026/11/03

Keywords:
Drought stress,
Arbuscular mycorrhizal fungi,
Collar diameter,
Fraxinus angustifolia.

ABSTRACT

province in the plan to plant one billion trees, it was chosen as the tree species studied in this research. This research is factorial in the form of randomized complete block design with two factors of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi(AMF) at two levels of Rhizophagus irregularis, Funneliformis mosseae and control (without inoculation) and drought stress at four levels of level 100 (control), 75, 50 and 25% of crop capacity (FC) were done in four replications. The morphological characteristics of Fraxinus angustifolia seedlings (height, collar diameter, etc.) were measured at the beginning and end of the experiment period. The results showed that with increasing drought stress, vegetative traits such as height, collar diameter, dry weight of roots and aerial parts of Fraxinus angustifolia seedlings decreased significantly. The application of mycorrhiza significantly increased the vegetative growth and morphological traits of seedlings under drought stress conditions, the fungal species F. mosseae in all morphological traits except dry weight and root length was more favorable than the fungal species R. irregularis created Fraxinus angustifolia for one-year-old seedlings, Also, the fungal species F. mosseae showed a higher abundance and a better coexistence with Fraxinus angustifolia seedlings on average 40%. The main root length of the seedlings showed an increasing trend with the increase of drought stress up to FC equal to 50%, which indicated an increase in the root length under water deficit conditions. In general, Fraxinus angustifolia seedlings exhibit a drought avoidance mechanism by increasing root length and symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi(AMF) under stress conditions.

Cite this article: Bahman Zamani Kebrabadi1, Yaghoob iranmanesh (2026). Alleviation of the most destructive environmental stress by arbuscular mycorrhizal fungi in Fraxinus angustifolia seedlings**,** Journal of Environmental Sciences Studies, 11 (3), Pages 11431-11442.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Approximately 90% of the world's arid regions are concentrated in 27 countries, including Iran (Giri et al., 2005). From a biological perspective, stress can be described as a condition induced by an increased demand on the plant, leading to instability in its activities, with the plant returning to its initial state once the condition is removed (Laxa et al., 2019). Ecological and physiological studies have proven that mycorrhizal symbiosis often enhances water uptake from the soil. Mycorrhizal fungi increase the root absorption area, aiding the host plant in absorbing more water from the soil (Auge et al., 2001). Fungal hyphal branches can play a significant role in water absorption and transport. One of the key reasons for mycorrhizal support to the host plant under drought stress conditions is the increased uptake of soil nutrients and improved plant nutrition (He et al., 2017). Given Iran's climatic position and location in arid and semi-arid zones, the use of adapted plants and biological processes that enhance plant drought resistance is of particular importance**.**

Materials and methods

The effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi, Rhizophagus irregularis and Funneliformis mosseae, on the growth characteristics of one-year-old narrow-leaved ash (Fraxinus angustifolia) seedlings under water stress was evaluated. Seedlings with an average height of 50-70 cm, a minimum diameter of 0.5-1 cm, and at least 30 leaves were selected from the nursery affiliated with the Department of Natural Resources of Isfahan Province.The treatments included:1. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi at three levels: R. irregularis, F. mosseae, and a control (no inoculation).2. Drought stress at four levels: 100% field capacity (FC) as the control (optimal irrigation), mild stress (75% FC), moderate drought stress (50% FC), and severe drought stress (25% FC). After seedling establishment, the irrigation treatments of 100%, 75%, 50%, and 25% field capacity were applied. At the end of the experiment, all morphological traits of the seedlings under the influence of the treatments were measured.

Results and discussion

Among the studied fungal species, F. mosseae had a greater impact on the morphological characteristics of narrow-leaved ash seedlings across different drought treatments. Regardless of the mycorrhizal type used, drought stress reduced the growth of the seedlings, with optimal irrigation showing the highest growth and severe drought stress showing the lowest growth in most treatments. The one-year-old narrow-leaved ash seedlings exhibited tolerance to moderate (50% FC) and severe (25% FC) drought stress through increased root length and a well-developed, robust root system, indicating a drought avoidance mechanism. In general, inoculating narrow-leaved ash seedlings with mycorrhizal fungi can improve this species' resistance under drought stress conditions.

Conclusion

In general, it can be concluded that inoculating one-year-old narrow-leaved ash seedlings with mycorrhizal fungi under drought conditions improves seedling nutrition, enhances nutrient uptake, and ultimately mitigates the negative effects of drought on seedling growth. Mycorrhizal fungi, by increasing root fungal colonization, enhance plant growth characteristics and water absorption, thereby increasing the plant's tolerance to adverse environmental conditions, including drought.

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۱، شماره ۳
Journal Homepage:www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

تعدیل مخرب ترین تنش زیست محیطی بوسیله قارچ میکوریز آربوسکولار در نهال زبان گنجشک (Fraxinus angustifolia)

بهمن زمانی کبرآبادی[1*]، یعقوب ایرانمنش[2]

*۱- دکتری علوم جنگل، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان. ایران

۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان. ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: b.zamani@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۱۱/۱۱
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۴/۱۱/۲۳
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۵/۰۸/۱۲
تاریخ انتشار:
۱۴۰۵/۰۸/۱۲

کلید واژه ها:
تنش خشکی،
قارچ میکوریز آربسکولار،
قطر یقه،
زبان گنجشک.

چکیده

تنش خشکی مخرب ترین تنش زیست محیطی است که بر رشد توسعه و عملکرد گیاهان بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک به شدت تاثیر مهار کننده دارد. گونه زبان گنجشک یکی از گونه های مهم جنگل‌های زاگرس محسوب می‌شود که در فضای سبز شهری و همچنین طرح کاشت یک میلیارد درخت بیشترین سهم کاشت در مناطق مختلف استان اصفهان را دارد، به عنوان گونه درختی مورد مطالعه در این پژوهش انتخاب شد. این پژوهش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور تلقیح با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (سه سطح Rhizophagus irregularis، Funneliformis mosseae و شاهد (بدون تلقیح)) و تنش خشکی (چهار سطح ۱۰۰ (شاهد)، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی (FC)) در چهار تکرار انجام شد. صفات مورفولوژیکی نهال های زبان گنجشک (ارتفاع، قطر یقه و ..) در ابتدا و انتهای دوره آزمایش اندازه گیری شد. نتایج نشان داد با افزایش استرس خشکی صفات رویشی مانند ارتفاع، قطر یقه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی نهال‌های زبان گنجشک به طور معنی‌دار کاهش یافت. کاربرد میکوریز به طور قابل ملاحظه‌ای 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 و طول ریشه شرایط مطلوب‌تری نسبت به گونه قارچی R. irregularis برای نهال‌های یک‌ساله زبان گنجشک ایجاد کرد، همچنین گونه قارچی F. mosseae، فراوانی بیشتر و همزیستی بهتری با نهال‌ها زبان گنجشک بطور متوسط ۴۰٪ نشان داد. طول ریشه اصلی نهال‌ها با افزایش تنش خشکی در FC معادل۲۵٪ و ۵۰٪ روند افزایشی نشان داد، که نشان دهنده افزایش طول ریشه در شرایط کم آبی بود. به طور کلی می توان با تلقیح قارچ های میکوریزی با نهال های زبان گنجشک مقاومت این گونه را در شرایط تنش خشکی بهبود داد.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/jess.2026.573078.2442

۱- مقدمه

بخش وسیعی از سرزمین‌های جهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با محدودیت آب مواجه می‌باشند. طبق آمار موجود مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان تقریبا ۴۴/۷ میلیون کیلومتر مربع را شامل می‌شوند (Giri et al., 2005). تقریبا ۹۰ درصد مناطق خشک جهان در ۲۷ کشور از جمله ایران متمرکز شده‌اند (Giri et al., 2005). از نظر زیست شناسی تنش را شرایطی می توان توصیف کرد که در اثر ورود تقاضای بیشتر در گیاه، سبب ناپایداری فعالیت های آن می شود و بعد از برطرف شدن این شرایط گیاه دوباره به حالت اولیه بر می گردد (Laxa et al., 2019). در بیشتر موارد تنش در ارتباط با رشد یعنی تجمع زیست توده و یا فرآیندهای اولیه تغییر و تبدیل عناصر نظیر جذب دی اکسید کربن و مواد معدنی مرتبط با رشد کلی گیاه اندازه گیری می شود (Frolov et al., 2017; He et al., 2017). خشکی از جمله رایج ترین تنش ها و مهمترین عامل محدود کننده در تولید گیاهان می باشد و در گیاه به حالتی گفته می شود که سلولها و بافت ها در معرض شرایط غیر مساعد رطوبتی قرار گرفته، گیاه پژمرده شده و آماس طبیعی خود را از دست داده باشد. کاهش سرعت تقسیم سلولی تغییر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی، کاهش محتوای کلروفیل و فتوسنتز، کاهش جذب عناصر غذایی به وسیله ریشه و همچنین کاهش انتقال آن از ریشه به اندام هوایی در نتیجه تنش رطوبتی گزارش شده است (Abduelafez et al., 2011; Tavili et al., 2011). تنش خشکی در مرحله های مختلف رشد منجر به کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی، کاهش ارتفاع گیاه و قطر ساقه می شود (Osmolovskaya et al., 2018). در حال حاضر نیز ایران با متوسط نزولات سالانه ۲۴۰ میلی‌متر در زمره مناطق خشک جهان قرار دارد. توانایی گیاه برای سازش به تنش‌های محیطی بستگی به نوع، شدت و مدت تنش و همچنین گونه گیاهی و مرحله وقوع تنش دارد (Shaban et al., 2009). جنس Fraxinus L. با نام فارسی زبان‌گنجشک از تیره زیتون (Oleaceae) شامل درختان و درختچه‌هایی است که در مناطق معتدل نیمه استوایی یا نیمه گرمسیری از نیمکره شمالی گسترش دارند. زیرگونه‌های F. rotundifolia در سراسر حوزه رویشی زاگرس در جنگلهای استان‌های آذربایجان غربی، کردستان، کرمانشاه، ایلام، لرستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد، فارس، اصفهان و خوزستان می‌روید. گونه زبان گنجشک یکی از گونه های باارزش و همراه در جنگل های زاگرس محسوب می شود(Azadi,2004). از زبان گنجشک می‌توان به‌عنوان یک گونه مناسب در جنگل‌کاری اطراف شهرک‌ها و صنایع استفاده کرد. یکی از استراتژی‌های مقابله با خشکی که مدتی است مورد توجه قرار گرفته است، تلقیح گیاهان با انواع مختلف از قارچ‌های مفید خاکزی می‌باشد (Asgharpour et al., 2017 , Bethlenfalvay et al., 1988) از انواع قارچ‌های مفید خاکزی، قارچ‌های میکوریزایی هستند که این قارچ‌ها می‌توانند از طریق افزایش نسبت سطح جذب، نفوذ به منافذ بسیار ریزلایه هایی مختلف خاک و جذب عناصر اصلی به ویژه فسفر رشد را بهبود داده و سبب فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک شوند و با توجه به اثر تعدیل کنندگی آن‌ها نقش مهمی در شرایط تنش ایفا کنند(Anna et al., 2013). مطالعات بوم شناسی و فیزیولوژیکی اثبات کرده است که اغلب همزیستی میکوریزای باعث جذب بهتر آب از خاک می شود. قارچ های میکوریزا باعث افزایش سطح جذب ریشه می شوند که به گیاه میزبان کمک می کنند تا میزان آب بیشتری از خاک جذب نماید (Auge et al., 2001). قارچ های میکوریزا در گیاهانی که دارای ریشه های بدون انشعاب هستند کارایی بیشتری دارند. همزیستی میکوریزا اغلب منجر به تغییر سرعت حرکت آب در خارج و داخل گیاهان میزبان شده و روی آبگیری بافت و فیزیولوژی برگ تأثیر می گذارد (Auge et a.l., 2001). هیف‌های قارچ سطح جذب کلی گیاهان تلقیح شده را افزایش داده و باعث افزایش دسترسی گیاهان میکوریزی به عناصر غذایی در منطقه دورتر از ریشه گیاه می‌شوند به طور کلی هیف های قارچ های میکوریزی به دلیل مویی بودن در مناطقی از خاک نفوذ کرده که ریشه گیاه قادر به نفوذ نیست، همچنین به دلیل تعدد هیف ها و عمل در همه نقاط خاک عملاً حجم خاک مورد جستجو برای عناصر غذایی را افزایش داده و عناصر بیشتری را جذب می‌کنند (Alguacil et al., 2006). به علاوه 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 (Porcel et al., 2005). انشعابات میسلیومی قارچ‌ها قادرند نقش مهمی را در جذب و انتقال آب ایفا کنند. یکی از دلایل مهم حمایت میکوریز در شرایط تنش خشکی از گیاه میزبان، افزایش جذب عناصر غذایی در خاک و تغذیه بهتر گیاه است (He et al., 2017). بررسی‌های اکوفیزیولوژیک اثبات کرده‌اند که همزیستی با قارچ میکوریز آربسکولار اغلب سرعت حرکت آب به درون، در طول و خارج از گیاه میزبان را تغییر می‌دهد و همچنین اثرهایی بر آبگیری بافت و فیزیولوژی گیاه دارد. مطالعات دیگر نشان داده‌اند که همزیستی میکوریز آربسکولار می‌تواند با تنظیم پتانسیل اسمزی در گیاه، اثر تنش خشکی را کاهش دهد (Auge et al., 2001). احتمالاً انتقال آب از طریق هیف‌ها عامل افزایش جذب آب به وسیله گیاهان

میکوریزی می‌باشد. سطح اضافی ایجاد شده به وسیله هیف‌های برون ریشه‌ای عامل افزایش جذب آب به وسیله گیاهان میکوریزی است. نتایج تحقیق روی گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی در شرایط تنش رطوبتی نشان داده است که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزایی بیش‌تر از گیاهان غیرمیکوریزایی است، این موضوع در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزایی می‌باشد. هدایت آبی نیز در واحد طول ریشه ۲ تا ۳ برابر افزایش نشان می‌دهد. برگ‌های گیاهان میکوریزایی دارای مقاومت کمتری به انتشار بخار آب هستند و هم چنین سطح آن‌ها در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی افزایش نشان می‌دهد (Rad et al., 2013). در تحقیقی در نهالستان ایلام بین تیمارهای مختلف آبیاری 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 چهار روز یک بار گزارش شد (Giovannetti and Mosse, 1980). Rad et al.(2013) در ایستگاه تحقیقاتی شهید صدوقی یزد به بررسی نیاز آبی اکالیپتوس و تأثیر مقدار آب مصرفی در تولید ماده خشک در این گیاه پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد با افزایش مقدار رطوبت خاک، حجم ماده خشک تولیدی در این گیاه تا ۱/۷ برابر زیادتر می شود. نتایج تحقیق تاثیر فصل بر پتانسیل میکوریزی آربسکولار(تنوع قارچ، درصد فراوانی قارچی ریشه و فراوانی اسپورها) گونه زبان‌گنجشک در منطقه نیمه خشک ایران(جنگل‌های زاگرس) در دو فصل خشک(پاییز) و مرطوب(بهار) نشان داد میانگین درصد فراوانی قارچی زبان گنجشک ۳۰٪ در تمامی فصول نشان دادند، بطوریکه در فصل بهار ۳۵.۲٪ (بیشترین) و در پاییز ۲۳.۵۸٪ (کمترین) درصد فراوانی قارچی را نشان می داد(Esmaeeli Sharif et al., 2021). Delfan et al.(2019) به بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر شاخص های رشدی نهال های زبان گنجشک (Fraxinus rotundifolia Mill) در فضای سبز شهر تهران پرداختند. نتایج نشان داد آبیاری با سطح ۵۰ درصد نیاز آبی، سبب کاهش معنادار ارتفاع، طول شاخه، قطر تاج، فراوانی برگ، شادابی و سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد. با توجه به موقعیت ایران از نظر اقلیمی و قرارگیری در منطقه خشک و نیمه‌خشک، استفاده گیاهان سازگار به شرایط خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گونه زبان گنجشک توانایی جنگل‌کاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک را نیز داراست، از آنجا که زبان گنجشک از گونه های همراه و باارزش جنگل های زاگرس محسوب می شود و همچنین سهم کاشت گونه های زبان گنجشک در جنگل کاری ها و فضاهای سبز نظیر پارک ها، میدان ها و معابر خیابانی و همچنین طرح کاشت یک میلیارد درخت در استان اصفهان به عنوان منطقه خشک بسیار است، همچنین تا به حال تاثیر قارچ های میکوریزی در تلقیح با گونه زبان گنجشک تحت تنش خشکی در کشور انجام نگرفته که این مطالعه با استفاده از قارچ‌های هم‌زیست ریشه و به‌منظور ارزیابی میزان تحمل گونه درختی زبان گنجشک به تنش رطوبتی و تاثیر قارچ‌ها در افزایش مقاومت در برابر تنش خشکی انجام شد.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

پژوهش حاضر در اردیبهشت سال ۱۴۰۳ در محل مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان-ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه در ۲۰ کیلومتری غرب اصفهان با طول جغرافیایی ۲۶َ ،۵۱° و عرض ۳۶َ ،۳۲° اجرا و تأثیر دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار Rhizophagus irregularis و Funneliformis mosseae، بر خصوصیات رشدی نهال‌های یکساله زبان گنجشک تحت تنش آبی مورد ارزیابی قرار گرفت.

• روش نمونه بردای

نهال های یک ساله و با مورفولوژی یکسان حاصل از بذر پایه ی مادری یکسان، هدف گذاری شدند. نهال های زبان گنجشک با متوسط ارتفاع ۷۰-۵۰ سانتی متر، حداقل قطر ۱-۰/۵ سانتی متر و تعداد برگ حداقل تا ۳۰ عدد از نهالستان وابسته به اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان انتخاب گردید (سعی شد تمامی نهال ها دارای میانگین شرایط ارتفاع، قطر، شادابی، تعداد برگ و ... یکسان باشند). سپس نهال ها به ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان منتقل و به مدت بیست روز جهت سازگاری با شرایط جدید در آنجا نگهداری شدند. کشت گلدان ها با وزن مشخص و یکسان و همچنین مقدار خاک یکسان به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و در چهار تکرار اجرا گردید.

- **فاکتورهای آزمایش**

فاکتورهای آزمایش شامل ۱- قارچ در سه سطح تلقیح با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار *R. irregularis*، *F. mosseae* و شاهد (بدون تلقیح)، ۲- تنش خشکی در چهار سطح شامل ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به عنوان شاهد (سطح مطلوب آبیاری)، تنش ملایم (۷۵٪ FC)، تنش خشکی متوسط (۵۰٪ FC) و تنش خشکی شدید (۲۵٪ FC) رطوبت ظرفیت زراعی اعمال گردید. ظرفیت زراعی در آزمایشگاه و با رسم منحنی رطوبتی خاک محاسبه و بقیه تیمارهای خشکی بر مبنای آن محاسبه گردید. تعیین مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار تنش خشکی، از طریق وزن نمودن گلدان‌ها انجام گرفت و آب مقطر تا حدی که گلدان به وزن مورد نظر (با توجه به نوع تیمار خشکی) برسد، اضافه شد. برای اعمال تیمار کم آبی در آغاز ظرفیت زراعی اعمال گردید و پس از استقرار نهال‌ها، تیمارهای ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه اعمال شد. ملاک آبیاری مجدد، مشاهده خشکی سطح بستر کشت بود که در هر دوره آبیاری میزان محاسبه شده به کار برده می‌شد. آب مورد نیاز گیاه با توزین گلدان‌های شاهد بدون گیاه محاسبه گردید (Greenvay and Munns, 1980).

- **تلقیح قارچ و نگهداری نهال**

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار *R. irregularis* و *F. mosseae* از مؤسسه تحقیقات آب و خاک کل کشور تهیه شدند. در آغاز کشت گلخانه‌ای، به منظور اعمال تیمار قارچ میکوریزی آربوسکولار، مقدار ۵۰ تا ۶۰ گرم زادمایه در اطراف ریشه نهال‌های زبان گنجشک پخش و روی آن‌ها با خاک پوشانده شد (Kouchaki, 1988). بعد از کشت و تلقیح قارچ با ریشه نهال‌های زبان گنجشک، نهال‌ها در محیط باز با شرایط طبیعی در دمای حداکثر و حداقل و رطوبت حداکثر و حداقل محیط به مدت چهار ماه (از پانزده فروردین ماه تا پانزده تیرماه) 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.

- **اندازه گیری صفات مورفولوژیکی نهال**

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 میزان رشد در ماه چهارم منهای میزان رشد در ابتدای دوره آزمایش محاسبه شد. طول ریشه اصلی نهال‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری شد. جهت ارزیابی سطح برگ، سطح ۳ برگ کاملاً توسعه یافته از بالاترین قسمت هر نهال با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter تعیین گردید. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه، پس از شستشوی اندام‌های مختلف (ریشه، ساقه و برگ) از هم جدا و به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. جهت ارزیابی درصد فراوانی قارچی ریشه‌ها بر اساس روش برمن و لیندرمن انجام گرفت. بر اساس این روش ۱۰۰ قطعه یک سانتی‌متری از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به منظور ارزیابی درصد فراوانی قارچی ریشه توسط قارچ‌های AM به صورت تصادفی انتخاب شدند. میزان فراوانی قارچی با برآورد طولی از ریشه که به ساختمان‌های قارچی آلوده بودند محاسبه شد و میانگین فراوانی قارچی ریشه برای این صد قطعه تعیین شد. پنج طبقه بر اساس میزان فراوانی قارچی برای همزیستی میکوریزی تعریف شده است (Frolov et al., 2017). در نهایت تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS ورژن ۱۶ انجام شد. برای مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan Compare Mea Test) استفاده گردید.

۳- نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده در این پژوهش از جمله ارتفاع ساقه، قطر ساقه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، تعداد شاخه و برگ، طول ریشه اصلی و درصد فراوانی قارچی قارچ میکوریز آربوسکولار تحت تأثیر اثر متقابل نوع قارچ و تنش خشکی قرار گرفت .(α=1%) سطح برگ تحت تاثیر تنش خشکی قرار نگرفت امّا در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر قارچ میکوریز واقع شد (جدول ۲). اثرات متقابل میکوریز و تنش خشکی به غیر از سطح برگ در بقیه موارد معنی‌دار بود .کاربرد میکوریز موجب افزایش قابل ملاحظه درصد فراوانی قارچی و سطح برگ در تمامی سطوح تنش خشکی در مقایسه با شاهد (Control) شد (شکل ۱). از نظر درصد فراوانی قارچی و سطح برگ، بین تیمارهای گیاهان تلقیح یافته به میکوریز و غیر تلقیح یافته رشد کرده در تنش خشکی کم(75% FC) ، متوسط(50% FC) ، شدید (25% FC) و بدون تنش

(100% FC)، اختلاف معنی‌داری ملاحظه شد. درصد فراوانی قارچی و سطح برگ در اغلب موارد بیش از گیاهان غیر تلقیح یافته به میکوریز بود. اثر تنش خشکی و اثر متقابل خشکی با قارچ میکوریز بر سطح برگ نهال‌های زبان گنجشک معنی‌دار نبود، در حالیکه اثر متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریز بر فراوانی قارچ میکوریز در ریشه نهال‌های زبان گنجشک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲) . به طور مثال در سطح مطلوب آبیاری (بدون تنش خشکی)، درصد فراوانی قارچی قارچ به طور متوسط از ۲۵/۷ درصد در شاهد به ۴۱/۱ درصد در گونه قارچی F. mosseae و به ۳۸/۸ درصد در گونه قارچی R. irregularisرسید. صرف نظر از نوع میکوریز به کار رفته، تنش خشکی باعث کاهش درصد فراوانی قارچی قارچ گردید، به طوریکه در سطح مطلوب آبیاری بیشترین درصد فراوانی قارچی و در تنش خشکی شدید (25% FC) کمترین درصد فراوانی قارچی مشاهده شد (شکل۱).

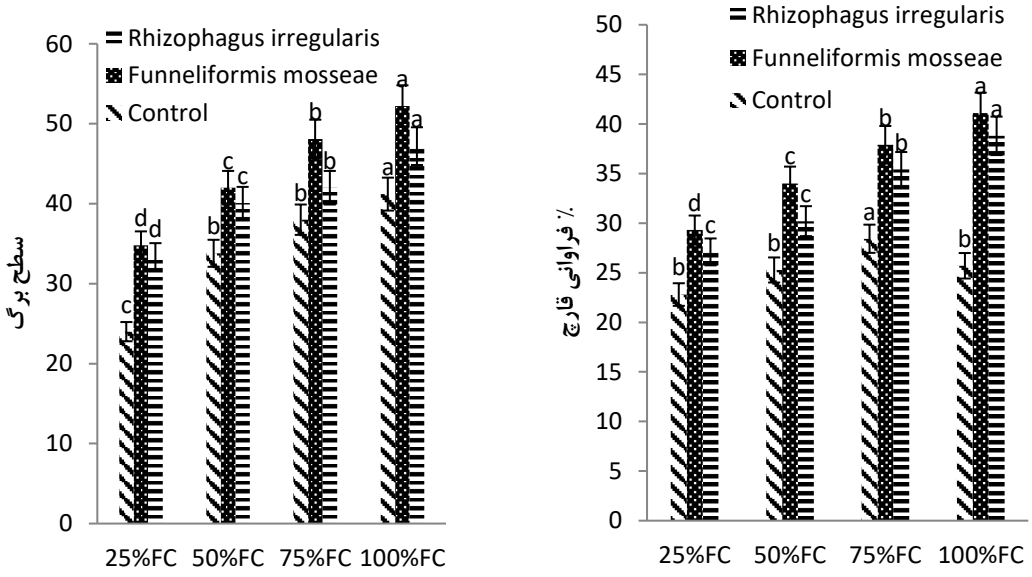
جدول ۲. تجزیه واریانس تیمارهای مختلف بر روی ویژگی های مورفولوژیکی نهال زبان گنجشک

Table 2. The analysis of variance of different treatments on growth properties of Fraxsinus angustifoliaL

منابع تغییرات Source of Variation	df	میانگین مربعات Mean square						
		رویش قطری Diameter growth	رویش ارتفاعی Height growth	سطح برگ Leaf area	طول ریشه Root length	فراوانی قارچی Colonization	وزن خشک ریشه dry root weight	وزن خشک هوایی dry body weight
قارچFungus	۲	۱.۷۲۳**	۶۲۷.۰۳۱**	۵۹۱.۰۳۴**	۲۷۵۷.۳۷۳**	۶۵۸.۱۰۳**	۹۶۴.۰۷۳**	۱۳۳۱.۰۴۶**
تنش خشکی × قارچ Fungus × Drought Stress	۶	۰.۰۴۵*	۱۴.۵۲۵**	۰.۷۲۹	۸.۵۸۹**	۱۹.۰۵۱**	۸.۸۱۱**	۱۶.۷۳۵**
تنش خشکی Drought Stress	۳	۰.۵۴۳**	۲۸۷.۸۹۱**	۱۴۱.۱۳۱	۳۰۴.۷۷۰**	۳۰۴.۲۸۰**	۱۱۶.۳۰۵**	۲۷۰.۷۷۰**

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

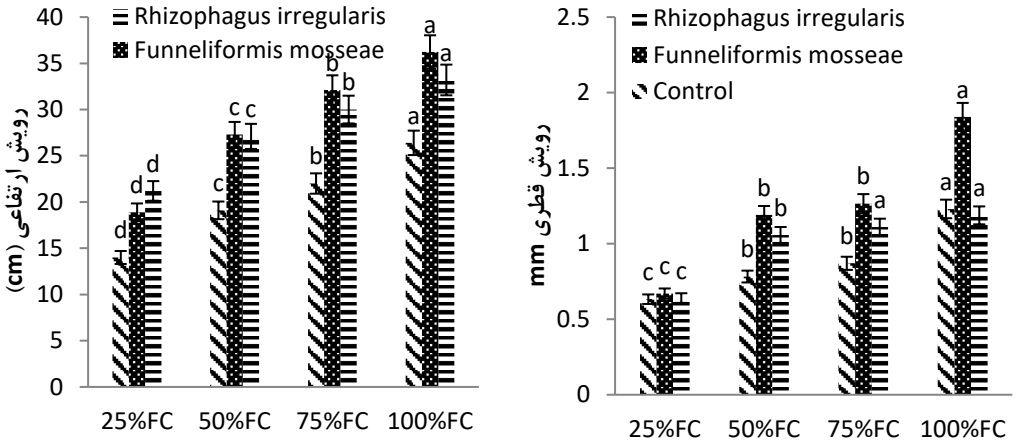
** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل میکوریز و تنش خشکی بر درصد فراوانی قارچی قارچ (چپ) و سطح برگ (راست). نهال‌های یکساله زبان گنجشک (میانگین±SE)،

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

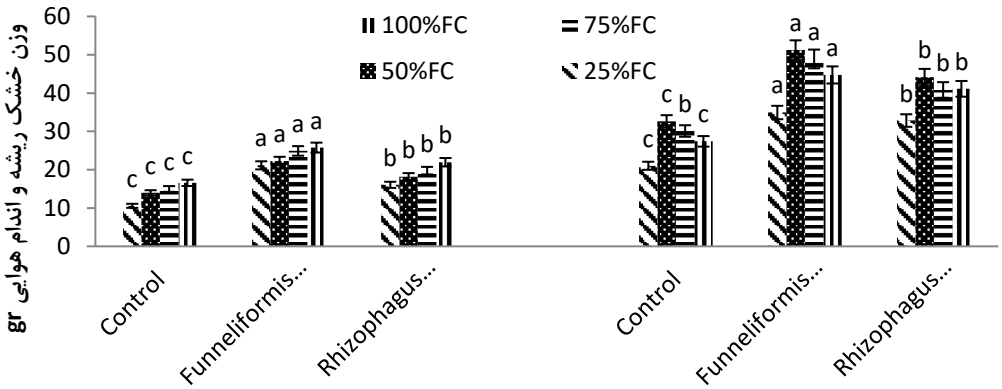
همچنین نتایج نشان داد کاربرد میکوریز موجب افزایش قابل ملاحظه رویش (ارتفاع و قطر) در مقایسه با شاهد (Control) گردید، به طوری که در اکثر موارد گیاهان آلوده به میکوریز رشد کرده در تنش خشکی کم (۷۵٪ FC)، متوسط (۵۰٪ FC)، شدید (۲۵٪ FC) و بدون تنش (۱۰۰٪ FC) شرایط رویشی بهتری از گیاهان غیرمیکوریز داشتند که این اختلاف از لحاظ آماری نیز معنی‌دار بود (شکل ۲). بیشترین افزایش ارتفاع و قطر در تمامی تیمارهای تنش خشکی مربوط به گونه قارچی F. mosseae بود. صرف نظر از نوع میکوریز به کار رفته، تنش خشکی باعث کاهش رشد (ارتفاع و قطر) نهال‌ها، در تمامی تیمارهای تنش خشکی شد. در تنش خشکی زیاد (۲۵٪ FC) نسبت به شاهد (آبیاری مطلوب) در گونه قارچی F. mosseae ارتفاع از ۳۶/۲۲ به ۳۰/۳۲ سانتی‌متر و قطر از ۱/۸۴ به ۰/۶۷ میلی‌متر کاهش یافت (شکل۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین های اثرات متقابل میکوریز و تنش خشکی بر رویش ارتفاعی (راست) و قطر یقه (چپ) نهال‌های یکساله زبان گنجشک (میانگین±SE).

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

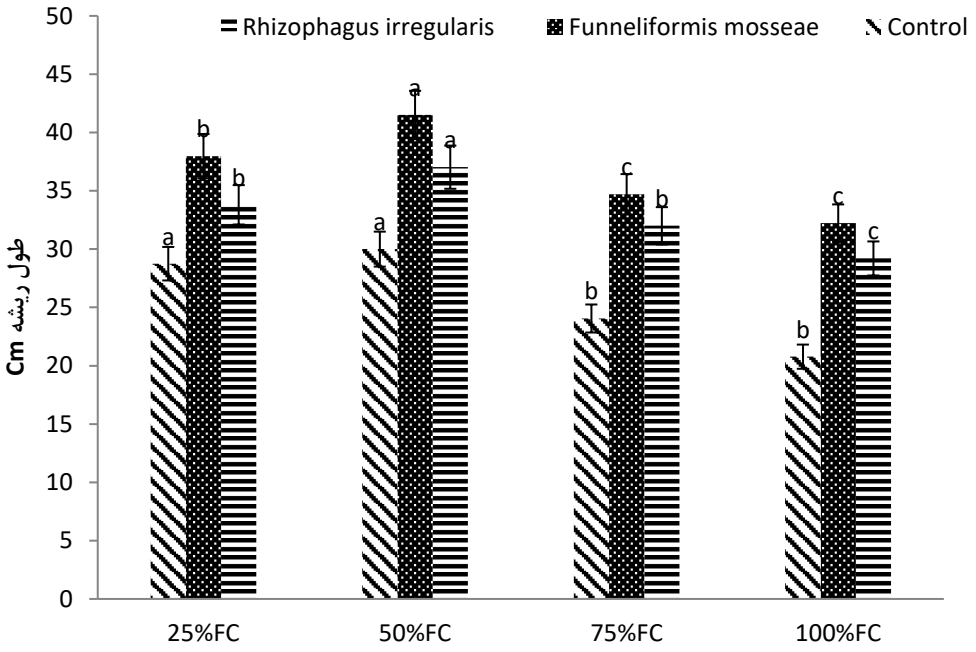
تنش خشکی به شدت میزان ماده خشک نهال‌های زبان گنجشک را نسبت به شاهد(رطوبتی) کاهش داد اما تیمارهای قارچ میکوریز باعث افزایش ماده خشک در تمامی تیمارهای تنش خشکی شدند. در تمامی تیمارهای خشکی گونه قارچی R. irregularis بیشترین وزن خشک ریشه (اندام زیرزمینی) و گونه قارچی F. mosseae بیشترین وزن خشک اندام هوایی را به خود اختصاص دادند. در سطح آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ FC)، وزن خشک اندام‌هوایی نهال‌های زبان گنجشک در گونه قارچیF. 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. به ترتیب بیشترین ماده خشک ریشه و اندام هوایی در نهال‌های زبان گنجشک مربوط به تیمارهای خشکی بدون تنش (۱۰۰٪ FC)، تنش خشکی کم (۷۵٪ FC)، متوسط (۵۰٪ FC) و شدید (۲۵٪FC) بود (شکل۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل میکوریز و تنش خشکی بر وزن خشک ریشه (راست) و اندام هوایی (چپ) نهال‌های یکساله زبان گنجشک (میانگین±SE).

Figure 3. Comparison of the mean effects of mycorrhizal interactions and drought stress on dry root weight (right) and aerial parts (left) of One-year-old seedlings of Fraxinus angustifolia (average ± SE).

طول ریشه نهال‌های زبان گنجشک در گونه قارچی F. mosseae بیشتر از گونه قارچی R. irregularis و در تیمار تنش خشکی متوسط (۵۰٪ FC) شرایط مطلوب‌تری دارا بود. کمترین طول ریشه در تلقیح با هر دو گونه قارچ میکوریزی در تنش خشکی با سطح آبیاری مطلوب (۱۰۰٪) بود. طول ریشه در گونه قارچ F. mosseae در سطح آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ FC) برابر با ۳۸/۳ سانتی‌متر و در تنش خشکی متوسط (۵۰٪ FC) برابر با ۴۸/۶۳ سانتی‌متر بود (شکل۵). به ترتیب بیشترین طول ریشه اصلی در تنش‌های خشکی متوسط (۵۰٪ FC)، تنش خشکی شدید (۲۵٪ FC)، تنش خشکی کم (۷۵٪ FC) و شاهد (سطح آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ FC)) در تیمار های تلقیح با هر دو گونه قارچ میکوریزی مشاهده شد (شکل۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل میکوریز و تنش خشکی بر طول ریشه نهال‌های یکساله زبان گنجشک (میانگین±SE).

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

۴- نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت تلقیح قارچ‌های میکوریز در شرایط خشکی با نهال‌های یک‌ساله زبان گنجشک، تغذیه نهال‌ها بهبود یافته، جذب عناصر غذایی بیشتر شده و در نهایت اثرات منفی خشکی بر رشد نهال‌ها کاهش می‌یابد. قارچ‌های میکوریزی با افزایش فراوانی قارچی ریشه‌ها، خصوصیات رشدی گیاه و جذب آب توسط گیاه را افزایش داده و در نتیجه سبب افزایش تحمل گیاه نسبت به شرایط نامساعد محیطی از جمله خشکی می‌شوند. در بین گونه‌های قارچ مورد مطالعه، گونه قارچی F. mosseae در نهال‌های زبان گنجشک تاثیر بیشتری بر خصوصیات مورفولوژیکی در تیمارهای مختلف خشکی داشتند. صرف نظر از نوع میکوریز به کار رفته، تنش خشکی باعث کاهش رشد نهال‌های زبان گنجشک گردید، به طوری که در اکثر تیمارها، سطح مطلوب آبیاری بیشترین رشد و تنش خشکی شدید کمترین رشد را نشان دادند. نهال‌های یکساله زبان گنجشک با افزایش طول ریشه در شرایط تنش خشکی و دارا بودن سیستم ریشه‌ای مناسب و قوی شرایط تحمل در تنش خشکی متوسط (۵۰٪FC) و زیاد (۲۵٪ FC)را نشان دادند. که این نشان دهنده مکانیسم اجتناب از خشکی محسوب می شود. به طور کلی می توان با تلقیح قارچ های میکوریزی با نهال های زبان گنجشک مقاومت این گونه را در شرایط تنش خشکی بهبود داد.

منابع

- Abduelafez, I.; Moragues, M.; Elamari, A.A.; Buchleiter, G.; Stromberger, M., Growth promotion of winter wheat under drought stress by ACC deaminase positive bacteria. In Annual Meeting of the Soil Science Society of America, 16th- 19th October 2011, San Antonio, TX. USA.
- Ahmadiani, A.; Hosseiny, J.; Semnanian, S.; Javan, M.; Saeedi, F.; Kamalinejad, M.;Saremi, S., Antinociceptive and anti-inflammatory effects of Elaeagnus angustifolia fruit extract. Ethnopharmacology Journal 2007, 72, 287-92.
- Alguacil, M.; Caravaca, F.; Diaz-Vivancos, P.; Hernandez, J. A.; 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 Journal 2006,279, 209-218.
- Anna, L.B.; Alessandra, S.; Claudia, E.; Paola, C.; Maddalena, D.G., In vitro and in vivo inoculation of four endophytic bacteria on Lycopersicon esculentum. New Biotechnology Journal 2013, 30, 666–674.
- Asgharpour E.; Azadfar D. ; Saeedi Z., Evaluation of Acer cappadocicum Gled seedlings to drought stress. Plant Research Journal 2017, 30 (1), 1-11. (In Persian).
- Asri M.; Tabari M.; Alavipanah S.K.; Mahdavi R., Growth and development of Quercus castaneifolia seedlings at different irrigation treatments. Pajouhesh-VaSazandegi Journal 2008, 21 (1), 167-176. (In Persian).
- Augé, R. M., Water relatio, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza Journal 2001, 11(1), 3-42.
- Auge, R.M.; Stodola, A.J.W.; Tims, J.E.; Saxton, A.M., Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. Plant and Soil Journal 2001. 230, 87-97.
- Azadi,R., 2004. Flora of Iran. Research Institue of Forests and Rangelands 2004, 48, pp54.
- Bashan, Y. ; de-Bashan, L.E., Chapter two—How the plant growth-promoting bacterium Azospirillum promotes plant growth–a critical assessment. Advances in Agronomy Journal 2010, 108, 77–136.
- Bassett, C. L. (2013). Water use, and drought response in cultivated, and wild apples, In: Vahdati K Leslie Charles, eds. Abiotic Stress-Plant Responses, and Aplications in Agriculture. Croatia, Rijeka: InTech, 249– 275.
- Bechtold, U., 2018. Plant life in extreme environments: How do you improve drought tolerance? Frontiers in Plant Science Journal 2018, 9, 543.
- Bechtold, U., Plant life in extreme environments: how do you improve drought tolerance? Front. Plant Science Journal 2018, 9, 543.
- Bethlenfalvay, G.J.,; Thomas, R.S.; Dakessian, S.; Brown, M.S.; Ames, R.N. ; Whitehead, E. E., Mycorrhizae in stressed environments: effects on plant growth, endophyte development, soil stability and soil water. In: Hutchinson, C.F. Timmermann ,B.N. (eds) Arid lands: today and tomorrow. Westview, Boulder 1988, pp. 1015–1029.
- Caravaca, F.; Alguacil, M. M.; Hernández, J.A. ; 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 Journal 2005, 169, 191-197.
- Delfan Azari, N.; Rostami Shahraji, T.; Gholami, V.; Hashemi Garmdareh, S. E., The effect of different irrigation levels on growth parameters of ash (Fraxinus rotundifolia Mill) seedlings in green space of Tehran city. Forest Research and Development Journal 2019, 5 (2), 229-244. (In Persian).
- Emadi, A.; Jones, R.J. ; Brodsky, R.A., Cyclophosphamide and cancer: golden anniversary. Nature Reviews Clinical Oncology Journal 2009, 6, 638-647.
- Esmaeili Sharif, M.; Zamani Kebrabadi, B. ; Dehghani, M., Influence of Arbuscular mycorrhiza fungi on morphological characteristics of Cerasus Mahaleb L. one year old seedlings under drought stress. Forest and Wood Products Journal 2021, 74(1),15-28. (In Persian).
- Fotelli, M.N. R.; Aadoglou, K.M; Constaintinidou H.I.A., Water stress of seedlings four Medeterranean oaks species. Tree physiology Journal 2000. 20, 1065-1075.
- Frolov, A.; Bilova, T., Paudel, G.; Berger, R., Balcke, G.U.; Birkemeyer, C. ; Wessjohann, L.A., Early responses of mature Arabidopsis thaliana plants to reduced water potential in the agar-based polyethylene glycol infusion drought model. Plant Physiology Journal 2017. 208, 70–83.
- Giovannetti, M.; Mosse, B., An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots. New Phytologist Journal 1980, 84, 489-500.

- Giri, B.; Kapoor, R.; Mukerji, K. G., 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 Journal 2005, 29, 63-73.
- Greenvay, H. ; Munns, R., Mechanism of salt tolerance of non-halophytes. Plant Physiology Journal 1980, 31, 149-190.
- Guo, W. Li. B.; Zhanga , X.;Wang, R., Architectural plasticity and growth responses of 16 Hippophae rhamnoides and Caragana intermedia seedlings to simulated water 17 stress. Arid Environments Journal 2007, 69, 385–399.
- Haon, A.D. ; Hitz, W.D., Metabolic respoes of mesophytes to plant water deficits. Annual Review of Plant Physiology Journal 1982, 33(1), 163-203.
- He, F.; Sheng, M. ;Tang, M., Effects of rhizophagus irregularis on photosynthesis and antioxidative enzymatic system in Robinia pseudoacacia L. under drought stress. Frontiers in Plant Science Journal 2017, 8,183.
- Hees, T.; Wenclawiak, B.; Lustig, S.; Schramel. P.; Schwarzer M.; Schuste, M., Distribution of platinum group elements (Pt, Pd, Rh) in environmental and clinical matrices: Composition, analytical techniques and scientific outlook. Springer Publisher, Environmental Science and Pollution Research Journal 1998, 5, 105–11.
- Jay, P.V.; Janardan, Y.; Kavindra, N.T. ; Ashok, K., 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 Journal 2013, 51, 282–286.
- Jinying, L.; Min, L.; Yongmin, M.; Lianying, S., Effects of vesicular arbuscular mycorrhizae on the drought resistance of wild jujube (Zizyphus spinosus Hu) seedlings. Frontiers of Agriculture in China Journal 2007, 1(4), 468-471.
- Johon, C. R. ; Hummel, R. L., Influence of Mycorrhizal and drought stress on growth of poncirus X citrus seedlings. Horticultural Science Journal 1985, 20, 754-755.
- Kaya, C.; Higgs, D.; Kirnak, H. ;Tas, I., Mycorrhizal colonisation improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (Citrullus lanatus Thunb.) grown under well-watered and water-stressed conditio. Plant and Soil Journal 2003, 253, 287-292.
- Klich, M. G., Leaf variatio in Elaeagnus angustifolia related to environment heterogeneity. Environmental and Experimental Botany Journal 2000, 44,171-183.
- Kouchaki, A., Aspects of drought stress in Sorghum. agricultural science and industries Journal 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. Plant. Growth Regul Journal 2010, 29, 297-306.
- Laxa, M.; Liebthal, M.; Telman, W.; Chibani, K. ; Dietz, K.J., The Role of the plant antioxidant system in drought tolerance. Antioxidants Journal 2019, 8, 94. doi:10.3390/antiox8040094.
- Li, C. ; Wang, K., Differences in drought respoes of three contrasting Eucalyptus microtheca F. Muell. Populatio. Forest Ecology and Management Journal 2003, 179, 377–385.
- Liu, J.N.; Wu, L.J.; Wei, S.L.; Xiao, X.; Su, C.X.; 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 Regul Journal 2007, 52, 29–39.
- Marschner, H., and Dell, B., 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis, Plant and Soil 159, PP: 89-102.
- Munns, R., Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment Journal 2002, 25, 239-250.
- Nadeem, M.; Li, J.; Yahya, M.; Sher, A.; Ma, C.; Wang, X.; Qiu, L., Research Progress and Perspective on Drought Stress in Legumes: A Review. Int. J. Mol. Sci. Journal 2019, 20, 2541.
- Osmolovskaya, N.; Shumilina, J.; Didio, A., Methodology of Drought Stress Research: Experimental Setup and Physiological Characterization. Int J Mol Sci 2018, 19(12),4089.
- Porcel, R.; Gó mez, M.; Kaldenhoff, R.; Ruiz-Lozano, J. M., Impairment of NtAQP1 gene expression in tobacco plants does not affect root colonisation pattern by arbuscular mycorrhizal fungi but decreases their symbiotic efficiency under drought. Mycorrhiza Journal 2005, 15, 417-423.
- Rad, M. H.; Jaimand, K.; Assareh, M.H. ; Soltani, M., Effects of drought stress on the quantity and quality of essential oil and water use efficiency in Eucalyptus (Eucalyptus camaldulensis Dehnh.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Journal 2013, 29 (4), 772-782. (In Persian).

- Sehgal, A.; Sita, K.; Siddique, K. H.; Kumar, R.; Bhogireddy, S.; Varshney, R. K. ,2018. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. Front. Plant Science Journal 2018, 9,1705.
- Shaban, M.; Khajehuddin, S. J.; Karimzadeh, H. R.; Panahpour, A., Investigating the drought resistance of woody species suitable for the development of green space in Isfahan. Agricultural science Journal 2009, 5 (1), 57-67.
- Smith, S. E., Smith, F. A., and Jacobsen, I., 2015. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plant irrespective of growth responses. Plant Physiology 133, PP: 16–20
- Tavili, A.; Zare, S.; Moosavi, S.A.; Enayati, A., Effects of seed priming on germination characteristics of Bromus species under salt and drought conditions. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 2011, 10, 163–168.
- Timmer, V.R. ; Miller, B.D., Effect of contrasting fertilization and moisture regims on biomass, nutrients and water relations of container grown red pine seedlings. New forests Journal 1991, 5, 335-340.
- Yin, C., X.; Wang, B.; Duan, J. ; Luo Ch, Li., Early growth, dry matter allocation and water use efficiency of two sympatric Populus species as affected by water stress. Environmental and Experimental Botany Journal 2005, 53(3),315-322.
- Zamani Kebrabadi, B.; Jaberalansar, Z. ;Esmaeili Sharif, M., Investigating the effect of bacteria PGPR in stimulating germination and improving the growth components of seeds Cerasus mahaleb (L.) Mill (Study area: Faridunshahr, Isfahan province). Seed Research Journal 2023, 13 (2), 77-93. (In Persian).
- Zhang, S. Z. ; Penner, G. B. ; Yang, W. Z. ; Oba, M., Effects of partially replacing barley silage or barley grain with dried distillers grains with solubles on rumen fermentation and milk production of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 2010, 93 (7), 3231-3242