به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱
صفحه‌های ۱۸۸-۱۷۳
DOI: 10.22059/jci.2021.327793.2588

مقاله پژوهشی:

تأثیر کاربرد گونه‌های قارچ مایکوریزا بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تنش خشکی

مریم فلاحت‌کار گنجی[۱]، وریا ویسانی[۲]، مرجان دیانت[۲*]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
۲. استادیار، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۱

چکیده
به‌منظور بررسی تأثیر گونه‌های قارچ مختلف مایکوریزا و سطوح تنش خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام نخود آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان در سال ۱۳۹۹ انجام گرفت. فاکتورها شامل آبیاری در سه سطح (شاهد، تنش متوسط و تنش شدید)، کاربرد قارچ مایکوریزا در چهار سطح (*Funneliformis mosseae*، *Simiglomus hoi*، *Rhizophagus irregularis* و عدم تلقیح (شاهد)) و رقم نخود در دو سطح (ILC-482 و پیروز) بود. نتایج نشان داد که سطح تنش تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی داشتند، به‌طوری‌که با کاهش میزان آب قابل دسترس گیاه وزن خشک و محتوای کلروفیل کاهش یافت. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش شدید در مقایسه با تنش متوسط و عدم تنش خشکی به‌ترتیب تا ۳۷ و ۷۱/۹ درصد در رقم پیروز و تا ٦٩/٤ و ٨٢/٦ درصد در رقم ILC-482 افزایش پیدا کرد. در رقم ILC-482 بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش شدید مشاهده شد که تقریباً نسبت به تیمار عدم تنش دو برابر افزایش یافت. فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تأثیر کاربرد قارچ مایکوریزا قرار گرفت، به‌طوری‌که گیاهان تلقیح‌شده با گونه *G. mosseae* بیش‌ترین و عدم تلقیح با مایکوریزا کم‌ترین میزان فعالیت پراکسیداز را دارا بودند. در تنش شدید کم‌ترین میزان مالون‌دی‌آلدهید با کاربرد گونه *G. mosseae* حاصل شد. تلقیح نخود با قارچ مایکوریزا می‌تواند به‌عنوان راه‌کاری در جهت بهبود رشد در شرایط عدم تنش و افزایش مقاومت در شرایط تنش خشکی مدنظر قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: پراکسیداز، پیروز، مالون‌دی‌آلدهید، محتوای کلروفیل، وزن خشک.

Effect of Arbuscular Mycorrhiza Species on Growth and Physiological Characteristics of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars under Drought Stress

Maryam Falahatkar Ghanji[1], Weria Weisani[2], Marjan Diyanat[2*]
1. M.Sc. Student, Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
Recived: August 31, 2021 Acccepted: October 03, 2021

Abstract
In order to investigate the effect of different mycorrhizal fungai species and drought stress levels on physiological characteristics of chickpea cultivars, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design in the greenhouse of Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research Center in 2020. Its factors include irrigation at three levels (optimal irrigation at field capacity, moderate stress, and severe stress), application of mycorrhizal fungus at four levels (*mosseae, Simiglomus hoi, Rhizophagus irregularis*, and no inoculation (control)) and chickpea cultivar at two levels (ILC-482 and Pirooz). Results show that irrigation level has had a significant effect on the evaluated traits. Thus, by decreasing the amount of available plant water, both dry weight and chlorophyll content drops. Catalase activity increases under severe stress, compared to moderate stress and lack of drought stress up to 37% and 71.9% in Pirooz cultivar and up to 69.4% and 82.6% in ILC-482 cultivar, respectively. In case of the latter, the highest peroxidase activity is observed in severe stress conditions, which almost doubled compared to non-stress treatment. The activity of peroxidase enzyme is affected by the use of mycorrhizal fungi so that plants inoculated with *G. mosseae* has had the highest and non-inoculation with mycorrhiza the lowest peroxidase activity. In severe stress, the lowest amount of malondialdehyde has been obtained using *G. mosseae*. Inoculation of chickpeas with mycorrhizal fungi can be considered as a way to improve growth in non-stress conditions and increase tolerance to drought stress conditions.

Keywords: Chlorophyll, dry weight, malondialdehyde, peroxidase, pirooz.

* نویسنده مسئول
Email: m.diyanat@srbiau.ac.ir

۱. مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) از مهم‌ترین حبوبات به‌شمار می‌آید، میزان تولید نخود در جهان حدود ۱۷ درصد تولید حبوبات برآورد شده است (Padhi & Ramdath, 2017). نخود از نظر اهمیت دومین گیاه لگوم دانه‌ای (حبوبات) بوده و سطح زیر کشت این گیاه ۱۳/۵ میلیون هکتار در سطح جهان گزارش شده است (Pang *et al.*, 2013). دانه نخود با داشتن ۱۵ تا ۲۵ درصد پروتئین غنی از اسیدهای آمینه ضروری نظیر لایسین در جیره غذایی انسان به‌ویژه برای طبقات کم‌درآمد جامعه نقش مهمی ایفا می‌کند (Jukanti *et al.*, 2012).

ایران دارای مساحتی بالغ بر ۱۶۵۰۰۰۰ کیلومترمربع است و در منطقه نیمه‌خشک خاورمیانه قرار دارد که از نظر توپوگرافی دارای آب‌وهوای متنوعی اما بخش بزرگی از آن خشک یا نیمه‌خشک است (Bazrafshan & Khalili, 2013). خشکی به‌صورت کاهش در آب موردنیاز گیاه تعریف می‌شود که به‌صورت کاهش در پتانسیل آب خاک مشخص می‌شود (Aroca, 2012). بسیاری از ویژگی‌های آناتومیکی (Kivimaenpae *et al.*, 2003)، فیزیولوژیکی (Flexas *et al.*, 2009; Alipanah *et al.*, 2021) و آنزیمی گیاه (Contour *et al.*, 2006; Salehi *et al.*, 2014) تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. مطالعات نشان می‌دهد که بیش‌ترین عملکرد نخود تحت شرایط فاریاب حاصل می‌شود و در این ارتباط، اجتناب از تنش خشکی بعد از مرحله گلدهی، به‌ویژه در مرحله غلاف‌دهی تا دانه بستن، ضروری گزارش شده است (Jalota *et al.*, 2006). با کاهش میزان آبیاری، میزان رشد و عملکرد گیاه نخود کاهش پیدا کرد. این کاهش می‌تواند مستقیماً در اثر بسته‌شدن روزنه‌ها و یا به‌طور غیرمستقیم در اثر افزایش آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین‌ها و کلروفیل‌ها باشد که در نهایت باعث کاهش سرعت و میزان فتوسنتز و به تبع آن، کاهش مقدار مواد فتوسنتزی و در نهایت عملکرد دانه می‌شود (Bagheri *et al.*, 2000; Fayyaz & Talbi, 2009).

طی چند دهه اخیر به‌علت افزایش جمعیت و تقاضای روزافزون برای مواد غذایی، مصرف کودهای شیمیایی به‌منظور افزایش مقدار تولید در واحد سطح به‌شدت افزایش یافته است، که علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید، پیامدهای نامطلوبی در افزایش آلودگی منابع آب و خاک نیز به‌همراه داشته است. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب عدم تعادل مواد غذایی موجود در خاک، کاهش بازده محصولات کشاورزی و به‌خطرافتادن سلامت انسان‌ها و دیگر موجودات زنده شده است. به همین علت امروزه استفاده از کودهای زیستی با منشأ باکتری، قارچ، جلبک یا دیگر موجودات خاک‌زی موردتوجه قرار گرفته است که مکانیسم عمل آن‌ها توانایی گیاه برای جذب عناصر غذایی از خاک را افزایش می‌دهد. کودهای زیستی نه‌تنها از مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی فراوانی برخوردارند، بلکه علاوه بر ایجاد و حفظ پایداری منابع موجود در خاک، توان تولید در بلندمدت را افزایش داده و آلودگی‌های زیست‌محیطی را کاهش می‌دهند. برای دستیابی به توسعه پایدار در کشاورزی و تحقق اهداف و سیاست‌های پیش‌بینی‌شده در این راستا، استفاده از کودهای زیستی می‌تواند راه‌کار مؤثری باشد. به طورکلی گونه‌های مختلف میکروارگانیسم‌ها که توانایی تبدیل عناصر غذایی از فرم غیرقابل جذب به فرم قابل جذب جهت تغذیه گیاهان را دارند، به‌عنوان کودهای زیستی محسوب می‌شوند (Wu *et al.*, 2005).

قارچ‌های مایکوریزا یکی از انواع کودهای زیستی هستند. این قارچ‌ها با ریشه برخی از انواع گیاهان همزیستی کرده و تغییرات مفیدی را ایجاد می‌کنند که سبب افزایش جذب مواد غذایی از ریشه گیاه می‌شود. بیش از ۸۳ درصد از گیاهان دو لپه‌ای و حدود ۷۹ درصد از گیاهان تک‌لپه‌ای قادر به تشکیل سیستم مایکوریزایی و

تولید کود بیولوژیک قارچی هستند. تنها تعداد محدودی از گیاهان زراعی فاقد این توانایی هستند (Soltanian & Tadayyon, 2015; Mahmoudzadeh *et al*., 2015). قارچ‌های مایکوریزا بیوتروف‌های اجباری هستند، به این معنی که فقط در حضور گیاه میزبان مناسب قادر به اسپورزایی و تکمیل سیکل زندگی خود می‌باشند (Gosling *et al*., 2006). این قارچ‌ها جزء مهمی از اکوسیستم های طبیعی هستند (Stutz *et al*., 2009). تلقیح ریشه‌های گیاه با قارچ مایکوریزا آربوسکولار (AM) در تعداد زیادی از گیاهان زراعی باعث بهبود تولید در شرایط تنش خشکی شده است (Moghadasan *et al*., 2016; Auge *et al*., 2015). به‌علاوه مشخص شده که گیاهان دارای ریشه‌های تلقیح‌شده با مایکوریزا در شرایط تنش کمبود آب در مقایسه با گیاهان فاقد مایکوریزا سریع‌تر بهبود پیدا می‌کنند (Hoseininejad *et al*., 2016). بنابراین جدا از سیستم‌های حفاظتی گیاهان در برابر تنش خشکی، برخی روابط همزیستی نیز می‌تواند در افزایش مقاومت به تنش خشکی مؤثر باشد (Bolandnazar *et al*., 2007; Ortiz *et al*., 2015; Ghorbanian *et al*., 2015). تلقیح ریشه‌های نخود با مایکوریز آربوسکولار باعث افزایش جذب مواد غذایی به‌میزان ۱۸–۵۵ درصد می‌شود (Farzaneh *et al*., 2011). مشاهده شده که با تلقیح قارچ مایکوریزا ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه نخود به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت (Singh *et al*., 2010). مطالعات قبلی روی گیاه لوبیا نشان داد که کاربرد قارچ مایکوریزا باعث افزایش وزن تر و عملکرد این گیاهان تحت شرایط کشت مخلوط شد (Weisany *et al*., 2016). میسلیوم این قارچ‌ها از طریق افزایش ارتباط ریشه با محیط‌های اطراف (فراتر از منطقه نفوذ سیستم ریشه) سبب افزایش حجمی از خاک می‌شوند که در اختیار ریشه قرار می‌گیرد. هیف‌های قارچ مایکوریزا آربوسکولار قادر به رشد در خلل‌وفرجی هستند که ریشه و یا حتی تارهای کشنده قادر به نفوذ در آن‌ها نمی‌باشند. این رابطه همزیستی امکان بقای گیاه را در محیط‌هایی که با کمبود آب و عناصر غذایی مواجه هستند افزایش می‌دهد (Sanches-blan *et al*., 1994). قارچ‌های مایکوریزا باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شده و از گیاهان در برابر گونه‌های اکسیژن تولیدشده در شرایط تنش محافظت می‌کنند (Khalafallah & Abo-Ghalia, 2008). کاربرد قارچ مایکوریزا در برگ گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش داد (Soleymani & Pirzad, 2016). در مطالعه‌ای روی گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) گیاهان تلقیح یافته با قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده با قارچ میکوریزا از محتوای کلروفیل بیش‌تری برخوردار بودند (Moghadasan *et al*., 2016). در مطالعه‌ای که روی تأثیر قارچ میکوریزا بر فعالیت ترکیبات فنلی، تانن و آنتی‌اکسیدان در گیاه سنبل انجام دادند. نتایج نشان داد که قارچ میکوریزا باعث افزایش فنل و تانن و هم‌چنین باعث تحریک فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌شود (Jugran *et al*., 2015). Zare Hassanabdi *et al*. (2020) در بررسی اثر دو گونه قارچ مایکوریزا بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و صفات مورفوفیزیولوژیکی پونه معطر (*Mentha pulegium* L.) اعلام کردند که کاربرد این قارچ از طریق افزایش تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث تحمل تنش خشکی می‌شود.

با توجه به قرارگرفتن ایران در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا و اهمیت افزایش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی در شرایط کمبود آب، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تلقیح گیاه نخود توسط چند گونه

قارچ مایکوریزا به‌عنوان کود زیستی در راستای کاهش اثرات تنش خشکی و به تبع آن افزایش رشد و عملکرد و بهبود کیفیت محصول این گیاه انجام گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان در سال زراعی ۱۳۹۸ انجام گرفت. فاکتورها شامل آبیاری در سه سطح (شاهد، تنش متوسط و تنش شدید)، قارچ مایکوریزا در چهار سطح (*Glomus mosseae*، *G. hoi*، *G. intraradices* و عدم تلقیح (شاهد)) و رقم نخود در دو سطح (ILC-482 و پیروز) بود. مایهٔ تلقیح قارچ مایکوریزا که مخلوطی از قطعات ریشه، خاک، اندام زیستی و اسپور قارچ بود، از گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز تهیه شد. تا استقرار کامل بوته‌ها در گلدان‌ها آبیاری به‌صورت یکنواخت و کامل صورت گرفت و سپس تیمارهای تنش اعمال شد. برای تعیین منحنی ویژگی‌های رطوبتی خاک، نمونه‌هایی از خاک موردنظر انتخاب و با استفاده از دستگاه صفحات فشاری درصد رطوبت وزنی در فشارهای ۰/۳، ۵-، ۱۰- و ۱۵- بار که در برگیرنده نقاط پتاسیلی مهم خاک نیز می‌باشند تعیین شد و منحنی مشخصه رطوبتی خاک ترسیم و پارامترهای معادله منحنی مشخصه خاک تعیین شد. جهت اعمال تیمارهای آبیاری، از کشت مستقیم بذرها در گلدان و اعمال خشکی به‌روش وزنی استفاده شد. در این روش ابتدا حدود رطوبتی ظرفیت زراعی[1] و نقطه پژمردگی دائم[2] در خاک با استفاده از دستگاه صفحه فشار[3] تعیین شد (Moshtaghi Niaki, 2008). براساس این نقاط، میزان آب قابل دسترس خاک[4] تعیین شد. وزن دقیق اجزای هر گلدان اندازه‌گیری شد. براساس محاسبات یادشده، وزن هر گلدان برای سه تیمار (آبیاری در حد ظرفیت زراعی به‌عنوان تیمار شاهد و آبیاری پس از تخلیه ۷۵ و ۱۰۰ درصد آب قابل استفاده جهت اعمال تیمارهای تنش متوسط و تنش شدید) محاسبه شد. قبل از کاشت بذور از خاک مورد استفاده در گلدان‌ها نمونه‌برداری شد و آزمایش تجزیه خاک روی آن صورت گرفت. نتایج تجزیه خاک در جدول (۱) آورده شده است.

کاشت بذور در گلدان‌های پلاستیکی محتوی ۲۰ کیلوگرم مخلوط خاک و ماسه با نسبت ۱:۲ انجام شد. ارتفاع گلدان‌های آزمایشی ۴۰ و قطر دهانه آن ۴۰×۶۰ سانتی‌متر بود. در هر گلدان در تاریخ ۲۳ اردیبهشت‌ماه ۱۸ عدد بذر کاشته شد. گیاهچه‌های نخود بعد از سبزشدن و ظهور برگ‌های اصلی، تنک شدند و در هر گلدان شش بوته نگه داشته شد. بعد از سبزشدن بذور و استقرار کامل بوته‌ها، از سوم خردادماه تیمارهای آبیاری اعمال شد. پتانسیل آب خاک به‌صورت روزانه اندازه‌گیری می‌شد. برای تلقیح نخود با مایکوریزا، قبل از کاشت به‌ازای هر کیلوگرم خاک گلدان، ۱۰ گرم از خاکی که حاوی حدود ۱۰۰۰ اسپور بود به خاک گلدان اضافه و به‌خوبی با آن مخلوط شد (Sohrabi *et al*., 2012).

۲. ۱. اندازه‌گیری صفات

برای تعیین وزن خشک ریشه و گیاه، بوته‌ها بعد از خارج‌کردن از گلدان‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون قرار گرفتند و سپس با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌هزارم گرم، توزین شدند.

1. Field Capacity
2. Permanent Wilting Point
3. Pressure plate apparatus
4. Available Water Content

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده‌شده در آزمایش

مس	آهن	منگنز	روی	منیزیم	فسفر	پتاسیم	نیتروژن	کربن آلی	هدایت الکتریکی	pH	بافت خاک
(mg kg^{-1}soil)								(%)	(dSm^{-1})		
۱/۱	۱/۸٤	۳۷/۳	۱/۳٤	۲۲۸/۱۳	۹/۵	۵۰۰	۰/۲۵	۱/۱۳	۰/۷۳	٦/۸	شنی لومی

اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کاروتنوئید عصاره ۰/۱ گرم برگ با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد و ۰/۱ گرم منیزیم اکسید استخراج شد. سپس عصاره به‌مدت ۵ دقیقه با ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد و میزان جذب عصاره به‌دست‌آمده در طول موج‌های ٦٤٦ و ٦٦٣ و ٤٧٠ قرائت شد. غلظت کلروفیل با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Inskeep & Bloom, 1985).

رابطه ۱) $Chl_a\ (mgml^{-1}) = (12.25\times A\ 663) - (2.79\times A\ 646)$

رابطه ۲) $Chl_b\ (mgml^{-1}) = (21.21\times A\ 646) - (5\times A\ 663)$

رابطه ۳) $Ch_{total}\ (mgml^{-1}) = Chl_{a+}\ Chl_b$

رابطه ٤) کاروتنوئید = $(1000\ A470 - 2.270\ Ca - 81.4\ Cb)/227$

برای سنجش غلظت پروتئین کل از روش Bradford (1976) استفاده شد. بدین صورت که در ابتدا، ۰/۵ گرم برگ را در هاون چینی قرار داده شد و هم‌زمان ازت مایع نیز در داخل هاون ریخته شد و پس از خردکردن برگ ۵۰ میلی‌گرم PVP به آن اضافه شد. در حین هم‌زدن ۱/۵ سی‌سی بافر فسفات پتاسیم (PH =۷) حاوی سدیم متابای سولفیت به آن اضافه شد و عمل خردکردن برگ تا مرحله هموژنیزه ادامه یافت. ترکیب حاصله در میکروتیوپ‌های مخصوص ریخته شد و به‌مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰ دور و در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. پس از اتمام سانتریفیوژ، لوله‌ها به‌آرامی از دستگاه خارج شد و فاز رویی که حاوی پروتئین‌های محلول نمونه بود با سمپلر برداشت شد و ۵۰۰ میکرولیتر عصاره با ۱۷۵ میکرولیتر از گلیسرول ۵۰ درصد مخلوط شد. سپس بلافاصله میکروتیوپ‌های حاوی عصاره به فریزر ۸۰- منتقل شده و تا زمان اندازه‌گیری میزان پروتئین و فعالیت آنزیمی در آن نگهداری شدند. در نهایت میزان پروتئین نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری میزان پرولین بافت برگ ابتدا مقدار ۰/۵ گرم از برگ توزین شد و در هاون چینی در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد به‌خوبی ساییده شد و در دستگاه سانتریفیوژ ٦۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ (مدل: Y international, Inc. RATING. QUANTIT EDISON, NJ U6A Labnet) شد. آن‌گاه دو میلی‌لیتر از روشناور را به لوله‌های درب‌دار منتقل نموده و به تمام لوله‌ها مقدار دو میلی لیتر معرف ناین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال اضافه شد. پس از بستن در لوله‌ها به‌مدت یک ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از سردکردن لوله‌ها به هرکدام مقدار چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و سپس به‌مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه لوله‌ها تکان داده شد. سرانجام فاز رویی را که به رنگ قرمز و حاوی پرولین محلول در تولوئن بود برداشته و هم‌زمان با نمونه‌های استاندارد در دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل T80+ ساخت شرکت instrument PG کشور انگلستان) قرار گرفته و در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. غلظت پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد (Bates *et al*., 1973). نحوه تهیه ناین‌هیدرین و محلول‌های استاندارد پرولین به این شرح بود که مقدار یک و نیم گرم از ناین‌هیدرین را در داخل

ارلن ریخته شد و به آن ۳٦ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و ۲٤ میلی‌لیتر اسید فسفریک ٦ مولار اضافه شد و به‌ملایمت حرارت داده شد تا نایندهیدرین به‌طور کامل حل شود.

اندازه‌گیری فعالیت آسکوربات پراکسیداز به‌روش Nakano & Asada (1981) و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز به‌روش Kar & Mishra (1976) انجام شد.

برای اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدهید از روش Heath & Packer (1968) استفاده شد. طبق این روش ۰/۲۵ گرم برگ در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک‌اسید (TCA)۰/۱ درصد ساییده شد. عصاره حاصل به‌مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفیوژ (مدل Y international, Inc. RATING. QUANTIT EDISON, NJ U6A Labnet) شد. در مرحله بعد ۲۵۰ میکرولیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ با ۱ میلی‌لیتر محلول مالون‌دی‌آلدهید که حاوی تری‌کلرواستیک‌اسید (TCA) ۲۰ درصد و تیوباربیتوریک اسید (TBA) ۰/۵ درصد است، مخلوط شد. مخلوط حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در حمام بن‌ماری حرارت داده شد. سپس بلافاصله در یخ سرد شده و دوباره مخلوط به‌مدت ۱۰ دقیقه در۱۰۰۰۰ g سانتریفیوژ (مدل Y international, Inc. RATING. QUANTIT EDISON, NJ U6A Labnet) شد. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل T80+ ساخت شرکت PG instrument کشور انگلستان) در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. جذب بقیه رنگیزه‌های غیر اختصاصی در ٦۰۰ نانومتر تعیین و از مقدار حاصل کسر شد. در نهایت، از رابطه زیر برای محاسبه میزان مالون‌دی‌آلدهید استفاده شد.

رابطه ۵)

$$MDA\ (umolg^{-1}\ FW) = \frac{(A532-A600)\times W}{116} \times 1000$$

A532 = جذب خوانده‌شده با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر؛ A600= جذب نمونه در طول موج ٦۰۰ نانومتر؛ W= وزن نمونه برگی مورداستفاده (برای نمونه‌های ما برابر ۰/۲۵است).

۲. ۲. تجزیهٔ آماری داده‌ها

برای انجام تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1) استفاده شد. مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. وزن خشک کل

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنها اثرات متقابل رقم× مایکوریزا و سطح تنش× رقم× مایکوریزا بر وزن خشک کل نخود معنی‌دار نبوده است (جدول ۲). کاهش میزان آبیاری باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک هر دو رقم نخود شد، اما کم‌ترین میزان وزن خشک را رقم پیروز در شرایط تنش شدید داشت که تفاوت معنی‌داری با رقم ILC-482 داشت (جدول ۳). از عمده عوامل احتمالی کاهش وزن خشک بر اثر تنش رطوبتی، می‌توان به کاهش فتوسنتز حقیقی، کاهش شاخص سطح برگ گیاه و تحریک ورود به‌مرحله زایشی اشاره کرد (Shaban *et al*., 2012). نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های Behboudian *et al.* (2001) و Fallah *et al.* (2005) در زمینه مطالعه واکنش عملکرد و اجزای عملکرد نخود به تنش خشکی مطابقت دارد.

کاربرد قارچ مایکوریزا باعث افزایش وزن خشک کل شد، اما اثر مثبت مایکوریزا بر افزایش وزن خشک کل در تیمار شاهد نسبت به تنش محسوس‌تر بود و گیاهان تلقیح‌شده و حتی شاهد از وزن خشک بالاتری برخوردار بودند. بالاترین وزن خشک کل در تیمار شاهد و تلقیح با *S. hoi* به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با دو گونه دیگر نداشت (جدول ٤).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات موردبررسی ارقام نخود تحت تأثیر سطوح آبیاری و کاربرد قارچ مایکوریزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن خشک کل	وزن خشک ریشه	کلروفیل کل	کاروتنوئید	محتوای پروتئین	پرولین
سطح تنش	۲	۳۱۷/۷۲**	۳۸/۲۶**	۰/۴۸۷۶*	۰/۰۱۶۷ ns	۰/۰۲۶۰ ns	۱۶۴/۵۴۷۹**
رقم	۱	۱۶۲/۰۵**	۶۳۹/۰۱**	۰/۰۷۶۳ ns	۰/۰۰۰۷ ns	۰/۰۶۵۸ ns	۴۰/۴۴۱۹ ns
مایکوریزا	۳	۳۵۷/۹۲**	۲۶۵/۰۱**	۱/۶۶۰۴**	۱۸/۵۲۰۶**	۰/۰۲۸۶ ns	۰/۰۷۷۶ ns
سطح تنش× رقم	۲	۲۰/۰۵*	۸/۰۱ns	۰/۰۰۵۸۹ ns	۱/۳۳۸۷ ns	۰/۰۶۱۹ ns	۱۰/۲۹۶۴ ns
سطح تنش× مایکوریزا	۶	۲۵/۴۲**	۹/۲۰*	۰/۷۰۰۷**	۰/۴۳۲۴ ns	۰/۱۱۱۷*	۴۱/۲۴۹۹ ns
رقم× مایکوریزا	۳	۰/۰۶ ns	۱۵/۲۳ns	۰/۵۱۱۷*	۰/۲۸۰۷ ns	۰/۰۳۱۷ ns	۰/۴۱۷۳ ns
سطح تنش× رقم× مایکوریزا	۶	۵/۶۴ ns	۶/۵۱۴ns	۰/۲۱۷۶ ns	۱/۰۴۳۰ ns	۰/۰۳۵۱ ns	۲۷/۰۶۶۶ ns
خطا	۴۸	۷/۵۴	۶/۱۸	۰/۲۱۰	۲/۶۴۹۰	۰/۳۲۴۳	۲۳/۳۷۲۲
ضریب تغییرات	–	۱۷/۲	۹/۸۲	۱۱/۱۲	۱۲/۷۸	۱۴/۰۶	۷/۴۳

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ادامه جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات موردبررسی ارقام نخود تحت تأثیر سطوح آبیاری و کاربرد قارچ مایکوریزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		پراکسیداز	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	مالون‌دی‌آلدهید
سطح تنش	۲	۱۰/۵۵۸۳**	۱۱۳۷/۵۲۵۱**	۱۱۵۴۱/۹۸۶۹*	۱۵۲/۸۵۳۸ns	۸/۶۶۸۰**
رقم	۱	۹/۴۰۴۸*	۸۷۴/۳۵۰۰ ns	۱۷۵۵۵/۶۹۴۷*	۱۵۵/۱۴۴۱ns	۷/۴۵۸۸**
مایکوریزا	۳	۱۲/۰۳۵۷**	۶۰۲/۴۷۵۰ ns	۱۹۰۵۸/۶۶۳۰**	۵۸۰/۵۴۸۸**	۰/۷۹۷۵ns
سطح تنش× رقم	۲	۷/۴۰۴۸*	۷۱۷/۵۸۵۰*	۱۷۱۱۱/۹۸۹۹*	۱۲/۱۱۲۷ ns	۰/۰۷۵۴ns
سطح تنش× مایکوریزا	۶	۱/۷۱۱۲ns	۳۴۲/۶۸۳۱ns	۷۷۶۴/۲۱۹۰ns	۴۷/۶۸۷۰ns	۴/۱۲۶۴**
رقم× مایکوریزا	۳	۳/۶۵۷۸ ns	۲۹۶/۴۲۲۵ns	۱۶۷۰۳/۴۰۵۶ **	۱۰/۴۵۹۶ns	۲/۰۹۵۴ns
تنش× رقم× مایکوریزا	۶	۴/۴۶۴۵ns	۳۳۳/۳۱۳۹ns	۶۱۰۵/۵۱۴۳ ns	۲۷/۱۳۸۹ns	۱/۵۲۶۹ns
خطا	۴۸	۲/۰۱۱۱	۲۱۷/۵۰۰۰	۳۴۸۱/۲۳۹۶	۴۸/۴۳۸۷	۱/۰۰۵۳
ضریب تغییرات	–	۱۶/۷۴	۱۴/۳۱	۲۰/۳۰	۲۲/۵۴	۲۵/۷۰

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

Koochaki *et al.* (2009) نیز در آزمایش خود اثرات مثبت کودهای زیستی نیتروکسین و مایکوریزا را در افزایش ارتفاع و وزن خشک بوته چند ساله زوفا بیان نمودند. در گیاه ذرت ۶۰ روز پس از کاشت کاربرد کود فسفر و تلقیح با مایکوریزا به‌طور معنی‌داری سطح برگ، ارتفاع ساقه، قطر ساقه و وزن خشک اندام هوایی را نسبت به شاهد افزایش داد (Pharudi, 2010). کاربرد گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا در شرایط تنش خشکی ممکن است از طریق افزایش سطح جذب ریشه‌ها (نفوذ میسلیوم قارچ‌ها و افزایش سطح تماس با خاک) موجب افزایش دسترسی گیاه نخود به آب و مواد غذایی شده و از این طریق، افزایش وزن خشک اندام‌های مختلف و عملکرد گیاه را باعث شده باشد (Sylvia & Williams, 1992).

جدول ۳. مقایسه میانگین وزن خشک، میزان فعالیت پراکسیداز، کاتالاز و اسکوربات پراکسیداز تحت تاثر سطح تنش و رقم نخود

سطح تنش	وزن خشک کل (گرم در بوته)		پراکسیداز (unit mg protein^{-1}min^{-1})		کاتالاز (unit mg protein^{-1}min^{-1})		اسکوربات پراکسیداز (mmol ascorbate oxidized mg^{-1}min^{-1})	
	پیروز	ILC-482	پیروز	ILC-482	پیروز	ILC-482	پیروز	ILC-482
شاهد	۲/۳۷۹±۰/۱۵^{ab}	۲/۵٤۰±۰/٤۱^{a}	۲/۰۷۹±۰/۲۵^{d}	۲/۵٤۰±۰/۳۱^{cd}	٤/۹٦۱±۱/۵٤^{c}	٤/۸٤۲±۰/۸^{c}	٦٤/٤۰۵±۲۱/۸^{bc}	۵۵/٤۸±۲۰/۰۳^{bc}
تنش متوسط	۱/۵۹۵±۰/۲۰^{c}	۱/۹۷۹±۰/۳۲^{b}	۳/٦۹٤±۰/٤۰^{b}	۳/٤۲۹±۰/۷۲^{bc}	۱۱/۱۳±۲/۱۰^{d}	۸/۵۱۱±۱/۹^{d}	۱۲۹/۹۵±۲۵/۷٤^{a}	٤۷/۸۳۵±۱۱/٤۳^{c}
تنش شدید	۱/۲۱۰±۰/۱۱^{d}	۱/٦٤۹±۰/۱٦^{c}	۳/۱٦±۰/۳۲^{bc}	٤/۷۸۹±۰/٤٦^{a}	۱۷/٦۸±۲/۲۷^{b}	۲۷/۸۵±٤/٤^{a}	۱۰٤/۲±۱۷/۲۰^{a}	۱۰۱/٦۲±۲٦/۹^{ab}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون با یکدیگر طبق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

هم‌چنین Arriagada *et al.* (2007) اظهار داشتند که در اثر تلقیح گیاه اوکالیپتوس با قارچ مایکوریزا، غلظت نیتروژن در برگ نسبت به شرایط عدم تلقیح افزایش می‌یابد. احتمالاً کاربرد قارچ مایکوریزا، میزان جذب نیتروژن در گیاه را بهبود بخشیده و از این طریق سبب افزایش رشد، نمو و مقدار کلروفیل برگ و متعاقب آن، افزایش میزان فتوسنتز و ماده سازی و در نهایت افزایش عملکرد گیاه شده است.

۳. ۲. وزن خشک ریشه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده رقم، سطح تنش و کاربرد قارچ مایکوریزا و اثر متقابل سطح تنش× مایکوریزا بر وزن خشک ریشه نخود معنی‌دار بوده است (جدول ۲). تنش خشکی باعث افزایش وزن خشک ریشه نخود شد. کم‌ترین وزن خشک ریشه در تیمار شاهد و عدم استفاده از قارچ مایکوریزا مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار تنش متوسط و کاربرد قارچ *F. mosseae* نداشت. در تیمارهای شاهد و تنش شدید کاربرد قارچ مایکوریزا باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه نخود شد، اما تفاوت بین گونه‌های قارچ مایکوریزا معنی‌دار نبود (جدول ٤). مایکوریزا با افزایش سرعت جذب عناصر کم‌تحرک (مقدار عنصر جذب‌شده در واحد طول ریشه و در واحد زمان) قادر است تغذیه گیاه میزبان را در شرایط کمبود عناصر غذایی خاک بهبود بخشد (Smith & Read, 2008). افزایش سرعت جذب فسفر توسط گیاه میزبان به دلیل حضور انشعابات فراوان هیف‌های داخلی مایکوریزا در داخل سلول‌های پوست ریشه گیاه است که سطح وسیعی را برای انتقال عناصر غذایی به‌ویژه فسفر به گیاه میزبان را فراهم می‌نماید. گیاهان با سیستم ریشه‌ای ضعیف و کم‌انشعاب وابستگی مایکوریزایی بیش‌تری در مقایسه با گیاهان با سیستم ریشه‌ای انبوه و پرانشعاب دارند (Baylis, 1975). در مطالعه‌ای بر روی فلور گیاهان در انگلیس ملاحظه گردید که گیاهان با ریشه‌های مویین کم و ریشه‌های ضعیف و کم انشعاب وابستگی مایکوریزایی بیش‌تری در مقایسه با گیاهان با سیستم ریشه‌ای پرانشعاب و ریشه‌های مویی متراکم دارند (Fitter, 1988). در واقع وجود شبکه گسترده‌ای از هیف‌های خارجی قارچ مایکوریزا در خاک به‌عنوان ادامه سیستم ریشه‌ای ضعیف گیاه میزبان عمل نموده و قادر است آب و مواد غذایی را از مناطق دور از دسترس ریشه به گیاه انتقال دهد.

۳. ۳. محتوای کلروفیل

هم‌چنان که در جدول (۲) مشاهده می‌شود اثرات سطح تنش و مایکوریزا و اثرات متقابل سطح تنش× مایکوریزا و رقم× مایکوریزا بر کلروفیل کل معنی‌دار بود. تنش خشکی باعث کاهش کلروفیل کل گیاه نخود شد. تنش خشکی

موجب افزایش تولید اتیلن و اسیدآبسیزیک شده که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیلاز هستند در نتیجه محتوی کلروفیل کاهش می‌یابد (Orabi *et al*., 2010). گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا از محتوای کلروفیل کل بیش‌تری برخوردار بود. کاربرد قارچ مایکوریزا با افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش می‌دهد (Misra & Srivastava, 2000). در شرایط آبیاری کامل گیاهان تلقیح‌شده با گونه *S. hoi* بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل را داشتند، اما در شرایط تنش متوسط و شدید تفاوت معنی‌داری بین گونه‌های مایکوریزا وجود نداشت (جدول ٤). افزایش میزان کلروفیل در اثر کاربرد قارچ مایکوریزا را می‌توان به افزایش جذب نیتروزن نسبت داد (Tang *et al*., 2009). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کلروفیل کل به‌ترتیب در گیاهان تلقیح‌شده با گونه *S. hoi* در تیمار شاهد و عدم تلقیح با مایکوریزا در شرایط تنش شدید مشاهده شد (جدول ٤). در رقم ILC-482 بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل در گیاهان تلقیح‌شده با گونه *S. hoi* مشاهده شد. هم‌چنین تفاوت معنی‌داری بین گیاهان تلقیح‌شده با گونه *S. hoi* و گونه *F. mosseae* مشاهده نشد. در رقم پیروز گیاهان تلقیح‌نشده با مایکوریزا کم‌ترین محتوای کلروفیل کل را داشتند، اما تفاوت معنی‌داری بین گیاهان تلقیح‌شده و تلقیح‌نشده با مایکوریزا از لحاظ کلروفیل کل مشاهده نشد. در تلقیح ارقام با گونه‌های *S. hoi* و گونه *F. mosseae* رقم ILC-482 از محتوی کلروفیل بیش‌تری برخوردار بود (جدول٥). کلروفیل و پرولین هر دو از پیش‌ماده گلوتامات به‌وجود می‌آیند. در شرایط خشکی میزان پرولین برگ افزایش پیدا می‌کند و شاید یکی از دلایل کاهش میزان کلروفیل، افزایش سنتز پرولین باشد (Farooq *et al*., 2009). محتوای رنگیزه‌ها معمولاً به‌وسیله سنتز مقدار کم‌تر آن‌ها و تجزیه سریع آن‌ها طی تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد (Fang Lan *et al*., 2011). Demir (2004) نشان داد که همزیستی مایکوریزایی سبب افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های گیاه فلفل می‌شود. ازآنجایی‌که قارچ‌های مایکوریزا به جذب منیزیم در گیاه کمک می‌کنند، می‌توانند سنتز کلروفیل را افزایش دهند (Giri *et al*., 2002).

جدول ٤. مقایسه میانگین وزن خشک، کلروفیل کل، پروتئین کل و مالون‌دی‌آلدهید تحت تأثیر سطح تنش و کاربرد قارچ مایکوریزا

سطح تنش	قارچ مایکوریزا	صفت				
		وزن خشک کل (g)	وزن خشک ریشه (g)	کلروفیل کل (mg mL^{-1})	پروتئین کل (mg g^{-1}FM)	مالون‌دی‌آلدهید (nmol g^{-1}FM)
شاهد	شاهد بدون کود	١/٠١٥±٠/٠٤٠ c	٠/١٠٥±٠/٠١٥ d	٠/٨٩٢±٠/٠٨٥ cd	١/٠٣٠±٠/٠٣٧ b	٢/٢٣٦±٠/١١٤ c
	F. mosseae	٢/٣٧٤±٠/١٧٢ a	٠/١٩٩±٠/٠١٨ b	١/٢١٤±٠/٢٧٨ bc	١/٣٥٧±٠/٠٥٦ a	٢/٥٩٠±٠/٦٢١ c
	S. hoi	٢/٥٠٥±٠/٢٠٥ a	٠/١٩٠±٠/٠٢٦ b	١/٩٠٩±٠/٠٧٦ a	١/٣٢٢±٠/٠٦٨ a	٢/٢٢٩±٠/٤٩٦ c
	R. irregularis	٢/٤٢٥±٠/١٦٧ a	٠/١٤٤±٠/٠١٤ bc	٠/٩٤١±٠/١٩ bcd	١/٣٥٩±٠/٠٧٠ a	٢/٥٠٥±٠/٣٧٣ c
تنش متوسط	شاهد بدون کود	٠/٨٤٩±٠/٠٣١ d	٠/١٢٤±٠/٠١٢ c	٠/٨٥٧±٠/٠٥٢ cd	١/٢١٩±٠/٠٥١ ab	٣/٨٦٤±٠/٦٤٣ b
	F. mosseae	١/٦٠٠±٠/١٣٥ b	٠/١١٦±٠/٠١٥ cd	١/٠٩٧±٠/١٥٥ bcd	١/٢١٦±٠/١٠٩ ab	٣/٧٣٩±٠/٣١٦ b
	S. hoi	١/٥٠٨±٠/١٧٣ b	٠/١٤٧±٠/٠٢٦ bc	١/١٠٢±٠/١٩٦ bcd	١/٢٧١±٠/٠٩٢ ab	٣/٥٥٦±٠/٤٣٧ b
	R. irregularis	٢/٠٨٥±٠/١٥١ ab	٠/٢١±٠/٠٠٢ b	١/٢٤٠±٠/١٧٢ bc	١/٣٩٦±٠/٠٨١ a	٣/٥٧٧±٠/١٣٠ b
تنش شدید	شاهد بدون کود	٠/٧٣٤±٠/٠٤٦ d	٠/١٣٧±٠/٠٣١ bc	٠/٧١٥±٠/٠٧١ c	١/٢١٣±٠/١٢٥ ab	٥/٠٤٦±٠/٣٥٧ a
	F. mosseae	١/٣١٩±٠/٢١٦ bc	٠/٢٨٩±٠/٠١٧ a	١/٢١١±٠/١٨٧ bc	١/٣٨٧±٠/٠٩٤ a	٢/٧٦٥±٠/٦١٦ c
	S. hoi	١/٣٢٦±٠/٠٤٧ bc	٠/٢٧٢±٠/٠١٧ a	١/١٥٢±٠/٢٣٧ bc	١/٣٥٦±٠/١٥٥ a	٤/٤٥٢±٠/٦٨١ ab
	R. irregularis	١/١٦٧±٠/١٦ c	٠/٣٠٩±٠/٠٠٨ a	١/٣٤٩±٠/١٩٤ b	١/٣٤٣±٠/٠٩٧ a	٣/١٠٠±٠/٨٥٨ bc

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون با یکدیگر طبق آزمون دانکن در سطح ٥ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین کلروفیل کل و اسکوربات پراکسیداز تحت تاثیر کاربرد قارچ مایکوریزا و رقم نخود

کاربرد قارچ مایکوریزا	کلروفیل کل (mg mL^{-1})		اسکوربات پراکسیداز (mmol ascorbate oxidized mg^{-1}min^{-1})	
	پیروز	ILC-482	پیروز	ILC-482
شاهد بدون کود	۰/۸۵۷±۰/۰۴۲ ^{c}	۰/۷۱۵±۰/۰۶۱ ^{c}	۶۱/۴۰۱±۱۱/۸^{c}	۸۵/۴۸±۲۳/۰۱^{bc}
F. mosseae	۱/۰۹۷±۰/۱۳۳ ^{bc}	۱/۴۲۰±۰/۱۱۷ ^{a}	۱۲۹/۹۵±۲۰/۷۴^{a}	۱۱۷/۸۳۵±۱۷/۴۳^{a}
S. hoi	۱/۱۰۲±۰/۱۷۳ ^{bc}	۱/۴۵۲±۰/۲۳۰ ^{a}	۹۴/۲±۱۳/۲۰^{b}	۱۰۱/۶۲±۲۵/۹۱^{ab}
R. irregularis	۱/۱۳۰±۰/۱۵۲ ^{bc}	۱/۲۴۹±۰/۱۲۴ ^{b}	۸۴/۴۰۵±۲۱/۱^{bc}	۹۰/۴۸±۲۰/۱۳^{bc}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون با یکدیگر طبق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

۳. ٤. کاروتنوئید

اثر مایکوریزا بر میزان کاروتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۲). در اثر کاربرد قارچ مایکوریزا میزان کاروتنوئید افزایش یافت و بیش‌ترین میزان آن با کاربرد *R. irregularis* حاصل شد، اما تفاوت معنی‌داری با سایر گونه‌های مایکوریزا نداشت (جدول ٦). از آنجایی‌که هر مولکول کاروتنوئید یک زنجیره بلند هیدروکربنی اشباع نشده است، نیتروژن نقش اساسی در ساختار آن ایفا می‌کند (Hopkins, 2004). بنابراین کاربرد کودهای زیستی حاوی نیتروژن و فسفر در این پژوهش، از طریق افزایش جذب نیتروژن موجب افزایش میزان کاروتنوئید در نخود شد. گزارش شده که در گیاهان گوجه‌فرنگی تلقیح‌شده با قارچ مایکوریزا محتوای کاروتنوئید افزایش یافته است (Abdel Latef & chaoxing, 2011).

۳. ۵. محتوای پروتئین

محتوای پروتئین محلول گیاه نخود تحت تأثیر اثر متقابل سطح تنش× کاربرد قارچ مایکوریزا قرار گرفت (جدول۲). تحت شرایط عدم تنش (شاهد) تلقیح گیاه با مایکوریزا باعث افزایش معنی‌دار محتوای پروتئین محلول گیاه نخود شد و تفاوت معنی‌داری بین گونه‌های مایکوریزا مشاهده نشد. تحت شرایط تنش متوسط و شدید کاربرد مایکوریزا باعث افزایش محتوای پروتئین کل شد، اما اختلاف معنی‌داری بین گیاهان تلقیح‌شده و تلقیح‌نشده با مایکوریزا به لحاظ صفت مذکور مشاهده نشد (جدول ٤). در ارقام نخود تحت تنش خشکی در مراحل رشد رویشی و زایشی کاهش محتوی پروتئین مشاهده شده است (Mafakheri *et al*., 2011). کاهش در غلظت پروتئین یک نشانه معمول از تنش اکسیداتیواست و در گیاهان قرار گرفته در معرض تنش خشکی مشاهده می‌شود (Mafakheri *et al*., 2011).

۳. ٦. محتوای پرولین

اثر سطح تنش روی میزان پرولین معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش میزان تنش خشکی محتوی پرولین برگ گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد به‌طوری‌که به‌ترتیب بیش‌ترین (۱۵/۴۲ میلی‌گرم بر وزن خشک) و کم‌ترین (۱۵/۸۲ میلی‌گرم بر وزن خشک) محتوای پرولین در تیمار تنش شدید و شاهد مشاهده شد (جدول ۷). افزایش میزان پرولین در اثر تنش خشکی در گیاهان دیگر نیز گزارش شده است (Kheirizadeh Arough *et al*., 2016). Mehrabi (2007) در مطالعه روی کنجد نشان داد که در اثر تنش شدید کم‌آبی میزان پرولین افزایش می‌یابد. علل تجمع پرولین در گیاهان تحت تنش خشکی به‌دلیل کاهش اکسیداسیون آن به گلوتامات و کاهش مصرف پرولین در ساخته‌شدن پروتئین‌ها (به‌خاطر توقف رشد گیاه) می‌باشد (Stewart & Hanson, 1980).

جدول ٦. مقایسه میانگین کاروتنوئید و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز تحت تاثر کاربرد قارچ مایکوریزا

کاربرد قارچ مایکوریزا	کاروتنوئید (mg/mL)	پراکسیداز (unit mg protein^{-1}min^{-1})	پلی‌فنل اکسیداز (unit mg protein^{-1}min^{-1})
شاهد بدون کود	۰/۲٦۳±۰/۰٦۱ ^{b}	۲/۳٥۲±۰/۲۳^{c}	۸/۷۰۲±۳/۰۱^{b}
F. mosseae	۰/۳۳۷±۰/۰۱۷ ^{ab}	٤/۱۰۸±۰/٤۹^{a}	۲۰/۲٦±۲/٤۳^{a}
S. hoi	۰/۳۳۹±۰/۰۳۰ ^{ab}	۳/٥٥٦±۰/۷٦^{ab}	۱۹/۳٥±۲/۷۱^{a}
R. irregularis	۰/۳۸٥±۰/۰۲٤ ^{a}	۳/۱۱۱±۰/۱۹^{ab}	۲۰/٤۲۱±۲/۱٦^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون با یکدیگر طبق آزمون دانکن در سطح ٥ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۷. مقایسه میانگین میزان پرولین تحت تأثیر سطح تنش

سطح تنش	محتوی پرولین (mg dw^{-1})
شاهد	۱۰/٤۲±۱/۰۳^{b}
تنش متوسط	۱۳/۱٤±۱ /٤۹^{a}
تنش شدید	۱٥/۸۲±۲/۰۹^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون با یکدیگر طبق آزمون دانکن در سطح ٥ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

با تجمع پرولین به‌عنوان اسمولیت غیرسمی، پتانسیل اسمزی واکوئل‌ها کاهش می‌یابد و تحمل گیاه در برابر تنش افزایش می‌یابد که پرولین تجمع‌یافته تحت تنش‌های محیطی، واکنش‌های بیوشیمیایی را محدود نمی‌کند و طی تنش اسمزی نقش یک محافظ اسمزی را ایفا می‌کند (Cicek & Cakirlar, 2002).

۳. ۷. آنزیم پراکسیداز

اثرات ساده سطح تنش، رقم و کاربرد قارچ مایکوریزا و اثر متقابل آبیاری× رقم بر آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۲). فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تأثیر کاربرد قارچ مایکوریزا قرار گرفت به طوری که گیاهان تلقیح‌شده با گونه *F. mosseae* بیش‌ترین و عدم تلقیح با مایکوریزا کم‌ترین میزان فعالیت پراکسیداز را دارا بودند (جدول ٦). سطوح مختلف آبیاری اثرات متفاوتی بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در ارقام نخود داشتند. در رقم پیروز گیاهان تحت شرایط تنش خشکی از فعالیت آنزیم پراکسیداز بیش‌تری در مقایسه با گیاهانی که در تیمار شاهد قرار داشتند، برخوردار بودند. بین گیاهان تحت شرایط تنش متوسط و شدید از لحاظ میزان فعالیت پراکسیداز اختلاف قابل‌توجهی مشاهده نشد. در رقم ILC-482 بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش شدید مشاهده شد که تقریباً نسبت به تیمار عدم تنش دو برابر افزایش یافت (جدول ۳). گیاهان در شرایط تنش خشکی گونه‌های اکسیژن فعال تولید می‌کنند. یکی از راه‌های کاهش آثار گونه‌های اکسیژن فعال تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است که در این میان کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددسموتاز و گایاکول‌پراکسیداز از مهم‌ترین آنزیم‌های زداینده پراکسید هیدروژن هستند (Agarwal & Pandey, 2004).

۳. ۸. آنزیم کاتالاز

اثر سطح تنش و اثر متقابل سطح تنش× رقم بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود (جدول ۲). میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش شدید در مقایسه با تنش متوسط و عدم تنش خشکی تا ۳۷ و ۷۱/۹ درصد در رقم پیروز و تا ٦۹/٤ و ۸۲/٦ درصد در رقم ILC-482 افزایش پیدا کرد (جدول ۳). در حالت تنش خشکی میزان بیش‌تری از

رادیکال‌های آزاد تولید می‌شوند و گیاه برای مقابله با اثرات زیان‌آور آن‌ها آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بیش‌تری تولید می‌کند (Abrishamchi *et al*., 2013). Celina *et al*. (2004) نیز نشان دادند که تحت تأثیر تنش خشکی فعالیت آنزیم کاتالاز در گندم افزایش می‌یابد. Jung (2004) گزارش کرد که افزایش هم‌زمان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در مراحل آخر رشد گیاه موجب کاهش رادیکال‌های آزاد و لذا افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی می‌شود. در آزمایش دیگری بالابودن سطح کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در ارقام حساس گندم در برابر تنش خشکی گزارش شده است (Feng *et al*., 2004). تحت شرایط تنش شدید میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم ILC-482 بیش‌تر از پیروز بود. هرچند در سایر سطوح آبیاری تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد مطالعه از لحاظ میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مشاهده نشد (جدول ۳).

۳. ۹. آنزیم آسکوربات پراکسیداز

اثرات ساده سطح تنش، رقم و کاربرد قارچ مایکوریزا و اثرات متقابل سطح تنش× رقم و رقم× قارچ مایکوریزا بر آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش خشکی باعث افزایش فعالیت این آنزیم در رقم پیروز شد. در این رقم بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش متوسط و شدید مشاهد شد. در رقم ILC-482، هرچند در شرایط تنش شدید بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز مشاهده شد، اما از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین سطوح تنش شدید و متوسط وجود نداشت. در رقم پیروز و در شرایط تنش متوسط یک برتری نسبی از لحاظ میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نسبت به رقم ILC-482 مشاهده شد (جدول ۳). آسکوربات پراکسیداز در سم‌زدایی هیدروژن پراکسید تولیدشده در اثر فعالیت سوپراکسید دسموتاز نقش دارد. تنش کمبود آب باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسیددسموتاز شد (Niknam, 2014 Hasanpour). ارقام پیروز و ILC-482 واکنش متفاوتی نسبت به کاربرد و عدم کاربرد قارچ مایکوریزا به لحاظ فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز از خود نشان دادند. در رقم پیروز بیش‌تری میزان فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز در تلقیح با گونه *F. mosseae* مشاهده شد. در این رقم تفاوت معنی‌داری از لحاظ فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز بین گیاهان تلقیح‌شده با گونه‌های *S. hoi* و R. irregularis مشاهده نشد. در رقم ILC-482 بیش‌ترین فعالیت این آنزیم در تلقیح با گونه *F. mosseae* مشاهده‌شده که تفاوت معنی‌داری با گونه *G. hoi* نداشت. نخودهای تلقیح‌شده با گونه *F. mosseae* در مقایسه با نخودهای تلقیح‌نیافته از لحاظ میزان فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز از برتری نسبی برخوردار بودند (جدول ۵).

۳. ۱۰. آنزیم پلی فنل اکسیداز

اثر کاربرد قارچ مایکوریزا بر میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۲). تلقیح گیاهان نخود با مایکوریزا باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز در مقایسه با عدم تلقیح گیاهان با مایکوریزا شد. بیش‌ترین میزان فعالیت این آنزیم در گیاهان تلقیح‌شده با گونه *S. hoi* مشاهده شد، اگرچه تفاوت معنی‌داری با گیاهان تلقیح‌شده توسط گونه‌های *F. mosseae* یا *R. irregularis* نداشت (جدول ٦). Raesi *et al*. (2019) اظهار کردند که تلقیح با قارچ مایکوریزا میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی‌فنل‌اکسیداز و گایاکول‌پراکسیداز را در گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.) افزایش داد.

۳. ۱۱. مالون‌دی‌آلدهید

اثرات ساده سطح تنش و رقم و اثر متقابل سطح تنش× کاربرد قارچ مایکوریزا بر میزان مالون‌دی‌آلدهید معنی‌دار بود (جدول ۲). در گیاهان تلقیح‌نشده با مایکوریزا، با افزایش میزان تنش خشکی میزان پراکسیداسیون لیپیدها به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. در آبیاری کامل و تنش متوسط بین عدم تلقیح و تلقیح با گونه‌های قارچ مایکوریزا تفاوت معنی‌داری از لحاظ میزان مالون‌دی‌آلدهید مشاهده نشد. در تنش شدید کم‌ترین میزان مالون‌دی‌آلدهید با کاربرد گونه *F. mosseae* حاصل شد (جدول ٤). مطالعات اخیر نشان داده که اندازه‌گیری نشت الکترولیت ممکن است همبستگی با چندین پارامتر بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در پاسخ گیاهان به شرایط محیطی از قبیل سنتز آنزیم‌های ضداکسایشی، غلظت لیپیدهای غشا، کارایی استفاده از آب، مقاومت روزنه‌ای، پتانسیل اسمزی و شاخص لوله‌ای‌شدن برگ داشته باشد (Bagci *et al*., 2007). پراکسیداسیون لیپیدها از نتایج تنش خشکی است. اسیدهای چرب غیراشباع حساس‌ترین به اکسیدشدن و تخریب توسط تنش اکسیداتیو می‌باشند. این اسیدها به‌کمک اکسیژن واکنش‌گر ترکیباتی مانند مالون‌دی‌آلدهید تولید می‌کنند که برای سلول سمیت ایجاد می‌کنند. تجمع مالون‌دی‌آلدهید در شرایط تنش باعث افزایش نفوذپذیری غشای پلاسمایی می‌شود و نشت یونی افزایش می‌یابد (Pryor & Stanley, 1975).

٤. نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش کلروفیل کل گیاه نخود شد. تحت شرایط تنش متوسط و شدید تلقیح گیاه با گونه‌های مایکوریزا موجب افزایش وزن خشک، محتوای کلروفیل کل و میزان پروتئین محلول شد. در تیمار شاهد تلقیح گیاه با مایکوریزا باعث افزایش محتوای پروتئین محلول گیاه نخود شد. در شرایط تنش خشکی فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز افزایش پیدا کرد. با افزایش سطوح تنش خشکی محتوی پرولین و پراکسیداسیون لیپیدها برگ گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. کاربرد قارچ مایکوریزا موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز تحت شرایط تنش خشکی شد. گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا تحت شرایط تنش شدید میزان مالون‌دی‌آلدهید کم‌تری داشتند. بنابراین تلقیح نخود با قارچ مایکوریزا می‌تواند باعث بهبود رشد در شرایط عدم تنش و افزایش مقاومت در شرایط تنش خشکی شود.

٥. تشکر و قدردانی

از دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان جهت در اختیار قراردادن گلخانه برای انجام این آزمایش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

Abdel Latef, A.A., & Chaoxing, H. (2011). Effect of arbusculare mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzyms activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Science Direct, 127*, 228-33.

Abedi, T., & Pakniyat, H. (2010). Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 46*(1), 27-34.

Abrishamchi, P., Ganjeali, A., & Sakeni, H. (2013). Evaluation of morphological traits, proline content and antioxidant enzymes activity in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Pulses Research,* 3, 17-30.

Agarwal, S., & Pandey, V. (2004). Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in Cassia angustifolia. *Biologia Plantarum, 48*(4), 555-560.

Alipanah, A., Sirousmehr, A., Asgharipour, M., & Shahverdy, M. (2021). The effect of bio fertilizers and fertilizer and mycorrhizae parameters on yield and yield components of wheat under drought stress. *Journal of Plant Ecophysiology, 12*, 12-25.

Arriagada, C.A., Herrera, M.A. & Ocampo, J.A. (2007). Beneficial effect of saprobe and arbuscular mycorrhizal fungi on growth of Eucalyptus globules135 cocultured with *Glycine max* in soil contaminated with heavy metals. *Journal of Environmental Management, 84*(5), 93-99.

Aroca, R. (2012). Plant responses to drought stress. From morphological to molecular features. Berlim. Springer-Verlag.

Auge, R.M., Toler, H.D., & Saxton, A.M. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza,* 25(1), 13-24.

Bagci, S.A., Ekiz, H., Yilmaz, A., & Cakmak, I. (2007). Effect of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in central Anatolia. *Journal of Agronomy and Crop Science, 193*, 198-206.

Bagheri, A., Nezami, A., & Soltani M. (2000). *Psychrophiles crops modification for tolerance to stress*. The Research, Education, Promotion of Agriculture, pp 181-150. (In Persion).

Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and soil, 39*, 205-208.

Bazrafshan, J., & Khalili, A. (2013). Spatial Analysis of Meteorological Drought in Iran from 1965 to 2003. *Desert, 18*(1), 63-71.

Baylis, G. T. S. 1975. The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it, In F. E. Sanders, B. Mosse and P. B. Tinker (Eds.), 373-389. Endomycorrhizas. Springer Verlag Pub., London. PP.

Behboudian, M.H., Ma, Q., Turner, N.C., & Palta, J.A. (2001). Reactions of chickpea to water stress: yield and seed composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 81*, 1288-1291.

Bolandnazar, S., Aliasgarzad, N., Neishabury, M.R., & Chafarzadeh, N. (2007). Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficit condition. *Scientia Horticulturae, 114*, 11-15.

Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Biochemistry, 72*, 248-254.

Celina, M. L., Gabriela, M. P. & Simon, D. (2004). Drought and cat gene expression in wheat. *Journal of Experimental Botany, 56*, 417-423.

Cicek, N., & Cakirlar, H. (2002). The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulgarian Journal of Plant Physiology, 28*, 66-74.

Contour-Ansel, D., Torres-Franklin, M.L., Carvalho, M.H.C., & Zully-Fodil, Y. (2006). Glutathione reductase in leaves of cowpea: cloning of two cDNAs, expression and enzymatic under progressive drought stress, desiccation andabsscisic acid treatment. *Annales Botany, 98*, 1279-1287.

Demir, S. (2004). Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology, 28*, 85-90.

Fallah, S., Ehsanzadeh, P. & Daneshvar, M. (2005). Grain yield and yield components in three chickpea genotypes under dryland conditions with and without supplementary irrigation at different plant densities in Khorram-Abad, Lorestan. *Iranian Journal of Agricultural Science, 36* (3), 719-731. (In Persion).

Fang-Lan, L., Wei-Kai, B., & Ning, W. (2011). Morphological, anatomical and physiological responses of Campylotropis polyantha (Franch.) Schindl seedlings to progressive water stress. *Scientia Horticulturae, 127*, 436-443.

Farzaneh, M., Vierheilig, H., Lössl, A., & Kaul, H.P. (2011). Arbuscular mycorrhiza enhances nutrient uptake in chickpea. *Plant soil environment, 57*(10), 465-470.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronmy Sustainable, 29,* 185-212.

Fayyaz, F., & Talbi, R. (2009). Determination of the relationship between yield and some yield components of chickpea using path analysis. *Iranian Journal Crop Sciences, 7*(1) 141-135. (In Persion).

Feng, Z., Jin-Kui, G., Ying-Li, Y., Wen-Liang, H. & Li-in, Z. (2004). Changes in the pattern of antioxidant exzymes in wheat exposed to water deficit and rewatering. *Acta Physiologiae Plantarum, 3*, 345-352.

Fitter, A. H. 1988. Water relations of red clover Trifolium pratense L. as affected by VA mycorrhizal infection and phosphorus supply before and during drought. *Journal of Experimental Botany 39*, 595-603.

Flexas, J., Barón, M., Bota, J., Ducruet, J.M., Gallé, A., Galmés, J., Jiménez, M., Pou, A., Ribas-Carbó, M., Sajnani, C., Tomàs, M., & Medrano, H. (2009). Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted Vitis hybrid Richter-110 (V. berlandierixV. rupestris). *Journal of Experimental Botany, 60*, 2361-2377.

Ghorbanian, D., Rejali, F., Esmaeilizad, A., (2015). Effects of Mycorrhizal fungi and different levels of phosphorus on growth of *Zea mays* L. under water stress condition. *Journal of Water Research in Agriculture*, *28*, 677-689.

Giri, B., Kapoor, R., & Mukerji, K.G. (2002). VA Mycorrhizal techniques VAM technology in establishment of plants under salinity stress condition. In K.G. Mukerj., C. Manoharachary., B.P. (Eds.), *Chamola Techniques in Mycorrhizal Studies* Pp.313-327. Springer, Netherlands.

Gosling, P., Hodge, Goodlass, G. & Bending, G.D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 113*, 17-35.

Hassan Pour, H., & Niknam, V. (2014). Effects of water stress on plant growth and activity of antioxidant enzymes fragrant oregano (*Mentha pulegium* L.) at flowering stage. *Plant Process and Function Journal, 8*, 25-34.

Heath, R.L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. Kinetics and toichiometry of fatty acid peroxidation. Archives. *Biochemistry and Biophysics, 125*, 189-198.

Hopkins, W.G. (2004) *Introduction to Plant Physiology*. John Wiley and Sons, New York.

Hoseininejad, S., Masoud Sinaki, J., & Abedini, M. (2016). Effects of drought stress and mycorrhizae fungi application on yield and some agronomical and physiological characteristics of sunflower cultivars. *Applied Field Crops Research, 29*(1), 95-102.

Inskeep, W.P., & Bloom, P.R. (1985). Extraction coefficients of chlorophyll a and b in with N,N'-dimethylformamide and 80% acetone. *Plant Physiology, 77,* 483-485.

Jalota, S.K., Sood, A., & Harman, W.L. (2006). Assessing the response of chickpea (*Cicer aeritinum* L.) yield to irrigation water on two soils in Punjab (India): A simulation analysis using the CROPMAN model. *Agricultural Water Management, 79*, 312-320.

Jugran, A.K., Bahukhandi A., Dhyani, P., Bhatt, I.D., Rawal, R.S., Nandi, S.K., & Palni, L.M.S. (2015). The effect of inoculation with mycorrhize: AM on growth, composition and antiozxidant activity phenolies, tannins, phenolic in *Valeriana jatamansi* Jones. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 15*(4), 1036-1049.

Jukanti, A.K., Gaur, P.M., Gowda, C.L., & Chibbar, R.N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition, 108*, 11-26.

Jung, S. (2004). Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of Arabidopsis thaliana subjected to drought. *Plant Science, 166*, 459-466.

Kar, M., & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase and polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology, 578*, 315-319.

Kivimaenpae, M., Sutinin, S., Karlsson, P.E., & Sellde, G. (2003). Cell structural changes in the needles of Norway spruce exposed to long-term ozone and drought. *Annales Botany, 92*, 779-793.

Khalafallah, A.A., & Abo-Ghalia, H.H. (2008). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. *Journal of Applied Sciences Research, 4*, 559-569.

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghe, M., & Barmaki, M. (2016). Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in *Triticale* under salinity condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 44*, 116-124.

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., & Struik, P.C. (2011). Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(10), 1255-1260.

Mahmoudzadeh, M., Rasouli-Sadaghiani, M.H., Hassani, A., & Barin, M. (2015). The Role of Mycorrhizal Inoculation on Growth and Essential Oil of Peppermint (*Mentha piperita*). *Journal of Horticulture Science, 29*(3), 342-348.

Mehrabi, Z. (2007). *Evaluation of response of sesame genotypes to different moisture regimes using chlorophyll fluorescence, proline and some agronomic traits*. M.Sc., Dissertation, Isfahan University of Technology, Iran. 93 p. (In Persian).

Misra, A., & Srivastava, N.K. (2000). Influence of water stress on Japanese mint. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, 7*, 51-58.

Moghadasan, S., Safipour Afshar, A., & Saeid Nematpour, F. (2016). The Role of Mycorrhiza in Drought Tolerance of Marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology, 9*, 521-532.

Moshtaghi Niaki, M. (2008). *The effect of water deficit stress on some morphological and physiological characteristics of three onion (Allium cepa L.) cultivars*. M. Sc. Thesis in Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, pp. 62. (In Persian).

Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology, 22*, 867-880.

Orabi, S.A., Salman, S.R., & Shalaby, A.F. (2010) Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World Journal of Agricultural Sciences, 6*, 252- 259.

Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Roldan, A., & Azcon, R. (2015). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. *Journal of Plant Physiology*, 174, 87-96.

Padhi, E.M.T., & Ramdath, D.D. (2017). A review of the relationship between pulse consumption and reduction of cardiovascular disease risk factors. *Journal of Functional Foods, 38,* 635-643.

Pang, J., Wang, Y., Lambers, H., Tibbett, M., Siddique, K.H.M., & Ryan, M.H. (2013). Commensalism in an agroecosystem: hydraulic redistribution by deep-rooted legumes improves survival of a droughted shallow-rooted legume companion. *Physiologia Plantarum, 49*, 79-90.

Pharudi, J.A. (2010). Effect of mycorrhizal inoculation and phosphorus levels on growth and yield of wheat and maize crops grown on a phosphorus deficient sandy soil. MSc Thesis, Agriculture department, Stellenbosch University, South Africa.

Pryor, W.A., & Stanley, J.P. (1975) A suggested mechanism for the production of malonaldehyde during the antioxidation of polyunsaturated fatty acids, nonenzymatic production of prostaglandin endoperoxides during autoxidation. *Organells, 40*(24), 3615-3617.

Raesi, R., Baratali, F., & Mahdinejad, N. (2019). Evaluation of the effect of Glomus fascollaria on some morphological characteristics, photosynthetic pigments and antioxidant activity of Chicory (*Cichorium intybus* L.) under drought stress. *Environmental Strsses in Crop Sciences, 12*, 495-505.

Salehi, P., Izadpanah, M., & Calagari, M. (2014). Effects of drought on osmotic adjustment, antioxidant enzymes and pigments in wild *Achillea tinctoria* populations. *Ethno-Pharmaceutical Products, 1*, 43-54.

Shaban, M., Mansourifar, S., Ghobadi, M., & Ashrafi Parchin R. (2012). Effect of Drought Stress and Starter Nitrogen Fertilizer on Root Characteristics and Seed Yield of Four Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes. Seed and Plant Production Journal 27, 451-459.

Singh, P. K., Singh, M., & Vyas, D. (2010). Biocontrol of fusarium wilt of chickpea using arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium leguminosorum biovar. *Caryologia 63* (4), 349-353.

Sohrabi, Y., Heidari, G., Weisany, W., Ghasemi Golezani, K., & Mohammadi, K. (2012). Some physiological responses of chickpea (*Cicer aritinum* L.) cultivars to arbuscular mycorrhiza under drought stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59(6), 708-716.

Soleymani, F., & Pirzad, A.R. (2016). The effect of mycorrhizal fungi on the oxidant enzymes activity in the medicinal herb, hyssop, under water deficit conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plant, 31*, 1013-1023.

Soltanian, M., & Tadayyon, A. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on some agronomic characteristics on linseed (*Linum ussitatissimum* L.) under drought stress. *Journal of Plant Production Research, 22*(2), 1-21.

Smith, S. E. و& Read, D. J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3 rded, Academic Press, London.

Stewart, C.R., & Hanson, A.D. (1980). Proline accumulation as a metabolic response to water stress. In N.C. Turner, P.J. Kramer, (Eds.), Adaptation of Plant to Water and Temperature Stress (173-189). John Willey & Sons. New York, U.S.A.

Stutz, J.C., Beauchamp, V.B., Johnson. J., Kennedy, L.J., Richter, B.S., & Jacobson, K.M. (2009). Mycorrhizal ecology In J.C. Stromberg., B. Tellman, (Eds.), *Ecology and conservation of the San Pedro River*. University of Arizona Press. Tucson, Arizona, Pp. 73-88.

Sylvia, D.M., & Williams, S.E. (1992). Vesiculararbuscular mycorrhizae and environmental stress, In G.J. Bethlenfalvay, R.G. Linderman (Eds.), Mycorrhizae in Sustainable Agriculture (101-124). Amer Society of Agronomy, Medison Wisconsin, 124p.

Tang, M., Chen, H., Huang, G.C., & Tian, Z.Q. (2009). Am fungi effects on the growth and physiology of *Zea mays* L. seedlings under diesel stress. *Soil Biology and Biochemistry, 41*, 936- 940.

Weisany, W., Raei, Y. & Ghasemi Golezani, K. (2016). *Funneliformis mosseae* alters seed essential oil content and composition of dill in intercropping with common bean. *Industrial Crops and Products, 79*, 29-38.

Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C., & Wong, M.H. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: agreenhouse trial. *Geoderma, 125*, 155-166.

Zare Hassanabdi, M., Dashti, M., & Akhondi, M. (2020). The effect of two species of *Arbuscular Mycorrhiza* fungi on the activity of antioxidant enzymes and morphophysiological characteristics of *Mentha pulegium* L. in drought Stress. *Iranian Medicinal Plants Technology, 02*, 83-99 (in Persian).