

## اثر قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک سه ژنوتیپ زنبق آلمانی (*Iris germanica*) تحت تنش شوری

زهرا ضیایی<sup>۱</sup>، مریم دهستانی اردکانی<sup>۱\*</sup>، مصطفی شیرمردی<sup>۱</sup> و محمد حسین عظیمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، اردکان، <sup>۲</sup> گروه ژنتیک و به‌نژادی، پژوهشکده گل و گیاهان زینتی،

مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، محلات، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۳، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۲۳)

### چکیده

زنبق (*Iris spp.*) یکی از گیاهان زینتی و دارویی مهم از خانواده زنبق است. تحقیق حاضر با هدف بررسی قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک سه ژنوتیپ زنبق آلمانی تحت تنش شوری صورت گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل چهار سطح شوری (۱، ۴، ۸، ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر)، سه سطح قارچ مایکوریزا (صفر، ۱۵ و ۲۵ گرم در کیلوگرم) و سه ژنوتیپ اصلاح‌شده (*OPRC-122*، *OPRC-125*، *OPRC-S54*) بودند. با افزایش سطح شوری، وزن خشک برگ، کلروفیل a، b، کلروفیل کل و غلظت پتاسیم برگ به‌طور معنی‌داری کاهش و میزان پروتئین، فعالیت آنزیم کاتالاز و غلظت سدیم برگ افزایش یافت. در ژنوتیپ *OPRC-122* شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، استفاده از ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا، منجر به افزایش معنی‌دار (۰/۲۱ میلی‌گرم در گرم) کلروفیل a در مقایسه با شاهد و تیمار ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا گردید. همچنین در ژنوتیپ مذکور، در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، استفاده از ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا در مقایسه با شاهد و ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا، کلروفیل b را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. کاربرد از ۱۵ و ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر توانست میزان سدیم را در ژنوتیپ *OPRC-122* به ترتیب ۲۹/۷۱ و ۳۵/۵۰ درصد نسبت به شاهد کاهش دهد. کاربرد ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر در ژنوتیپ *OPRC-125* میزان پتاسیم برگ را ۱۲/۶۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. به‌طور کلی، به نظر می‌رسد که از میان سه ژنوتیپ مورد بررسی، ژنوتیپ *OPRC-122* مقاومت بیشتری به تنش نشان داده و تیمارهای قارچی در هر سه ژنوتیپ بهتر از شاهد توانستند تحمل به شوری گیاه را افزایش دهند.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، سدیم، کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی

### مقدمه

از گل‌های آنها برای اهداف زینتی استفاده می‌شود (Villasen et al., 2007). زنبق از رده تک‌لپه‌ای‌ها، جز گیاهان بومی ایران بوده و در نقاط مختلف کشور به‌صورت وحشی می‌روید (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۰). گونه‌های زنبق اهمیت دارویی

*Iris spp.* بزرگترین جنس تیره Iridaceae است که شامل بیش از ۳۰۰ گونه از گیاهان گل‌دار است. این گیاهان معمولاً در باغ‌ها و فضای سبز کشت و کار می‌شوند و

زیادی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و گلوکاتایون ردوکتاز (GR) است (Liu et al., 2014). این آنتی‌اکسیدان‌ها ROS را حذف نموده و ماکرومولکول‌ها را از آسیب محافظت می‌کنند (Liu et al., 2014). WenYuan و همکاران (۲۰۱۲) محتوای آب و خصوصیات فتوسنتزی دانه‌های *Iris lactea* var. *Chinensis* تحت تنش شوری را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در زمان تنش محتوای آب در ریشه و برگ‌های دانه‌ها تحت تنش NaCl کاهش یافت. همچنین، هدایت روزنه‌ای و محدودیت روزنه‌ای پس از اولین کاهش اندکی تغییر یافت، غلظت CO<sub>2</sub> درون سلولی قبل از تغییر افزایش یافت و شدت فتوسنتز خالص و تبخیر و تعرق مستقیماً کاهش یافت. گیاه *I. lactea* در زمان جوانه‌زنی و رشد دانه‌ها، به ترتیب در خاک حاوی ۶/۴ و ۸ گرم بر کیلوگرم نمک، رشد نرمالی نشان داد (Xu, 2004). Wang (۲۰۰۲) نشان داد که *I. lactea* گیاه دفع‌کننده نمک است زیرا دارای دو فیلتر در غشا بوده و نمک‌ها را به سمت محیط رشد خارج می‌کند یا آنها را در ریشه‌ها محدود می‌کند. بر این اساس برخی محققان این گیاه را متحمل به شوری معرفی کرده‌اند (Wang, 2002; Liu et al., 1998).

محققان به دنبال جایگزین‌های مناسب برای کودهای شیمیایی جهت افزایش تولید محصول تحت شرایط شور هستند. یکی از جایگزین‌های مهم، استفاده از قارچ مایکوریزا آربسکولار به عنوان یک کود زیستی برای کاهش اثرات مضر تنش شوری بر گیاه است (Schubler et al., 2001). قارچ مایکوریزا آربسکولار یکی از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های خاک است که می‌تواند با ریشه بیشتر گیاهان همزیستی برقرار کند. این قارچ می‌تواند موجب بهبود رشد بسیاری از گیاهان، افزایش جذب مواد غذایی (Zhang et al., 2011)، بهبود تحمل به خشکی (Auge et al., 2015)، افزایش تحمل به شوری (Evelin et al., 2009) و کاهش آسیب‌پذیری گیاه در اثر عوامل بیماری‌زا (Veresoglou and Rillig, 2012) گردد. Ait-El-Mokhtar و همکاران (۲۰۱۹) پاسخ دانه‌های نخل

بسیار زیادی داشته و در درمان سرطان، التهاب و آلودگی‌های باکتریایی و ویروسی کاربرد دارند (Rahmana et al., 2003). در کنار ارزش زینتی، این گیاه به علت مواد معطر در ریزوم‌ها دارای خواص دارویی است (Gozu et al., 1993). زنبق آلمانی به دلیل دارا بودن این خصوصیات، از گیاهان محبوب در طراحی فضای سبز بوده و در باغ‌های صخره‌ای بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار می‌گیرد (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۰).

گیاهان اغلب در معرض تنش‌های محیطی قرار دارند که این امر موجب اختلال در رشد و متابولیسم آنها می‌شود (Barnawal et al., 2014). شوری از مهم‌ترین مشکلات در بخش کشاورزی و محیط‌زیست است که رشد و نمو گیاه را خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود می‌نماید (Yaish and Kumar, 2015). افزایش صنعتی‌شدن، استفاده از آب شور برای آبیاری و تأثیر تغییرات اقلیمی این مسئله را بغرنج‌تر می‌کند (Roy et al., 2014). تخمین زده می‌شود که خاک‌های شور ۸ درصد از سطح زمین را اشغال می‌کنند و در سراسر جهان در حال گسترش هستند (Hajiboland, 2010). افزایش شوری خاک منجر به برهم‌زدن فعالیت‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مانند تعادل یون، جوانه‌زنی بذر، تنظیم اسمزی، فتوسنتز، تنفس و متابولیسم نیتروژن می‌شود (Kaya et al., 2009; Porcel et al., 2012). تنش اسمزی اولین تنشی است که در اثر افزایش یون‌های سدیم و کلر القا می‌شود. شوری همچنین تنش ثانویه‌ای به نام تنش اکسیداتیو تولید می‌کند که به علت تجمع گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (ROS) است (Noctor et al., 2014). تنش شوری تولید و تجمع گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن شامل سوپراکسید، رادیکال‌های هیدروکسیل و پراکسید را افزایش می‌دهد و آنها اثرات مخرب بر رشد و متابولیسم نرمال را القا می‌کنند (Aroca et al., 2013). جهت سمیت‌زدایی و حذف ROS تولید شده، گیاهان به سیستم‌های دفاعی مختلفی مجهز شده‌اند. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی یکی از ابتدایی‌ترین مکانیسم‌های دفاعی است که به گیاه برای مدیریت آسیب اکسیداتیو ایجاد شده، کمک می‌کند. سیستم آنزیم دفاعی شامل آنزیم‌های

از آنجا که استان یزد دارای سطح وسیعی از آب و خاک شور است لذا کشت بسیاری از گونه‌های گیاهی خصوصاً گیاهان پیازی زینتی در این استان محدود شده است. هدف از این پژوهش بررسی میزان مقاومت سه ژنوتیپ اصلاح شده زنبق به شوری و تأثیر قارچ مایکوریزا در کاهش اثر تنش بر گیاه و در نهایت معرفی بهترین ژنوتیپ به کارشناسان فضای سبز استان جهت کشت بود.

#### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر قارچ مایکوریزا آربسکولار بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک سه ژنوتیپ اصلاح شده زنبق آلمانی (*Iris germanica*) در شرایط خاک شور، آزمایشی در گلخانه دانشگاه اردکان، واقع در استان یزد، طی سال‌های ۹۷-۹۸ صورت گرفت. کشت گیاه در آذرماه ۹۷ صورت گرفت و در پایان خردادماه ۹۸ برداشت انجام شد. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل چهار سطح شوری (۱، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر)، سه سطح قارچ مایکوریزا (صفر، ۱۵ و ۲۵ گرم در کیلوگرم) و سه ژنوتیپ امیدبخش زنبق (OPRC-122, OPRC-125, OPRC-S544) بودند. در این آزمایش گلدان‌هایی که بدون تلقیح قارچ مایکوریزا و شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر بودند، به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند.

ریزوم‌ها در گلدان‌های با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و قطر دهانه ۱۹ سانتی‌متر و حجم دو لیتر که با ترکیب خاک، ماسه و کود دامی پوسیده با نسبت ۱:۱:۱ پر شده بودند، کشت شدند. ویژگی‌های فیزیولوژیکی خاک مورد استفاده در جدول ۱ بیان شده است. گلدان‌ها در گلخانه نگهداری شدند. شدت نور گلخانه در ساعت ۱۲ ظهر در محدوده ۴۰۰۰-۱۵۰۰ لوکس بود. میانگین دمای شبانه گلخانه ۲۰±۴ و میانگین دمای روزانه ۲۴±۴ درجه سانتی‌گراد حفظ شد.

قارچ مایکوریزا از شرکت زیست‌فناوری پیشتاز واریان شهرستان کرخ خریداری شد و براساس تیمارهای ذکر شده در

(*Phoenix dactylifera* L.) به شوری و نقش قارچ مایکوریزا آربسکولار را در افزایش تحمل گیاه به شوری بررسی کردند. گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده، تحت تنش شوری رشد بیشتری نشان دادند، هر چند کلونیزاسیون ریشه با قارچ مایکوریزا تحت تنش شوری کاهش یافت. در دانه‌های کلونیزه شده نارنج سه‌برگچه‌ای (*Poncirus trifoliata* L.) تحت تنش شوری در مقایسه با دانه‌های کلونیزه نشده تحت تنش شوری، به‌ویژه با ترکیب سه قارچ *G. hoi* × *G. intraradices* × *Glomus. mosseae*، میزان کلونیزاسیون، وزن خشک شاخه و ریشه، تعداد برگ، ارتفاع، تعرق و راندمان فتوشیمیایی (حداکثر بازده کوانتومی در وضعیت سازگاری به تاریکی "Fv/Fm") ارتقا یافت. تلقیح دانه‌ها با مایکوریزا، در شرایط شوری، خصوصاً استفاده از ترکیب سه قارچ، منجر به افزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز) در مقایسه با شاهد گردید. به‌طور کلی، قارچ مایکوریزا توانست دانه‌ها را در برابر شوری، از طریق افزایش رشد و کاهش آسیب اکسیداتیو، کمک کند (اثنی‌عشری و همکاران، ۱۳۹۷). دهقانی تفتی و همکاران (۱۳۹۷) اثر شوری و کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) را در شرایط مزرعه بررسی کردند. بیشترین عملکرد زیستی و دانه در شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد قارچ *Glomus intraradices* و باکتری *Pseudomonas fluorescens* به میزان ۴۵۳۹ و ۱۳۱۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. بهلولی و همکاران (۱۳۹۸) اثر سطوح مختلف شوری، اصلاح‌کننده‌های زیستی و قارچ مایکوریزا بر برخی ویژگی‌های رشدی گل مغربی (*Oenothera biennis* L.) را بررسی کردند. در هدایت الکتریکی ۴ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین ارتفاع گیاه، طول ریشه و غلظت فسفر در تیمار ۳ g/kg قارچ مایکوریزا به دست آمد. در هدایت الکتریکی ۷ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین میزان کلروفیل، ارتفاع گیاه، وزن خشک شاخساره و نسبت وزن خشک به تر در تیمار ۱/۵ g/kg قارچ مایکوریزا به دست آمد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده

| بافت         | هدایت الکتریکی<br>(دسی‌زیمنس بر متر) | pH  | کربن آلی<br>(%) | نیتروژن کل<br>(%) | فسفر قابل جذب<br>(ppm) | پتاسیم قابل جذب<br>(ppm) |
|--------------|--------------------------------------|-----|-----------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
| شنی رسی لومی | ۱/۷                                  | ۷/۸ | ۰/۵۴            | ۰/۰۵              | ۸/۵                    | ۲۳۵                      |

جدول ۲- ویژگی‌های کیفی آب مورد استفاده

| هدایت الکتریکی<br>(دسی‌زیمنس بر متر) | pH   | سدیم | کلر | کلسیم | منیزیم<br>(meq/l) | بی‌کربنات | سولفات | مواد جامد محلول کل<br>(mg/l) |
|--------------------------------------|------|------|-----|-------|-------------------|-----------|--------|------------------------------|
| ۱۲/۶                                 | ۶/۸۵ | ۶۵   | ۱۳۴ | ۷۲    | ۲۸                | ۲/۴       | ۲۹     | ۹۷۶۰                         |

در آب، آبیاری شدند. میزان رطوبت خاک گلدان‌ها در سطح ظرفیت مزرعه، قبل از انتقال گیاهان به گلدان، به کمک دستگاه صفحه فشار مدل (F1, USA) تعیین شد. آبیاری گلدان‌ها به روش وزنی انجام شد. به همین منظور نقطه ظرفیت مزرعه با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین شد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸). در ابتدا گلدان‌ها در حد ظرفیت مزرعه آبیاری شدند و زمانی که رطوبت گلدان‌ها به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه می‌رسید مجدداً آبیاری صورت می‌گرفت (این نقطه با توزین گلدان‌ها تعیین شد). جهت جلوگیری از تجمع نمک در گلدان‌ها، مقداری آب بیشتر به گلدان‌ها داده می‌شد تا نیاز آبشویی تأمین شود. برای اطمینان از این امر پس از هر نوبت آبیاری، هدایت الکتریکی زه‌آب گلدان‌ها اندازه‌گیری شد.

در پایان دوره ارتفاع، تعداد برگ سبز و تعداد انشعابات خارج شده از هر گلدان (گیاهچه‌ها) اندازه‌گیری شد. عرض برگ توسط کولیس اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، برگ‌ها در پایان آزمایش از ریزوم جدا و وزن شدند و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد.

جهت اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ (RWC)، از هر گیاه چهار قطعه برگ از قسمت‌های بالایی انتخاب شدند. پس از اندازه‌گیری وزن تر (F<sub>w</sub>)، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد در داخل آب مقطر در شرایط تاریکی قرار داده شدند تا آماس نمایند. بعد از خارج کردن برگ‌ها از آب مقطر و حذف رطوبت اضافی، وزن آماس (S<sub>w</sub>) آنها

منطقه زیر ریشه گیاه قرار گرفت. سه ژنوتیپ زنبق (-OPRC) اصلاح شده در پژوهشکده گل و گیاهان زینتی استان مرکزی محلات بودند. از زمان کشت با آب شهری (EC ۱ دسی‌زیمنس بر متر) صورت بل گرفت تا گیاهان به مرحله چهار برگی رسیدند و در اواخر اسفندماه تیمار شوری اعمال گردید. جهت اعمال تنش شوری از آب شور چاهی در منطقه چاه‌افضل در شهرستان اردکان واقع در استان یزد استفاده شد که مشخصات آن در جدول ۲ بیان شده است. برای این منظور pH توسط هدایت الکتریکی توسط EC متر اندازه‌گیری شد. یون سولفات براساس کدورت‌سنجی و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (GBC UV-Visible Spectrometer Cintra 5T ساخت استرالیا)، سدیم توسط فلیم‌فتمتر (مدل Jenway, PFP7, England)، کربنات، کلر، کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون و مواد جامد محلول کل با اندازه‌گیری مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب تعیین شد (پارقلی و آذر نشان، ۱۳۹۳). برای اجتناب از ایجاد شوک ناگهانی و پلاسمولیز، افزودن نمک‌ها به صورت تدریجی انجام و در مدت سه هفته به غلظت نهایی رسانده شد. بدین منظور، ابتدا گیاهان با تیمار ۱، و ۴ دسی‌زیمنس بر متر، آبیاری شدند و برای اعمال تیمارهای شوری با غلظت‌های ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، در مرتبه دوم گیاهان با تیمار ۸ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شدند و در نهایت در مرتبه سوم گیاهانی که قرار بود با تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تیمار شوند، با این غلظت از نمک موجود

پروتئین برگ طبق پروتکل Reuveni و همکاران (۱۹۹۵) استخراج شد. برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز مخلوط واکنش شامل بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH ۷) و هیدروژن پراکسید ۱۵ میلی‌مولار بود. واکنش با افزودن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی ۳ میلی‌لیتر آغاز گردید. تغییرات جذب در ۲۴۰ نانومتر به مدت سه دقیقه کاتالاز براساس میلی‌مولار هیدروژن پراکسید در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین ثبت شد (Dazy et al., 2008).

به منظور اندازه‌گیری میزان کلروفیل‌های a، b و کلروفیل کل، ابتدا مقدار ۰/۲۵ گرم از برگ در هاون چینی ریخته شد. ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نمونه‌ها اضافه شد و سپس محلول حاصل با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. عصاره فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای منتقل شد. مقداری از نمونه داخل بالن در کووت اسپکتروفوتومتر ریخته شد و در نهایت میزان جذب نور برای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (GBC UV-Visible Spectrometer Cintra 5T ساخت استرالیا) طبق رابطه ۳ اندازه‌گیری شد (Lichtenthaler, 1987).

رابطه ۳:

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll a} &= (12.7 \times A663 + 2.69 \times A645) \\ \text{Chlorophyll b} &= (12.9 \times A645 - 4.68 \times A663) \\ \text{Total Chlorophyll} &= 20.2 (A645) + 8.02 (A663) \end{aligned}$$

تجزیه واریانس کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

**صفات مورفولوژیک:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر شوری، ژنوتیپ، قارچ مایکوریزا و نیز اثرات متقابل آنها بر تعداد گیاهچه، تعداد و عرض برگ معنی‌دار نبود (جدول ۳). در بیشتر صفات مورفولوژیک اثرات متقابل معنی‌دار نبود که این می‌تواند به دلیل عدم وجود تفاوت معنی‌دار میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر ظاهر و مورفولوژی آنها باشد.

اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا وزن خشک ( $D_w$ ) آنها اندازه‌گیری شود. در نهایت میزان نسبی آب برگ از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (Yamasaki and Dillenburg, 1999).

رابطه ۱:

$$RWC = (F_w - D_w / S_w - D_w) \times 100$$

برای اندازه‌گیری نشت یونی نسبی، ۰/۵ گرم برگ از هر ژنوتیپ جداگانه وزن و در داخل ویال‌های شیشه‌ای ریخته شدند و ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آنها اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون شیکر با دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه قرار داده شدند و پس از ۲۴ ساعت میزان هدایت الکتریکی اولیه (LT) آنها به وسیله دستگاه EC متر دیجیتالی (مدل Metrohm 644) اندازه‌گیری شدند. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و مجدداً به مدت دو ساعت شیکر شدند و میزان هدایت الکتریکی نهایی (LO) آنها اندازه‌گیری شد و در نهایت درصد نشت یونی طبق رابطه ۲ محاسبه شد (Lutts et al., 1995).

رابطه ۲:

$$\text{درصد نشت یونی} = (LT / LO) \times 100$$

به منظور اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم، پس از اتمام دوره آزمایش، برگ‌ها جدا شدند و پس از شستشوی دقیق، به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خشک‌شدن برگ‌ها، نمونه‌ها با آسیاب برقی به صورت پودر در آورده شدند. پس از تهیه خاکستر از مواد گیاهی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، عصاره‌گیری با ۱۰ میلی‌لیتر کلریدریک اسید ۲ نرمال و آب مقطر و رساندن به حجم ۵۰ میلی‌لیتر انجام شد. در نهایت غلظت سدیم و پتاسیم در عصاره با دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل Jenway, PFP7, England) اندازه‌گیری شدند (امامی، ۱۳۷۵). اندازه‌گیری فسفر در گیاه به روش رنگ‌سنجی توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (GBC UV-Visible Spectrometer Cintra 5T ساخت استرالیا) صورت گرفت (امامی، ۱۳۷۵).

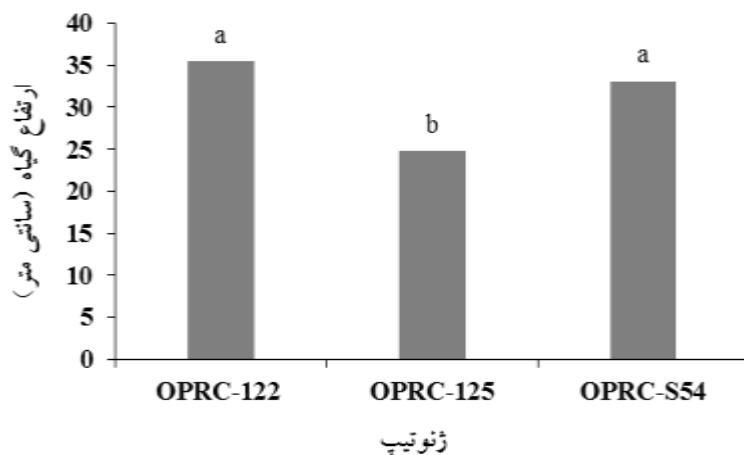
جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و یونهای فسفر، سدیم و پتاسیم برگ سه ژنوتیپ زنبق تحت سطوح مختلف تنش شوری و قارچ مایکوریزا

| منابع                | درجه آزادی | میانگین مربعات     |                      |                    |                       |                     |                    |                    |                    |
|----------------------|------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                      |            | تعداد گیاهیچه      | تعداد برگ            | عرض برگ            | ارتفاع گیاه           | وزن خشک             | فسفر               | سدیم               | پتاسیم             |
| ژنوتیپ               | ۲          | ۰/۲۲ <sup>NS</sup> | ۱۸۰/۵۵ <sup>NS</sup> | ۲/۰۱ <sup>NS</sup> | ۱۱۴۵/۵۵ <sup>**</sup> | ۱۰/۹۳ <sup>**</sup> | ۳/۵۹ <sup>*</sup>  | ۲/۹۴ <sup>NS</sup> | ۱/۱۳ <sup>*</sup>  |
| شوری                 | ۳          | ۰/۲۳ <sup>NS</sup> | ۴۰/۰۳ <sup>NS</sup>  | ۰/۸۲ <sup>NS</sup> | ۵۱۹/۶۵ <sup>NS</sup>  | ۱۱/۱۴ <sup>**</sup> | ۰/۰۷ <sup>NS</sup> | ۲/۲۶ <sup>NS</sup> | ۲/۰۷ <sup>**</sup> |
| قارچ                 | ۲          | ۰/۱۵ <sup>NS</sup> | ۵/۷۴ <sup>NS</sup>   | ۰/۳۹ <sup>NS</sup> | ۵۹۷/۹۱ <sup>NS</sup>  | ۳/۶۵ <sup>**</sup>  | ۱/۷۸ <sup>*</sup>  | ۰/۵۸ <sup>NS</sup> | ۱/۱۹ <sup>*</sup>  |
| ژنوتیپ × شوری        | ۶          | ۱/۸۲ <sup>NS</sup> | ۷۳/۲۹ <sup>NS</sup>  | ۰/۳۸ <sup>NS</sup> | ۳۷۲/۸۶ <sup>NS</sup>  | ۳/۷۲ <sup>**</sup>  | ۰/۳۹ <sup>NS</sup> | ۱/۲۹ <sup>NS</sup> | ۱/۷۱ <sup>**</sup> |
| ژنوتیپ × قارچ        | ۴          | ۰/۰۸ <sup>NS</sup> | ۵۰/۴۳ <sup>NS</sup>  | ۱/۸۱ <sup>NS</sup> | ۲۹۹/۲۳ <sup>NS</sup>  | ۰/۵۸ <sup>NS</sup>  | ۰/۸۸ <sup>NS</sup> | ۱/۲۷ <sup>NS</sup> | ۰/۳۱ <sup>NS</sup> |
| شوری × قارچ          | ۶          | ۰/۸۱ <sup>NS</sup> | ۶۸/۸۴ <sup>NS</sup>  | ۰/۳۷ <sup>NS</sup> | ۱۰۷/۵۴ <sup>NS</sup>  | ۱/۲۶ <sup>NS</sup>  | ۰/۴۲ <sup>NS</sup> | ۱/۴۹ <sup>NS</sup> | ۰/۴۰ <sup>NS</sup> |
| ژنوتیپ × شوری × قارچ | ۱۲         | ۰/۸۷ <sup>NS</sup> | ۵۶/۴۱ <sup>NS</sup>  | ۱/۰۵ <sup>NS</sup> | ۹۲/۳۳ <sup>NS</sup>   | ۰/۶۳ <sup>NS</sup>  | ۰/۶۳ <sup>NS</sup> | ۲/۰۹ <sup>*</sup>  | ۰/۸۴ <sup>**</sup> |
| خطای آزمایش          | ۷۲         | ۱/۰۶               | ۷۷/۷۳                | ۰/۷۴               | ۲۱۳/۳۸                | ۰/۶۳                | ۰/۵۰               | ۰/۹۶               | ۰/۲۹               |

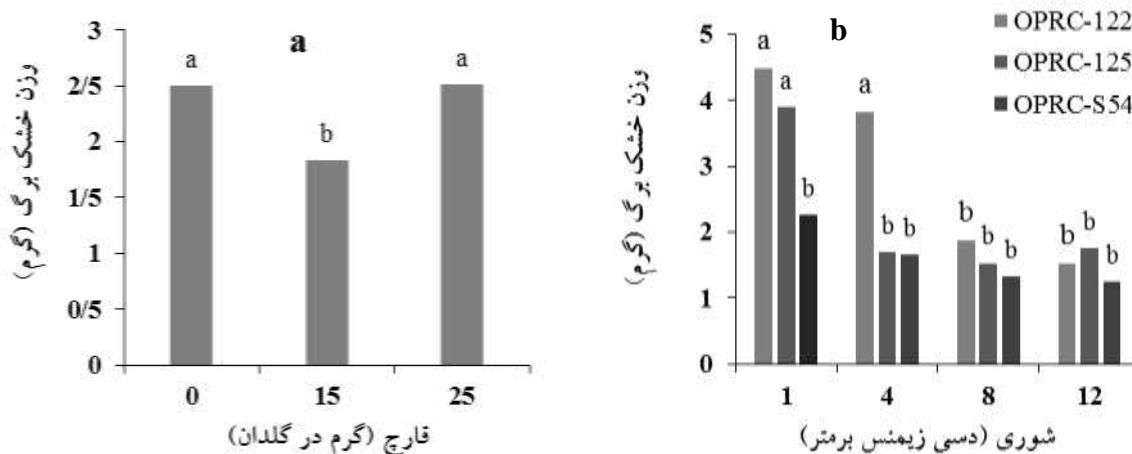
\*, \*\* و NS به ترتیب معنی دار در سطح آماری یک و پنج درصد و غیرمعنی دار است.

ژنوتیپ، شوری و قارچ و اثر متقابل ژنوتیپ و شوری در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع گیاه معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان وزن خشک برگ (۲/۵۱ و ۲/۵۰ گرم) در غلظت ۲۵ و صفر گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا و کمترین میزان آن (۱/۸۳ گرم) در غلظت ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا به دست آمد (شکل ۲a). ۲۵ گرم در گلدان قارچ مایکوریزا اثر بیشتری در افزایش وزن خشک نسبت به ۱۵ گرم قارچ نشان داد (شکل ۲a). بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و شوری نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک برگ (۴/۴۸، ۳/۹ و ۳/۸۹ گرم) به ترتیب در ژنوتیپهای OPRC-122 و OPRC-125 در شوری یک دسی‌زیمنس بر متر در ژنوتیپ OPRC-122 و شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد (شکل ۲b). نتایج حاصله با Wen-Bo و همکاران (۲۰۰۸) روی زنبق مطابقت داشت. سایر سطوح شوری و ژنوتیپها تفاوت معنی داری با یکدیگر نشان ندادند (شکل ۲b). افزایش وزن تر و خشک گیاه در اثر تلقیح با قارچ به دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه به علت افزایش سطح ریشه با هیف قارچ بیان شده است. بهبود رشد گیاهان نخود (Garg and Bhandari, 2015)، پیاز (Bolandnazar et al.,

براساس جدول تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع گیاه معنی دار بود (جدول ۳). نتایج حاصله با Wen-Bo و همکاران (۲۰۰۸) روی زنبق چینی *Iris lactea* Pall. var. *chinensis* (Fisch) Koidz. مطابقت نداشت آنها گزارش کردند که با افزایش سطح شوری، بیومس و ارتفاع، کاهش یافت. اثر شوری و قارچ و اثرات متقابل ژنوتیپ، شوری و قارچ بر ارتفاع گیاه معنی دار نبود (جدول ۳). براساس نتایج بیشترین ارتفاع گیاه (۳۵/۴۵ و ۳۳/۰۹ سانتی‌متر) در ژنوتیپهای OPRC-122 و OPRC-S54 و کمترین آن (۲۴/۸۰ سانتی‌متر) در ژنوتیپ OPRC-125 به دست آمد (شکل ۱). هر چند ژنوتیپ OPRC-122 و OPRC-S54 تفاوت معنی داری از نظر ارتفاع با یکدیگر نشان ندادند (شکل ۱). عدم وجود اختلاف معنی دار میان سطوح مختلف شوری و قارچ مایکوریزا بیان‌گر مقاومت بالای سه ژنوتیپ مورد مطالعه به شوری است. به طوری که با افزایش سطح شوری تغییری در میزان ارتفاع گیاهان مشاهده نشد و تقریباً همه گیاهان به یک اندازه رشد کردند. همچنین از نظر مورفولوژیکی میان سه ژنوتیپ مورد مطالعه تفاوت معنی داری از نظر ارتفاع وجود نداشت. وزن خشک برگ: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر ارتفاع گیاه. در هر ستون میانگین های دارای حروف متفاوت براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی دار هستند.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر قارچ مایکوریزا (a) اثر قارچ مایکوریزا و (b) اثر متقابل شوری و ژنوتیپ بر وزن خشک برگ. در هر ستون میانگین های دارای حروف متفاوت براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی دار هستند.

کندی صورت می گیرد (بیرانوند و همکاران، ۱۳۹۶). بهلولی و همکاران (۱۳۹۸) نیز نشان دادند که با افزایش سطح شوری، وزن خشک گل های مغربی به طور معنی داری کاهش یافت.

**غلظت پروتئین و فعالیت آنزیم کاتالاز:** نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ و شوری بر میزان پروتئین و فعالیت آنزیم کاتالاز معنی دار بود (جدول ۴). در حالی که شوری و اثرات متقابل شوری، ژنوتیپ و قارچ بر میزان پروتئین و فعالیت آنزیم کاتالاز اثر معنی داری نشان نداد (جدول ۴). اثر سه گانه ژنوتیپ، شوری و قارچ مایکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر میزان پروتئین معنی دار بود

(سورگوم (دهقانی تفتی و همکاران، ۱۳۹۷) و شمعدانی معطر (بیرانوند و همکاران، ۱۳۹۶) در گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا تحت تنش شوری گزارش شده است.

با توجه به اینکه یکی از آثار تنش شوری جلوگیری از جذب آب و ایجاد تنش خشکی است، به همین دلیل، پتانسیل آب جهت آماس سلول ها کاهش می یابد و در نتیجه وزن گیاه کم می شود. از طرفی، در غلظت های زیاد نمک، یون های سدیم و کلر باعث مسمومیت گیاه شده و فعالیت فتوسنتزی گیاه را مختل می کنند. بدین ترتیب، مواد غذایی لازم برای رشد و نمو سلول ها فراهم نشده و رشد به

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک سه ژنوتیپ زنبق تحت سطوح مختلف تنش شوری و قارچ میکوریزا

| منابع                | درجه آزادی | میانگین مربعات      |                    |         |        |        | پروتئین               | کاتالاز               | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | RWC | نشت یونی |
|----------------------|------------|---------------------|--------------------|---------|--------|--------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------|-----|----------|
|                      |            |                     |                    |         |        |        |                       |                       |           |           |            |     |          |
| ژنوتیپ               | ۲          | ۰/۰۴**              | ۳/۳۷*              | ۰/۱۱**  | ۰/۰۹** | ۰/۲۹** | ۴۴۱۲/۶۷**             | ۶۱۳۲/۴**              |           |           |            |     |          |
| شوری                 | ۳          | ۰/۰۱*               | ۴/۰۳*              | ۰/۰۶**  | ۰/۱۱** | ۰/۲۰** | ۸۴۸/۴۲ <sup>ns</sup>  | ۱۰۱۸/۰۸ <sup>ns</sup> |           |           |            |     |          |
| قارچ                 | ۲          | ۰/۰۱ <sup>ns</sup>  | ۲/۵۳ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۲** | ۰/۰۱** | ۰/۰۲** | ۴۴۱۱/۷۶**             | ۵۱۲۶/۰۲*              |           |           |            |     |          |
| ژنوتیپ × شوری        | ۶          | ۰/۰۱ <sup>ns</sup>  | ۰/۹۷ <sup>ns</sup> | ۰/۰۲**  | ۰/۰۸** | ۰/۰۸** | ۱۲۰۳/۳۰ <sup>ns</sup> | ۱۳۶۳/۷۹ <sup>ns</sup> |           |           |            |     |          |
| ژنوتیپ × قارچ        | ۴          | ۰/۰۰۷ <sup>ns</sup> | ۲/۴۴ <sup>ns</sup> | ۰/۰۲**  | ۰/۰۸** | ۰/۱۱** | ۶۳۲/۳۶ <sup>ns</sup>  | ۲۹۹۲/۴۱*              |           |           |            |     |          |
| شوری × قارچ          | ۶          | ۰/۰۱ <sup>ns</sup>  | ۰/۹۶ <sup>ns</sup> | ۰/۰۹**  | ۰/۰۸** | ۰/۱۱** | ۴۴۸/۴۴ <sup>ns</sup>  | ۶۳۶/۶۰ <sup>ns</sup>  |           |           |            |     |          |
| ژنوتیپ × قارچ × شوری | ۱۲         | ۰/۰۱*               | ۱/۵۲ <sup>ns</sup> | ۰/۱۴**  | ۰/۱۲** | ۰/۲۴** | ۸۹۱/۲۶ <sup>ns</sup>  | ۱۴۲۴/۵۵ <sup>ns</sup> |           |           |            |     |          |
| خطا                  | ۷۲         | ۰/۰۰۵               | ۰/۹۷               | ۰/۰۰۰۲  | ۰/۰۰۱۸ | ۰/۰۰۱۱ | ۷۵۱/۸۸                | ۱۱۲۰/۳۷               |           |           |            |     |          |

\*\*، \* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و غیرمعنی دار است.

(*al.*, 2005). به بیان دیگر افزایش میزان پروتئین احتمالاً به علت افزایش سنتز پروتئین های جدید ناشی از بروز ژن های مقاومت به تنش و یا کاهش فعالیت آنزیم های تجزیه کننده پروتئین است. افزایش پروتئین در گیاه گندم توسط توکلی و همکاران (۱۳۹۵) نیز گزارش شده است.

میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر به طور معنی داری افزایش یافت به طوری که فعالیت آن ۳۷۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۳a). سایر سطوح شوری تفاوت معنی داری با یکدیگر در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز نشان ندادند (شکل ۳a). میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در ژنوتیپ OPRC-125 به طور معنی داری نسبت به OPRC-S54 بالاتر بود اما فعالیت آنزیم کاتالاز در ژنوتیپ OPRC-122 تفاوت معنی داری با دو ژنوتیپ دیگر نشان نداد (شکل ۳b). تحمل به تنش شوری و خشکی در گیاهان عالی با تغییر در فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی ارتباط دارد. آنزیم کاتالاز از حذف کنندگان مهم هیدروژن پراکسید است. عابدینی و حبیبی چهاربرج (۱۳۹۶) نیز افزایش قابل توجه فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش شوری در انگور رقم "فزل اوزوم" مشاهده کردند. فعالیت آنزیم های سیستم آنتی اکسیدانی گیاهان در شرایط شوری پدیده ای معمول برای سمیت زدایی گونه های فعال اکسیژن است که در شرایط تنش زا بیشتر تولید می شوند.

(جدول ۴). بیشترین میزان پروتئین (۰/۶۹ میلی گرم بر گرم وزن تر) در ژنوتیپ OPRC-122، شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر و تیمار ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ میکوریزا به دست آمد (جدول ۵). استفاده از ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ میکوریزا در ژنوتیپ OPRC-122 میزان پروتئین را ۶۸/۲۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). همچنین استفاده از ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ میکوریزا در شوری ۸ دسی زیمنس بر توانست میزان پروتئین را نسبت به شاهد در در ژنوتیپ OPRC-122 ۱۰ درصد افزایش دهد اما سایر سطوح شوری و قارچ نتوانستند موجب تفاوت معنی دار در میزان پروتئین تولیدی برگ شوند (جدول ۵). گزارش شده است که به احتمال زیاد تشکیل پروتئین به جهت تنظیم اسمزی و در نهایت ممانعت از کاهش آب گیاه باشد (Parida and Das, 2004). زمانی که گیاهان در معرض تنش شوری قرار می گیرند، در سطوح مختلف سلولی و یا مولکولی به تنش پاسخ می دهند. الگوی تولید بسیاری از پروتئین ها در پاسخ به کاهش آب گیاه تغییر می نماید که از جمله این پروتئین ها، پروتئین های درگیر در مسیرهای سیگنالی تنش، پروتئین های مخصوص سم زدایی تنش اکسیداتیو و پروتئین های با اعمال غیرمستقیم با تنش هستند. به طور کلی، پاسخ های گیاه برای بقای تعادل، سم زدایی مواد مضر و بازگشت رشد است (Hajheidari et

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سه گانه ژنوتیپ در شوری در قارچ مایکوریزا بر صفات فیزیولوژیک سه ژنوتیپ زنبق

| ژنوتیپ   | شوری<br>(دسی‌زیمنس بر متر) | قارچ مایکوریزا<br>(گرم در کیلوگرم) | پروتئین<br>(mg.g <sup>-1</sup> fw) | کلروفیل a<br>(mg.g <sup>-1</sup> ) | کلروفیل b<br>(mg.g <sup>-1</sup> ) | کلروفیل کل         | سدیم<br>(%)          | پتاسیم              |
|----------|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| OPRC-122 | ۱                          | .                                  | ۰/۴۳ <sup>c</sup>                  | ۰/۳۹ <sup>d</sup>                  | ۰/۲۵ <sup>fg</sup>                 | ۰/۸۴ <sup>b</sup>  | ۰/۹۶ <sup>ch</sup>   | ۳/۲۶ <sup>af</sup>  |
|          | ۴                          | .                                  | ۰/۴۳ <sup>c</sup>                  | ۰/۲۹ <sup>e</sup>                  | ۰/۶۲ <sup>b</sup>                  | ۰/۴۷ <sup>gh</sup> | ۱/۰۱ <sup>ch</sup>   | ۲/۱۲ <sup>jn</sup>  |
|          | ۸                          | .                                  | ۰/۴۶ <sup>c</sup>                  | ۰/۲۰ <sup>g</sup>                  | ۰/۰۱ <sup>n</sup>                  | ۰/۳۲ <sup>jk</sup> | ۲/۷۶ <sup>ae</sup>   | ۱/۷۵ <sup>ln</sup>  |
|          | ۱۲                         | .                                  | ۰/۴۱ <sup>c</sup>                  | ۰/۰۷ <sup>i</sup>                  | ۰/۰۲ <sup>lmn</sup>                | ۰/۰۸ <sup>n</sup>  | ۲/۸۱ <sup>abcd</sup> | ۱/۵۴ <sup>n</sup>   |
|          | ۱                          | ۱۵                                 | ۰/۴۰ <sup>c</sup>                  | ۰/۴۵ <sup>b</sup>                  | ۰/۳۲ <sup>ef</sup>                 | ۰/۹۰ <sup>a</sup>  | ۰/۴۷ <sup>gh</sup>   | ۳/۵۷ <sup>ad</sup>  |
|          | ۴                          | ۱۵                                 | ۰/۴۳ <sup>c</sup>                  | ۰/۴۴ <sup>bc</sup>                 | ۰/۲۱ <sup>gh</sup>                 | ۰/۵۴ <sup>de</sup> | ۱/۴۵ <sup>bh</sup>   | ۳/۱۱ <sup>bg</sup>  |
|          | ۸                          | ۱۵                                 | ۰/۴۳ <sup>c</sup>                  | ۰/۲۱ <sup>fg</sup>                 | ۰/۱۸ <sup>ghi</sup>                | ۰/۱۸ <sup>l</sup>  | ۱/۹۴ <sup>bh</sup>   | ۲/۱۷ <sup>in</sup>  |
|          | ۱۲                         | ۱۵                                 | ۰/۶۹ <sup>a</sup>                  | ۰/۰۵ <sup>ijk</sup>                | ۰/۰۱ <sup>n</sup>                  | ۰/۰۵ <sup>n</sup>  | ۲/۵۹ <sup>ag</sup>   | ۱/۶۹ <sup>ln</sup>  |
|          | ۱                          | ۲۵                                 | ۰/۴۳ <sup>c</sup>                  | ۰/۵۳ <sup>a</sup>                  | ۰/۱۳ <sup>ijk</sup>                | ۰/۵۷ <sup>d</sup>  | ۰/۳۹ <sup>h</sup>    | ۳/۷۳ <sup>abc</sup> |
|          | ۴                          | ۲۵                                 | ۰/۴۳ <sup>c</sup>                  | ۰/۲۳ <sup>f</sup>                  | ۰/۰۴ <sup>lmn</sup>                | ۰/۲۱ <sup>l</sup>  | ۰/۶۹ <sup>dh</sup>   | ۳/۱۱ <sup>bg</sup>  |
|          | ۸                          | ۲۵                                 | ۰/۵۶ <sup>b</sup>                  | ۰/۰۳۰ <sup>jk</sup>                | ۰/۰۲ <sup>mn</sup>                 | ۰/۰۵ <sup>n</sup>  | ۱/۷۸ <sup>bh</sup>   | ۲/۱۶ <sup>in</sup>  |
|          | ۱۲                         | ۲۵                                 | ۰/۴۳ <sup>c</sup>                  | ۰/۰۲ <sup>k</sup>                  | ۰/۰۱ <sup>n</sup>                  | ۰/۰۴ <sup>n</sup>  | ۲/۲۷ <sup>bh</sup>   | ۱/۷۶ <sup>k.n</sup> |
| OPRC-125 | ۱                          | .                                  | ۰/۴۱ <sup>c</sup>                  | ۰/۰۳ <sup>jk</sup>                 | ۰/۰۲ <sup>lmn</sup>                | ۰/۵۱ <sup>ef</sup> | ۱/۷۸ <sup>bh</sup>   | ۳/۶۴ <sup>ad</sup>  |
|          | ۴                          | .                                  | ۰/۴۱ <sup>c</sup>                  | ۰/۰۲ <sup>jk</sup>                 | ۰/۰۶ <sup>klmn</sup>               | ۰/۰۸ <sup>n</sup>  | ۱/۸۶ <sup>bh</sup>   | ۲/۹۳ <sup>di</sup>  |
|          | ۸                          | .                                  | ۰/۴۱ <sup>c</sup>                  | ۰/۰۲ <sup>k</sup>                  | ۰/۰۴ <sup>lmn</sup>                | ۰/۰۶ <sup>n</sup>  | ۲/۰۲ <sup>bh</sup>   | ۲/۷۷ <sup>ej</sup>  |
|          | ۱۲                         | .                                  | ۰/۴۱ <sup>c</sup>                  | ۰/۰۴ <sup>ijk</sup>                | ۰/۰۱ <sup>n</sup>                  | ۰/۰۴ <sup>n</sup>  | ۳/۰ <sup>ab</sup>    | ۲/۲۶ <sup>hn</sup>  |
|          | ۱                          | ۱۵                                 | ۰/۴۳ <sup>c</sup>                  | ۰/۵۰ <sup>a</sup>                  | ۰/۲۲ <sup>gh</sup>                 | ۰/۳۲ <sup>jk</sup> | ۱/۷۸ <sup>bh</sup>   | ۳/۸۷ <sup>ab</sup>  |
|          | ۴                          | ۱۵                                 | ۰/۴۱ <sup>c</sup>                  | ۰/۴۱ <sup>d</sup>                  | ۰/۱۰ <sup>ijkl</sup>               | ۰/۱۵ <sup>lm</sup> | ۱/۵۳ <sup>bh</sup>   | ۲/۹۹ <sup>ch</sup>  |
|          | ۸                          | ۱۵                                 | ۰/۴۱ <sup>c</sup>                  | ۰/۰۲ <sup>k</sup>                  | ۰/۰۳ <sup>lmn</sup>                | ۰/۰۴ <sup>n</sup>  | ۲/۰۲ <sup>bh</sup>   | ۲/۳۳ <sup>hm</sup>  |
|          | ۱۲                         | ۱۵                                 | ۰/۴۳ <sup>c</sup>                  | ۰/۰۳ <sup>jk</sup>                 | ۰/۰۳ <sup>lmn</sup>                | ۰/۰۴ <sup>n</sup>  | ۲/۹۲ <sup>abc</sup>  | ۲/۲۱ <sup>in</sup>  |
|          | ۱                          | ۲۵                                 | ۰/۴۳ <sup>c</sup>                  | ۰/۲۱ <sup>fg</sup>                 | ۰/۳۳ <sup>de</sup>                 | ۰/۴۵ <sup>g</sup>  | ۱/۰۴ <sup>ch</sup>   | ۳/۸۶ <sup>ab</sup>  |
|          | ۴                          | ۲۵                                 | ۰/۴۳ <sup>c</sup>                  | ۰/۱۳ <sup>h</sup>                  | ۰/۲۱ <sup>gh</sup>                 | ۰/۱۶ <sup>lm</sup> | ۱/۲۱ <sup>bh</sup>   | ۳/۳۳ <sup>ae</sup>  |
|          | ۸                          | ۲۵                                 | ۰/۴۰ <sup>c</sup>                  | ۰/۲۰ <sup>g</sup>                  | ۰/۰۲ <sup>lmn</sup>                | ۰/۲۰ <sup>l</sup>  | ۱/۷۸ <sup>bh</sup>   | ۳/۱۷ <sup>b f</sup> |
|          | ۱۲                         | ۲۵                                 | ۰/۴۳ <sup>c</sup>                  | ۰/۰۲ <sup>k</sup>                  | ۰/۰۵ <sup>klmn</sup>               | ۰/۰۴ <sup>n</sup>  | ۲/۶۸ <sup>af</sup>   | ۲/۵۱ <sup>fk</sup>  |

میانگین‌های دارای حروف متفاوت براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

عباسپور، (۱۳۹۴).

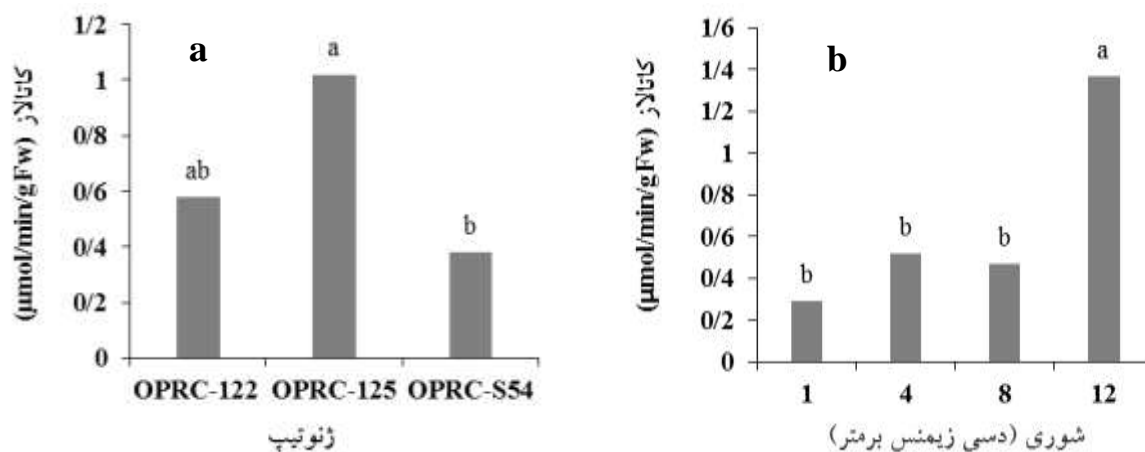
**غلظت کلروفیل a, b و کل:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر شوری، ژنوتیپ و قارچ مایکوریزا و نیز اثرات متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل a, b و کل معنی‌دار بود (جدول ۴). بررسی نتایج نشان داد که در

فعالیت آنزیم کاتالاز در یاخته گیاهی در راستای رفع سمیت گونه فعال هیدروژن پراکسید به‌عنوان محصول عمده تولیدشده توسط سوپراکسید دیسموتاز است و آن را به آب و اکسیژن تجزیه می‌کند. نقش این آنزیم در تحمل گیاه به شوری و سازگاری با این تنش حائز اهمیت است (محمدخانی و

ادامه جدول ۵-

| پتاسیم             | سدیم                | کلروفیل کل            | کلروفیل b              | کلروفیل a               | پروتئین                 | قارچ مایکوریزا<br>(گرم در<br>کیلوگرم) | شوری<br>(دسی‌زیمنس<br>برمتر) | ژنوتیپ   |
|--------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------------------|----------|
| (%)                | (%)                 | (mg.g <sup>-1</sup> ) | (mg.g <sup>-1</sup> )  | (mg.g <sup>-1</sup> fw) | (mg.g <sup>-1</sup> fw) | (گرم در<br>کیلوگرم)                   | (دسی‌زیمنس<br>برمتر)         |          |
| ۳/۰۱ <sup>ch</sup> | ۰/۹۶ <sup>ch</sup>  | ۰/۴۴ <sup>gh</sup>    | ۰/۴۶ <sup>c</sup>      | ۰/۴۲ <sup>cd</sup>      | ۰/۴۳ <sup>c</sup>       |                                       | ۱                            |          |
| ۲/۸۹ <sup>dj</sup> | ۳/۰ <sup>ab</sup>   | ۰/۳۶ <sup>ij</sup>    | ۰/۱۴ <sup>hij</sup>    | ۰/۲۳ <sup>fg</sup>      | ۰/۴۳ <sup>c</sup>       |                                       | ۴                            |          |
| ۲/۶۵ <sup>ej</sup> | ۳/۲۵ <sup>ab</sup>  | ۰/۳۲ <sup>jk</sup>    | ۰/۰۳ <sup>lmn</sup>    | ۰/۰۵ <sup>ij</sup>      | ۰/۴۱ <sup>c</sup>       |                                       | ۸                            |          |
| ۱/۵۸ <sup>mn</sup> | ۴/۵۶ <sup>a</sup>   | ۰/۰۸ <sup>n</sup>     | ۰/۰۷ <sup>klmn</sup>   | ۰/۰۳ <sup>jk</sup>      | ۰/۴۱ <sup>c</sup>       |                                       | ۱۲                           |          |
| ۳/۹۸ <sup>a</sup>  | ۰/۵۵ <sup>fgh</sup> | ۰/۴۱ <sup>ghi</sup>   | ۰/۰۴ <sup>lmn</sup>    | ۰/۳۰ <sup>e</sup>       | ۰/۴۳ <sup>c</sup>       |                                       | ۱                            |          |
| ۳/۱۲ <sup>bg</sup> | ۰/۹۶ <sup>ch</sup>  | ۰/۲۷ <sup>k</sup>     | ۰/۳۹ <sup>d</sup>      | ۰/۰۴ <sup>ijk</sup>     | ۰/۴۱ <sup>c</sup>       | ۱۵                                    | ۴                            | OPRC-S54 |
| ۲/۷۷ <sup>ej</sup> | ۱/۱۸ <sup>bh</sup>  | ۰/۰۸ <sup>n</sup>     | ۰/۰۶ <sup>klmn</sup>   | ۰/۰۴ <sup>ijk</sup>     | ۰/۴۴ <sup>c</sup>       |                                       | ۸                            |          |
| ۲/۳۵ <sup>gl</sup> | ۲/۸۱ <sup>ad</sup>  | ۰/۰۶ <sup>n</sup>     | ۰/۰۸ <sup>ijklmn</sup> | ۰/۰۳ <sup>jk</sup>      | ۰/۴۳ <sup>c</sup>       |                                       | ۱۲                           |          |
| ۳/۳۴ <sup>ae</sup> | ۰/۶۳ <sup>eh</sup>  | ۰/۷۱ <sup>c</sup>     | ۰/۷۷ <sup>a</sup>      | ۰/۲۱ <sup>fg</sup>      | ۰/۴۳ <sup>c</sup>       |                                       | ۱                            |          |
| ۲/۷۳ <sup>ej</sup> | ۱/۰۱ <sup>ch</sup>  | ۰/۳۹ <sup>hi</sup>    | ۰/۱۴ <sup>hij</sup>    | ۰/۴۲ <sup>c</sup>       | ۰/۴۳ <sup>c</sup>       | ۲۵                                    | ۴                            |          |
| ۲/۸۹ <sup>dj</sup> | ۱/۴۵ <sup>bh</sup>  | ۰/۲۰ <sup>l</sup>     | ۰/۱۰ <sup>ijklm</sup>  | ۰/۱۲ <sup>h</sup>       | ۰/۴۳ <sup>c</sup>       |                                       | ۸                            |          |
| ۲/۱۵ <sup>jn</sup> | ۱/۷۸ <sup>bh</sup>  | ۰/۱۰ <sup>mn</sup>    | ۰/۰۲ <sup>lmn</sup>    | ۰/۰۳ <sup>jk</sup>      | ۰/۴۳ <sup>c</sup>       |                                       | ۱۲                           |          |

میانگین‌های دارای حروف متفاوت براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر (a) شوری و (b) ژنوتیپ بر فعالیت آنزیم کاتالاز. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف متفاوت براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

(۰/۵۳ و ۰/۵۰ میلی‌گرم در گرم)، در ژنوتیپ OPRC-122، شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا و نیز در ژنوتیپ OPRC-125 شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا حاصل شد (جدول ۵). به‌طور کلی میزان کلروفیل a در هر دو ژنوتیپ

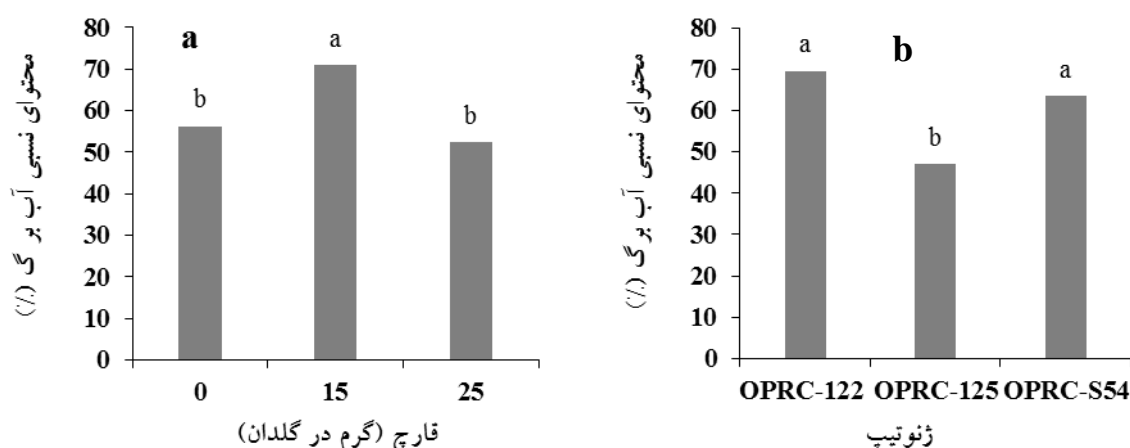
ژنوتیپ OPRC-122 با افزایش سطح شوری (هم در تیمارها و هم در شاهد)، میزان کلروفیل a به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۵). نتایج حاصله با احمدی و همکاران (۱۳۹۸) در انار و WenYuan و همکاران (۲۰۱۲) و Wen-Bo و همکاران (۲۰۰۸) روی زنبق مطابقت داشت. بیشترین میزان کلروفیل a

مایکوریزا در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر ۱۴۰ درصد کلروفیل a را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵).

همئوستازی یونی در محیط‌های تحت تنش شوری، دلیل فزونی سدیم و کلر به‌عنوان یون‌های سمیت‌زا و حلالیت شدید آنها در آب، جذب سریع و انتقال آنها با جریان تعرق است که باعث بازدارندگی از رشد و فتوسنتز و سایر فرآیندهای گیاهی می‌شود. همچنین، می‌توان کاهش کلروفیل و به‌طورکلی فتوسنتز را به کمبود یون پتاسیم در سلول‌های برگ فتوسنتزکننده در اثر تنش شوری نسبت داد (Guo and Tang, 1999). نتایج حاصل از پژوهش نیز نشان داد که با افزایش سطح شوری میزان پتاسیم در برگ کاهش یافته است. کلروپلاست نقش اساسی در اعمال بیوشیمیایی مانند تولید آمینواسیدها، اسیدهای چرب و نشاسته و همچنین نقش اساسی در پاسخ به تنش شوری ایفا می‌کند (Bonales-Alatorre et al., 2013). به‌نظر می‌رسد که دلیل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری، کاهش تولید آن از طریق اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول رنگدانه‌های فتوسنتزی و در شرایط تنش شدید به‌واسطه افزایش فعالیت کلروفیلاز و در نتیجه تجزیه کلروفیل توسط گونه‌های فعال اکسیژن به‌واسطه تجمع یون‌های سمی از جمله یون سدیم در بافت برگ باشد (Pessarakli, 1999). تلقیح با قارچ مایکوریزا به‌طور معنی‌داری میزان کلروفیل را تحت تنش شوری افزایش داد. قاسمی و زاهدی (۱۳۹۷) گزارش کردند که تلقیح با مایکوریزا موجب افزایش محتوای کلروفیل در برخی ژنوتیپ‌های سورگوم در شرایط غیرشور و کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط شور شد. که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

**محتوای نسبی آب برگ:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ و قارچ مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود (جدول ۴). اثر شوری و اثرات متقابل شوری، ژنوتیپ و قارچ بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۷۱/۰۵ درصد) در تیمار ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۲۶/۲۶ درصد محتوای نسبی آب برگ

OPRC-122 و OPRC-125 در تیمار ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا بیشتر از شاهد و ۲۵ گرم در کیلوگرم بود (جدول ۵). بیشترین میزان کلروفیل b (۰/۷۷ میلی‌گرم در گرم)، در ژنوتیپ OPRC-S54، شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا حاصل شد (جدول ۴). میزان کلروفیل b در ژنوتیپ OPRC-125 و OPRC-S54 در تیمار ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا بیشتر از شاهد و ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ بود. در حالی‌که در ژنوتیپ OPRC-122، شاهد و ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا کلروفیل b بیشتری نشان دادند (جدول ۵). بیشترین میزان کلروفیل کل (۰/۹۰ میلی‌گرم در گرم)، در رقم OPRC-122، شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا حاصل شد (جدول ۵). میزان کلروفیل کل در ژنوتیپ OPRC-122 در تیمار ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ در شوری ۱ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد و تیمار ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا بالاتر بود (جدول ۵). در ژنوتیپ‌های OPRC-125 در تیمار ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ و شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر میزان کلروفیل کل نسبت به شاهد و تیمار ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ بیشتر بود (جدول ۵). در سه ژنوتیپ مورد بررسی استفاده از قارچ مایکوریزا در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر اثر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل a و b نشان نداد، در صورتی‌که در ژنوتیپ OPRC-122 شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر، استفاده از ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا، منجر به افزایش معنی‌دار (۰/۲۱ میلی‌گرم در گرم) کلروفیل b در مقایسه با شاهد و تیمار ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا گردید. در ژنوتیپ OPRC-125 در سطوح بالای شوری (۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) استفاده از قارچ مایکوریزا تأثیری در میزان کلروفیل a, b و کل نشان نداد، در حالی‌که در سطوح پایین شوری (۱ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر) استفاده از قارچ مایکوریزا به‌طور معنی‌داری مقادیر کلروفیل را افزایش داد (جدول ۵). همچنین در ژنوتیپ OPRC-S54 استفاده از ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ



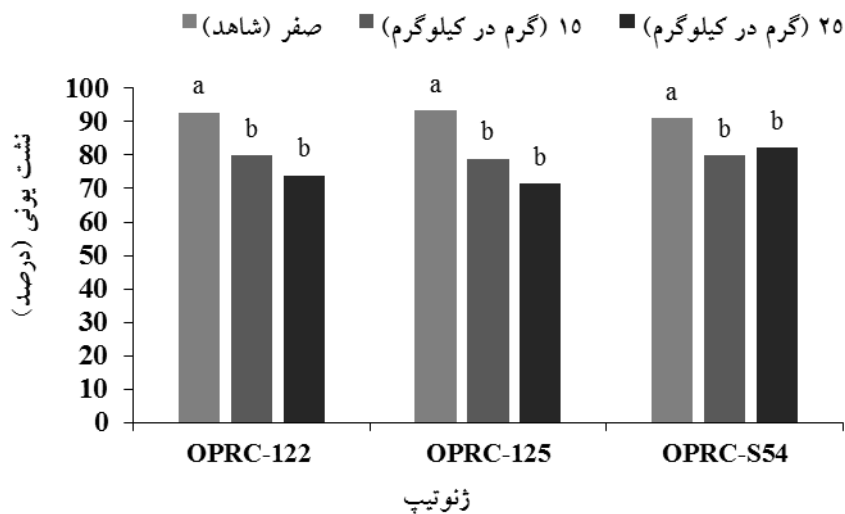
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر (a) قارچ و (b) قارچ بر محتوای نسبی آب برگ. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف متفاوت براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

ژنوتیپ‌های سورگوم افزایش یافت. اما در شرایط غیرشور تلقیح گیاهان با مایکوریزا تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ بر برخی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نداشت و حتی در برخی ژنوتیپ‌ها محتوای نسبی آب برگ در گیاهان تلقیح شده پایین‌تر بود.

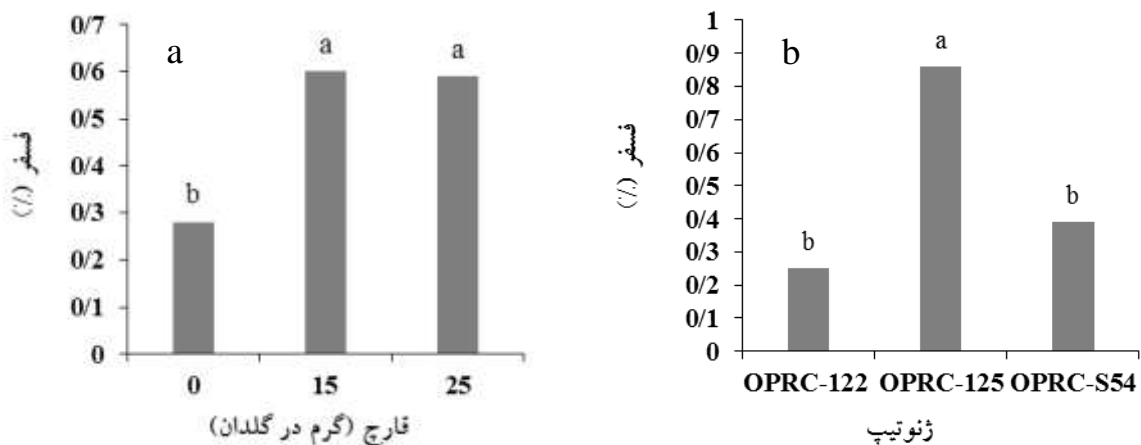
**نشت یونی:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد و اثر قارچ و اثر متقابل قارچ و ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد بر میزان نشت یونی معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که استفاده از قارچ مایکوریزا به‌طور معنی‌داری توانست میزان نشت یونی را نسبت به شاهد کاهش دهد هر چند میزان نشت یونی میان ۱۵ و ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۵). به‌طور متوسط در همه ژنوتیپ‌ها استفاده از قارچ مایکوریزا نشت یونی را ۱۶ درصد کاهش داد (شکل ۵). گزارش شده است که شاخص پایداری غشا (که به‌عنوان نشت الکترولیتی تخمین زده شده) تحت تنش شوری کاهش می‌یابد (Shi et al., 2006). کاربرد قارچ مایکوریزا سبب کاهش نشت الکترولیت در گیاه میزبان نسبت به شاهد گردید که این تغییرات بسته به گونه قارچ، با افزایش سطوح شوری، به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۲).

**فسفر:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد و اثر قارچ مایکوریزا در سطح

را افزایش داد (شکل ۴a). تیمار شاهد و ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر از نظر محتوای نسبی آب برگ نشان ندادند. محتوای نسبی آب برگ در دو ژنوتیپ OPRC-122 و OPRC-S54 به‌طور معنی‌داری از ژنوتیپ OPRC-125 بالاتر بود (شکل ۴b). محتوای نسبی آب برگ از مهم‌ترین مؤلفه‌هایی است که بیانگر وضعیت آبی گیاه است. پاسخ اولیه در گیاهان تحت تنش شوری، کاهش پتانسیل آب است که منجر به کاهش راندمان مصرف آب می‌شود. کنترل محتوای آب در بافت‌های گیاه در شرایط شوری قسمتی از فرایند مقاومت به‌شمار می‌آید (Chaum and Kirdmanee, 2009). کاهش شدید محتوای نسبی آب تحت تنش‌های شدید رخ می‌دهد و مرگ سلولی را سبب می‌شود. در پژوهش حاضر تفاوت معنی‌داری میان سطوح مختلف شوری مشاهده نشد. نتایج حاصله با احمدی و همکاران (۱۳۹۸) روی انار و بهلولی و همکاران (۱۳۹۸) روی گل مغربی مطابقت نداشت. کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط شور می‌تواند ناشی از کاهش مقدار جذب آب باشد. با این وجود، اگر در شرایط شور مقدار بیشتری از یون‌های سدیم و کلر توسط گیاه جذب شده و به آستانه مسمومیت نرسیده باشد، می‌توان انتظار داشت که گیاه بتواند آب بیشتری جذب کند (Cicek and Cakirlar, 2002). قاسمی و زاهدی (۱۳۹۷) نشان دادند که در اثر تلقیح با مایکوریزا محتوای نسبی آب برگ در شرایط شور در کلیه



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و قارچ بر میزان نشت یونی. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف متفاوت براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر (a) قارچ مایکوریزا و (b) ژنوتیپ بر غلظت فسفر. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف متفاوت براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

میزان فسفر (۰/۸۶ درصد) در ژنوتیپ OPRC-125 و کمترین میزان آن (۰/۲۵ و ۰/۳۹ درصد) در ژنوتیپ OPRC-122 و OPRC-S54 به‌دست آمد (شکل ۶b). گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا در محیط شور به‌دلیل بهبود جذب مواد غذایی به‌ویژه فسفر و یا تغییر در فیزیولوژی گیاهان ( Singh and Haragava, 1995) به تنش شوری تحمل بیشتری را نشان می‌دهند. بنابراین گیاهان مایکوریزایی‌شده وزن خشک و مقاومت به شوری بیشتری را نشان می‌دهند. می‌توان استنباط کرد که همزیستی مایکوریزایی از طریق تغذیه مناسب و افزایش

احتمال پنج درصد بر میزان فسفر معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر شوری و اثر متقابل ژنوتیپ، شوری و قارچ بر میزان فسفر معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین میزان فسفر (۰/۶۰ و ۰/۵۹ درصد) در غلظت ۱۵ و ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا و کمترین میزان آن (۰/۲۸ درصد) در شاهد به‌دست آمد (شکل ۶a). تلقیح گیاهان با قارچ مایکوریزا، ۱۱۴ درصد میزان فسفر برگ گیاه را در مقایسه با شاهد افزایش داد (شکل ۶a). میزان ۱۵ و ۲۵ گرم در کیلوگرم مایکوریزا با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۶a). براساس نتایج بیشترین

بیوماس، موجبات بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود. افزایش میزان فسفر در تیمارهای قارچی علاوه بر تأثیر همزیستی قارچ میکوریزا در افزایش سطح جذب ریشه، می‌تواند به دلیل تأثیر این قارچ‌ها در ترشح فسفات‌ها، اغزالات‌ها و تراوش یون پروتون باشد (Giri et al., 2003). یکی از مکانیسم‌هایی که احتمالاً در افزایش مقاومت گیاه به شوری توسط قارچ میکوریزا مورد توجه قرار می‌گیرد، تحریک سنتز مواد اسمتیک به‌وسیله میکوریزا است. در چندین مطالعه مشخص شده است که این قارچ‌ها روی ترکیب اسیدهای آمینه و کربوهیدرات‌های گیاهان میزبان رشد کرده در شرایط شوری تأثیر می‌گذارند (Ruiz-Lozano and Azcon, 2000).

**سدیم:** براساس نتایج تجزیه واریانس اثر سه گانه ژنوتیپ، قارچ میکوریزا و شوری در سطح احتمال پنج درصد بر میزان سدیم برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری میزان سدیم برگ افزایش یافته است (جدول ۵). نتایج حاصله با Wen-Bo و همکاران (۲۰۰۸) روی زنبق مطابقت داشت. استفاده از قارچ میکوریزا توانست غلظت سدیم را در گیاه کاهش دهد. به‌طوری‌که میزان سدیم در برگ گیاهان تیمار شده با ۱۵ و ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ میکوریزا کمتر از گیاهان شاهد بود (جدول ۵). در دو ژنوتیپ OPRC-122 و OPRC-125 تیمار ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ میکوریزا در هر چهار سطح شوری بهتر از ۱۵ گرم توانست جذب سدیم را کاهش دهد (جدول ۵)، در حالی‌که در ژنوتیپ OPRC-S54 تیمار ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ میکوریزا در سه سطح شوری ۱، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر اثر بیشتری در کاهش جذب سدیم نشان داد (هر چند در برخی موارد داده‌ها معنی‌دار نبود اما از نظر عددی کاهش نشان داد). بیشترین میزان سدیم (۴/۵۶ درصد) در ژنوتیپ OPRC-S54 و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (جدول ۵). استفاده از ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر توانست میزان سدیم را در ژنوتیپ OPRC-S54 تقریباً ۶۰ درصد نسبت به شاهد کاهش دهد. استفاده از قارچ در سطوح بالای شوری (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در دو ژنوتیپ دیگر تفاوت

معنی‌داری از نظر میزان سدیم برگ ایجاد نکرد (جدول ۵). کمترین مقدار سدیم (۰/۳۹ درصد) نیز در ژنوتیپ OPRC-122، شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ میکوریزا به‌دست آمد (جدول ۵). منصوری و همکاران (۱۳۸۶) بیان کردند که قارچ‌های میکوریزا با ننگ‌داشتن سدیم در ریشه گیاه میزبان باعث کاهش ورود آن به اندام‌های هوایی گیاه شده و از این طریق موجب مقاومت گیاه در شرایط شور می‌شوند. نتایج به‌دست آمده در این زمینه با بهلولی و همکاران (۱۳۹۸) روی گل‌مغربی مطابقت داشت.

**پتاسیم:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ و قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد و اثر شوری و اثر سه گانه شوری، قارچ میکوریزا و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر میزان پتاسیم گیاه معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش سطح شوری میزان پتاسیم کاهش یافت (جدول ۵). نتایج حاصله با Wen-Bo و همکاران (۲۰۰۸) روی زنبق مطابقت داشت. قابلیت دسترسی پتاسیم برای گیاه در خاک با کاهش محتوای آب خاک، کاهش می‌یابد که منجر به کاهش تحرک پتاسیم تحت شرایط خشکی و شوری می‌شود. بنا به نظر برخی محققان، غالبیت یون سدیم در سطوح بالای شوری از جذب پتاسیم توسط گیاه جلوگیری نموده و سبب کاهش تجمع یون پتاسیم در گیاه می‌شود (Mosali et al., 2006). استفاده از ۱۵ و ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ میکوریزا در ژنوتیپ OPRC-122، در تمام سطوح شوری توانست موجب بهبود جذب پتاسیم نسبت به شاهد گردد (جدول ۵). در ژنوتیپ OPRC-122 استفاده از ۲۵ گرم در کیلوگرم قارچ میکوریزا در تمام سطوح شوری میزان پتاسیم برگ را نسبت به شاهد افزایش داد (افزایش در تمام سطوح معنی‌دار نبود) (جدول ۵). بیشترین میزان پتاسیم (۳/۹۸ درصد) در ژنوتیپ OPRC-S54، شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ میکوریزا حاصل شد (جدول ۵). کمترین مقدار آن (۱/۵۴ درصد) نیز در ژنوتیپ OPRC-122، شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و بدون استفاده از قارچ میکوریزا (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۵). کاربرد ۱۵ گرم در کیلوگرم قارچ

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش می توان چنین نتیجه گرفت که گیاه در هنگام مواجهه با تنش شوری با ایجاد تغییر در برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و نمودی خود از جمله وزن خشک برگ، ارتفاع، فعالیت های آنزیمی و جذب عناصر غذایی، خود را با تنش سازگار نمود. براساس نتایج به دست آمده از این پژوهش با افزودن قارچ میکوریزا به بستر کشت گیاه، توانایی تحمل به شوری گیاه افزایش یافت. بنابراین کاربرد آن در خاک های شور کشاورزی توصیه می گردد.

میکوریزا در شوری ۱۲ دسی زمینس بر متر در ژنوتیپ OPRC-S54 میزان پتاسیم برگ را ۴۸/۷۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). نتایج حاصل با یافته های بهلولی و همکاران (۱۳۹۸) بر روی گل مغربی مطابقت داشت. افزایش جذب پتاسیم در گیاهان میکوریزایی در سطوح مختلف شوری و در مقایسه با گیاهان شاهد تلقیح نشده، علاوه بر افزایش سطح جذب ریشه، نتیجه تأثیر این قارچ ها بر انتقال دهنده های پتاسیم است (Rabie and Almadini, 2005).

## منابع

- اثنی عشری، م.، هادیان دلجو، م. و میرزایی اصل، ا. (۱۳۹۷) اثر همزیستی قارچ میکوریزا بر برخی از ویژگی های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نارنج سه برگچه ای (*Poncirus trifoliata* L.) تحت تنش شوری. علوم باغبانی ایران ۴۹: ۷۷۸-۷۶۹.
- احمدی، ف.، مؤمن پور، ع.، دهستانی اردکانی، م. و غلام نژاد، ج. (۱۳۹۸) پاسخ برخی از ژنوتیپ های انتخابی انار (*Punica granatum*) به شوری آب آبیاری. به زراعی کشاورزی ۲۱: ۳۲۱-۳۰۳.
- امامی، ع. (۱۳۷۵) روش های تجزیه گیاه. نشریه فنی مؤسسه تحقیقات آب و خاک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ۵۸-۲۸: ۱.
- بهلولی، م.، دهستانی اردکانی، م.، شیرمردی، م. و رزمجو، ج. (۱۳۹۸) تأثیر کودهای آلی و بیولوژیک بر برخی خصوصیات رشدی گل مغربی (*Oenothera biennis*) تحت شرایط شوری. تنش های محیطی در علوم زراعی ۱۲: ۲۸۰-۲۶۳.
- بیرانوند، م.، رضایی نژاد، ع. و حسینی، س. ز. (۱۳۹۶) تأثیر دو گونه قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices* و *Glomus mosseae*) بر برخی ویژگی های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens* L.) تحت تنش شوری. مجله علوم و فنون کشت های گلخانه ای ۸: ۱۲۱-۱۰۷.
- توکلی حسنکلو ن.، عبادی ع.، داوری م. و توکلی ح. (۱۳۹۵) تأثیر پتاسیم و نیتروژن بر مقاومت گندم به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله. تحقیقات غلات ۶: ۱۷۱-۱۵۹.
- حبیبی، س.، مسکرباشی، م. و فرزانه، م. (۱۳۹۲) تأثیر سه گونه قارچ میکوریزا (*Glomus* spp) بر شاخص های فیزیولوژیکی گندم در شرایط شور. مجله علمی کشاورزی (تولیدات گیاهی) ۳۷: ۵۲-۳۷.
- دهقانی تفتی، ا. ر.، محمودی، س.، علیخانی، ح. و صالحی، م. (۱۳۹۷) بررسی اثر شوری و کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) در شرایط مزرعه. تنش های محیطی در علوم زراعی ۱۱: ۴۳۳-۴۲۱.
- عابدینی، م. و حبیبی چهار برج، ق. (۱۳۹۶) تأثیر اسید سالیسیلیک بر برخی ویژگی های فیزیولوژیکی و زیست شیمیایی انگور رقم "فزل اوزوم" در شرایط شور و غیر شور. فرآیند و کارکرد گیاهی ۶: ۲۱۸-۲۰۷.
- عظیمی، م. ح.، مرادی عاشور، ب. و حسینی نیا، ا. (۱۳۹۰) ارزیابی تنوع ژنتیکی و وراثت پذیری برخی صفات گونه های زنبق وحشی ایران. دو فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران ۱۹: ۱۶۶-۱۵۳.
- قاسمی، م. و زاهدی، م. (۱۳۹۷) تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزا بر مقاومت به شوری ژنوتیپ های سورگوم. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۲۴: ۱۳۸-۱۲۱.

- محمدخانی، ن. و عباسپور، ن. (۱۳۹۴) پاسخ سیستم آنتی‌اکسیدانی انگور (*Vitis vinifera* L.) به شوری. یافته‌های نوین در علوم زیستی ۲ (۱): ۷۲-۶۴.
- منصوری، ح.، احمدی، م. ا. و روحانی، ن. (۱۳۸۶) پاسخ گیاهان لوبیای مایکوریزایی و غیرمایکوریزایی به تنش شوری. مجله زیست شناسی ایران ۱: ۸۸-۸۰.
- یارقلی، ب. و آذر نشان، س. (۱۳۹۳) دستورالعمل نمونه‌برداری آزمایش آب و فاضلاب. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
- Ait-El-Mokhtar, M., Laouane, R. B., Anli, M., Boutasknit, A., Wahbi, S. and Meddich, A. (2019) Use of mycorrhizal fungi in improving tolerance of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedlings to salt stress. *Scientia Horticulturae* 253: 429-438.
- Aroca, R., Ruiz-Lozano, J. M., Zamarreno angel, M., Paz, J. A., Garcia-Mina, J. M., Pozo, M. J. and Lopez-Raez, J. A. (2013) Arbuscular mycorrhizal symbiosis influences strigolactone production under salinity and alleviates salt stress in lettuce plants. *Journal of Plant Physiology* 170: 47-55.
- Auge, R. M., Toler, H. D. and 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: 13-24.
- Barnawal, D., Bharti, N., Maji, D., Chanotiya, C. S. and Kalra, A. (2014) ACC deaminase containing *Arthrobacter protophormiae* induces NaCl stress tolerance through reduced ACC oxidase activity and ethylene production resulting in improved nodulation and mycorrhization in *Pisum sativum*. *Journal of Plant Physiology* 171: 884-894.
- Bolandnazar, S., Aliasgarzad, N., Neishabury, M. R. and Chaparzade, N. (2007) Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficit condition. *Scientia Horticulturae* 114: 11-15.
- Bonales-Alatorre, E., Shabala, S., Chen, Z. H. and Pottosin, I. (2013) Reduced tonoplast fast activating and slow activating channel activity is essential for conferring salinity tolerance in a facultative halophyte, quinoa. *Journal of Plant Physiology* 162: 940-952.
- Chaum, S. and Kirdmanee, C. (2009) Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. *Pakistan Botanical Journal* 41: 87-98.
- Cicek, N. and Cakirlar, H. (2002) The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Journal of Plant Physiology* 28: 66-74.
- Dazy, M., Jung, V., Ferard, J. F. and Masfarau, J. F. (2008) Ecological recovery of vegetation on a cokefactory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. *Chemosphere* 74: 57-63.
- Evelin, H., Kapoor, R. and Giri, B. (2009) Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: A review. *Annual Botany* 104: 1263-1280.
- Garg, N. and Bhandari, P. (2015) Silicon nutrition and mycorrhizal inoculations improve growth, nutrient status,  $K^+/Na^+$  ratio and yield of *Cicer arietinum* L. genotypes under salinity stress. *Plant Growth Regulation* 371-378.
- Giri, B., Kapoor, R. and Mukerji, G. (2003) Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. *Biology and Fertility of Soil* 38: 170-175.
- Gozu Y. M., Yokoyama, M., Nakamura, R., Namba, K., Yomogida, M. and Nakamura, Y. (1993) In vitro propagation of *Iris pallid*. *Plant Cell Reports* 13: 12-16.
- Guo, F. O. and Tang, Z. C. (1999) Reduced  $Na^+$  and  $K^+$  permeability of  $K^+$  channel in plasma membrane isolated from roots of salt tolerant mutant of wheat. *Chinese Academy of Sciences* 44: 816-821.
- Hajiboland, R., Aliasgharzadeh, N., Laiegh, S. F. and Poschenrieder, C. (2010) Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Plant and Soil* 331: 313-327.
- Hajheidari, M., Abdollahian-Noghabi, M., Askari, H., Heidari, M., Sadeghian, S. Y., Ober, E. S. and Hosseini Salekdeh, Gh. (2005) Proteome analysis of sugar beetleaves under drought stress. *Proteomics* 5: 950-960.
- Kaya, C., Ashraf, M., Sonmez, O., Aydemir, S., Tuna, A. L. and Cullu, M. A. (2009) The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. *Scientia Horticulturae* (Amsterdam) 121: 1-6.
- Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophyll and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembrane. *Methods in Enzymology* 148: 350-381.
- Liu, D. F., Chen, S. H., Chen, J. W., Ao, T. G., Zhan, B. L. and Yang, S. M. (1998) Reproductive characteristics, ecological and geographical distribution of *Iris lactea* var. *chinensis*. *Journal of Inner Mongolia Institute Agricultural and Animal Husbandry* (in Chinese) 19: 1-6.
- Liu, L., Sun, H., Chen, J., Zhang, Y., Li, D. and Li, C. (2014) Effects of cadmium (Cd) on seedling growth traits and photosynthesis parameters in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant Omics* 7: 284-290.

- Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J. (1995) Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany* 46: 1843-1852.
- Mosali, J., Desta, K., Teal, R. K., Freeman, K. W., Martin, K. L., Lawles, J. W. and Raun, W. R. (2006) Effect of foliar application of phosphorus on winter wheat grain yield, phosphorus uptake, and use efficiency. *Journal of Plant Nutrition* 29: 2147-2163.
- Noctor, G., Mhamdi, A. and Foyer, C. H. (2014) The roles of reactive oxygen metabolism in drought: Not so cut and dried. *Plant Physiology* 164: 1636-1648.
- Parida, A. K. and Das, A. B. (2004) Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorous metabolism in a true mangrove *bruguieva parviflora* grown under hydroponics culture. *Plant Physiology* 161: 921-928.
- Pessarakli, M. (1999) *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker, London.
- Porcel, R., Aroca, R. and Ruiz-Lozano, J. M. (2012) Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Agronomy dor Sustainable Development* 32: 181-200.
- Rabie, G. H. and Almadani, A. M. (2005) Role of bioinoculants in development of salt tolerance of *Vicia faba* plants under salinity stress. *African Biotechnology Journal* 4: 210-222.
- Rahmana, A., Nasima, S., Baig, I., Jalil, S., Orhan, I., Sener, B. and Choudhary, M. I. (2003) Anti-inflammatory isoflavonoids from the rhizomes of *Iris germanica*. *Journal of Ethnopharmacology* 86: 177-180.
- Reuveni, M., Agapov, V. and Reuveni, R. (1995) Induced systematic protection to powdery mildew in cucumber by phosphate and potassium fertilizers: Effect of inoculum concentration and post-inoculation treatment. *Canadian Journal of Plant Pathology* 17: 245-251.
- Roy, S. J., Negrao, S., Tester, M. and Roy, S. J. (2014) Salt resistant crop plants. *Curr Opin Biotechnology* 26: 115-124.
- Ruiz-Lozano, J. M. and Azcon, R. (2000) Symbiotic efficiency and infectivity of an autochthonous arbuscular mycorrhizal *Glomus* sp. From saline soil and *Glomus deserticola* under salinity. *Mycorrhizal* 10: 137-43.
- Schubler, A., Schwarzot, D. and Walke, C. (2001) A new fungal phylum, the glomeromycota: Phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105: 1413-1421.
- Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., Ying, Q. and Qian, Q. (2006) Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Regulation* 48: 127-135.
- Singh, R. and Haragava, G. P. (1995) Response of safflower and dill to soil salinity. *Indian Journal of Agricultural Science* 65: 442-44.
- Veresoglou, S. D. and Rillig, M. C. (2012) Suppression of fungal and nematode plant pathogens through arbuscular mycorrhizal fungi. *Biology Letters* 8: 214-217.
- Villasenor, C. J., De Lucas, M. A., Gomez, G. R. and Mena, S. J. (2007) A comparative study of five horizontal subsurface flow constructed wetlands using different plant species for domestic wastewater treatment. *Environmental Technology* 28: 1333-1343.
- Wang, G. Q. (2002) Study on anatomical structure of *Iris lactea* Pall var. *chinensis* in different ecological environments. *Journal of Inner Mongolia University. Nationalities (in Chinese)* 17: 127-129.
- Wen-Bo, B., Pin-Fang, L., Bao-Guo, L., Fujiyama, H. and Fen-Cheng, F. (2008) Some physiological responses of chinese iris to salt stress. *Pedosphere* 18: 454-463.
- WenYuan, W., XiaoFeng, Y., Ying, J., Bo, Q. and YuFeng, X. (2012) Effects of salt stress on water content and photosynthetic characteristics in *Iris lactea* var. *Chinensis* seedlings. *Middle East Journal of Scientific Research* 12: 70-74.
- Xu, H. G. (2004) *China halophyte and ecology regulation on saline soils (in Chinese)*. China Agricultural Science Press, Beijing 337-359.
- Yaish, M. W. and Kumar, P. P. (2015) Salt tolerance research in date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.), past, present and future perspectives salt tolerance research in date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.), past, present, and future perspectives. *Frontiers in Plant Science* 6: 348.
- Yamasaki, S. and Dillenburg, L. C. (1999) Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia* Braz. *Journal of Plant Physiology* 11: 69-75.
- Zhang, T., Sun, Y., Song, Y. C., Tian, C. Y. and Feng, G. (2011) On-site growth response of a desert ephemeral plant, *Plantago minuta*, to indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in a central Asia desert. *Symbiosis* 55: 77-84.

## Effect of mycorrhizal fungi on some morphophysiological characteristics of three genotypes of German iris (*Iris germanica*) under salt stress

Zahra Ziaei<sup>1</sup>, Maryam Dehestani Ardakani\*<sup>1</sup>, Mostafa Shirmardi<sup>1</sup> and Mohammad Hossain Azimi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MSc. Student, Department of Horticultural Science, College of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

<sup>2</sup> Ornamental Plants Research Center (OPRC), Horticulture Sciences Research Institute (HSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mahallat, Iran  
(Received: 15/10/2019, Accepted: 12/02/2020)

### Abstract

Iris (*Iris* spp.) is one of the major ornamental and pharmaceutical plant species from Iridaceae family. The aim of this study was the investigation of the effects of mycorrhizal fungi on some morphophysiological characteristics of three genotypes of *Iris germanica* under salt stress. Experiment was conducted on a factorial and completely randomized design (CRD) with three replications. Treatments of this experiment consisted of four levels of salinity (1, 4, 8 and 12 ds/m), three levels of mycorrhizal fungi (0, 15 and 25 g/kg) and three breded genotypes of iris (OPRC-122, OPRC-125 and OPRC-S54). With increasing salinity level, dry weight of leaf, chlorophyll a, b, total chl, and potassium content of leaves significantly decreased whereas protein, catalase enzyme activity increased. In OPRC-122 genotype, 30 g/pot mycorrhizal fungi application led to a significant increase (0.21 mg/g) of chl a compared to the control and 25 g/kg mycorrhizal fungi treatment. Also, in the mentioned genotype, at salinity of 8 dS/m, application of 25 g/kg in mycorrhizal fungi compared to the control and 15 g/kg mycorrhizal fungi significantly increased chlorophyll b. Application of 15 and 25 g/kg of mycorrhizal fungi at 8 dS/m decreased the sodium content in OPRC-122 genotype by 29.71% and 35.50%, respectively. Using of 50 g/pot mycorrhizal fungi at 12 dS/m in OPRC-125 genotype increased leaf potassium content by 12.61% compared to the control. Generally, it seemed that among the three studied genotypes, OPRC-122, showed the most resistance to salinity and mycorrhizal fungi treatments better than the control could increase salt tolerance of all three genotypes.

**Keywords:** Potassium, Sodium, Chlorophyll, Relative water content of leave, Ion Leakage

Corresponding author, Email: mdehestani@ardakan.ac.ir