

تاثیر قارچ ریشه‌ای آربسکولار بر افزایش مقاومت نهال‌های UCB1 به تنش شوری

محمدحسین شمشیری^{*۱}

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰

چکیده

به منظور بررسی اثر قارچ ریشه‌ای آربسکولار بر مقاومت پایه پسته UCB1 به تنش شوری، آزمایشی گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی و بصورت فاکتوریل با دو فاکتور، قارچ-ریشه در دو سطح (با و بدون قارچ-ریشه) و شوری آب بر اساس هدایت الکتریکی در چهار سطح (۰/۵ شاهد، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی زیمنس بر متر) و پنج تکرار به اجرا در آمد. نهال‌های ۱۸ ماهه UCB1 از شرکت طوبی کرمان تهیه شد و با قارچ ریشه‌ای *Funneliformis mosseae* مایه کوبی گردید. نهال‌ها به مدت ۷۰ روز در شرایط گلخانه رشد نمودند (دمای 30 ± 3 درجه سلسیوس و میانگین رطوبت نسبی ۳۲ درصد) و پس از اطمینان از کلونیزاسیون قارچ-ریشه، به مدت دو ماه تحت تنش شوری قرار گرفتند. نتایج نشان داد شوری سبب کاهش وزن خشک، ارتفاع ساقه، تعداد و سطح برگ، محتوای آب نسبی برگ و جذب و انتقال عناصر فسفر، پتا سیم و منیزیم گردید درحالی‌که میزان پرولین و مجموع قندهای محلول برگ، سدیم و کلر برگ و ریشه را نسبت به شاهد افزایش داد. همزیستی ریشه نهال‌های UCB1 با قارچ ریشه‌ای آربسکولار به طور قابل ملاحظه‌ای اثرات زیان‌آور تنش شوری را نسبت به نهال‌های غیر همزیست کاهش داد. با افزایش سطح شوری از همزیستی قارچ-ریشه با نهال‌های پسته UCB1 کاسته شد. بر اساس نتایج بدست آمده، مایه‌کوبی نهال‌های UCB1 با قارچ-ریشه فوق سبب افزایش مقاومت آن به تنش شوری گردید.

واژه‌های کلیدی: پسته، تنش شوری، قارچ-ریشه، یوسی‌بی‌وان

^۱ عضو هیات علمی گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر "عج" رفسنجان

* نویسنده مسئول: shamshiri88@gmail.com

مقدمه

تولید پسته در ایران که یکی از محصولات صادراتی و ارزآور کشور است، یافتن راهکارهایی که امکان تولید پایدار پسته را در کشور فراهم کند بسیار حیاتی است. پژوهش‌های قابل توجهی تا کنون در زمینه ارزیابی و مقایسه پایه‌ها و ارقام پسته مقاوم به شوری در ایران و سایر کشورهای جهان انجام گردیده است (Shamshiri *et al.*, 2014; Ferguson *et al.*, 2002; Mehdi-Tounsi *et al.*, 2016; Rahnesan *et al.*, 2018). البته نتایج گزارش شده در بی‌شتر موارد مشابه نیستند به طوری که طی آزمایشات انجام شده ارقام قزوینی (Momenpour & Imani, 2018)، بادامی Ahmadi (Parsa & Karimian, 1975) اکبری (Shamshiri *et al.*, 2016) و بنه باغی (Shamshiri *et al.*, 2016) و فاتی (fattahi, 2016) به عنوان پایه‌های مقاوم به شوری معرفی گردیده‌اند. یکی از پلایه‌های مورد استفاده در آمریکا که اخیراً در ایران تکثیر و کشت می‌شود پایه UCB1 می‌باشد. این پایه حاصل دورگ‌گیری بین دو گونه آتلانتیکا^۱ به عنوان والد مادری و گونه اینتگریمما^۲ به عنوان والد پدری طی گرده‌افشانی کنترل شده است که بذر آن در دانه‌های دیویس کالیفرنیا تولید گردیده است. این پایه دارای قدرت رشد بالایی نسبت به سایر پایه‌های مرسوم در ایران می‌باشد که از این نظر شبیه به والد پدری است (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۷). پایه UCB1 در آمریکا به عنوان یک پلایه مقاوم به شوری

تنش شوری یکی از چالش‌های محیطی بسیار مهم است که سبب کاهش رشد و عملکرد محصولات کشاورزی می‌گردد. تنش شوری، رشد و نمو گیاه را با تأثیر منفی بر چندین مسیر متابولیک و فرآیندهای فیزیولوژیکی محدود می‌سازد. حضور یون‌های نمکی در منطقه ریزو سفر در درجه اول جذب آب توسط ریشه را محدود می‌کند (اثر اسمزی)، در حالی که اثرات ثانویه شوری ناشی از سمیت یون‌های نمکی و بهم خوردن تعادل در جذب برخی عناصر دیگر است که در نهایت منجر به تنش اکسایشی و در پی آن پراکسیداسیون لیپیدی غشاء سلولی و همچنین اختلال در فرآیند فتوسنتز می‌گردد (Munns & Tester, 2008).

درخت پسته یکی از گونه‌های گیاهی مقاوم نسبت به خشکی و شوری است (Tajabadipour *et al.*, 2005). بروز خشک‌سالی‌های پیوسته طی سالیان گذشته و همچنین استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی به دلیل افزایش سطح زیرکشت باغ‌های پسته در استان کرمان و بویژه منطقه رفسنجان سبب گردیده تا منابع آبی از نظر کمی و کیفی با افت قابل ملاحظه‌ای مواجه گردند که شورش شدن منابع آب زیرزمینی یکی از تأثیرگذارترین پیامدهای آن است (Shamshiri *et al.*, 2014). با توجه به اهمیت ویژه

² *Pistacia integerrima*¹ *Pistacia atlantica*

توجهی داشته باشد، در ردیف پایه‌های برتر پسته در کشور قرار گیرد، این پژوهش با هدف ارزیابی میزان افزایش مقاومت پایه UCB1 نسبت به تنش شوری با ایجاد ارتباط همزیستی با قارچ ریشه‌ای آربسکولار اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلخانه‌ای بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ ریشه‌ای آربسکولار (*Funneliformis mosseae*) در دو سطح (با و بدون قارچ) و شوری در ۴ سطح (۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) با استفاده از نمک کلرید سدیم بود. هر تیمار شامل ۵ تکرار و هر تکرار شامل یک گلدان حاوی یک نهال بود. در طول دوره آزمایش، متوسط دمای گلخانه 32 ± 3 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 55 ± 5 درصد بود.

تهیه پایه UCB1

پلیه‌های ۱۸ ماهه UCB1 حاصل از کشت بافت، از شرکت طوبی کرمان خریداری گردید. نهال‌های خریداری شده از نظر کیفیت و شرایط یکسانی قرار داشتند.

مایه کوبی نهال‌های UCB1 با قارچ ریشه‌ای

آربسکولار

مطرح می‌باشد اما در ایران علیرغم گسترش سریع آن، پژوهش‌های علمی چندانی در رابطه با درجه مقاومت آن به تنش شوری در مقایسه با پایه‌های بومی انجام نشده و در مورد حد تحمل آن به شوری تردید وجود دارد (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۷). در یکی از معدود پژوهش‌های انجام شده، مقاومت این پایه نسبت به شوری بیش از پایه‌های قزوینی و بادامی گزارش شده است (Raoufi *et al.*, 2020).

قارچ‌های ریشه‌ای آربسکولار به طور گسترده‌ای در خاک‌های شور دیده می‌شوند (Wang, 2004). گزارشات زیادی مبنی بر تاثیر همزیستی این گونه از قارچ‌ها در کاهش اثرات تنش شوری بر گیاهان مختلف وجود دارد (Porcel *et al.*, 2012) که ناشی از بهبود جذب عناصر غذایی و تعادل یونی می‌باشد (Marschner & Dell, 1994). از کاربرد قارچ‌های ریشه‌ای آربسکولار بر پسته در شرایط تنش شوری نیز چندین گزارش وجود دارد که در همه آنها برقراری ارتباط همزیستی قارچ با ریشه سبب کاهش اثرات تنش شوری گردیده است (Shamshiri & Fattahi, 2016; Shamshiri *et al.*, 2014; Shamshiri & Fattahi, 2014) با توجه به اینکه پلیه UCB1 با توجه به قدرت رشد بالاتری که نسبت به پایه‌های بومی کشور دارد، در صورتی که در برابر تنش شوری نیز مقاومت قابل

¹ Arbuscular mycorrhiza

بیش از ظرفیت مزرعه بود تا از تجمع نمک در خاک گلدان جلوگیری شود (تنظیم براساس حجم زهاب خروجی). جهت ممانعت از تجمع نمک در خاک، آبشویی گلدان‌ها هر ۱۵ روز یکبار انجام شد.

اندازه‌گیری پارامترهای آزمایش

رشد رویشی

پارامترهای رویشی که در این آزمایش اندازه‌گیری شدند شامل درصد افزایش تعداد برگ، سطح برگ، درصد افزایش ارتفاع ساقه، وزن خشک نهال و طول ریشه بود. با توجه به تفاوت‌هایی که در تعداد برگ و ارتفاع نهال‌های تهیه شده از ابتدا وجود داشت، این دو پارامتر بصورت درصد افزایش در ارتفاع و تعداد برگ (نسبت به مرحله آغاز آزمایش) مورد استفاده و آزمون قرار گرفتند. سطح برگ با استفاده از دستگاه سنسجش سطح برگ (CI-202, Bioscience, UK) براساس سانتیمتر مربع محاسبه شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس وزن شدند.

محتوای آب نسبی برگ (RWC)

برای اندازه‌گیری میزان آب نسبی برگ، ابتدا ۱۰ عدد دیسک به قطر یک سانتی‌متر از پهنک برگ در هر تکرار تهیه و وزن گردید (وزن تازه، FW) و بعد در پتری‌دیش حاوی آب مقطر به مدت ۵ تا ۶ ساعت در

قبل از تلقیح با قارچ-ریشه‌آربسکولار، نمونه‌هایی بصورت تصادفی از ریشه‌های این پایه به منظور بررسی در صد آلودگی گرفته شد و مورد آزمایش قرار گرفت که در صد آلودگی صفر بود. به منظور مایه‌کوبی با قارچ-ریشه‌آربسکولار، ۵۰ گرم از مایه قارچ (تهیه شده از کلکسیون گروه علوم باغبانی دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان) در اطراف ریشه نهال‌ها قرار گرفت. پس از مایه‌کوبی، گلدان‌ها به مدت ۲ ماه در گلخانه مراقبت شده و به روش خود ادامه دادند و قبل از آغاز تنش شوری، به منظور اطمینان از برقراری ارتباط همزیستی، نمونه‌هایی از ریشه نهال‌های مایه‌کوبی شده بصورت تصادفی برداشت و میزان آلودگی آنها مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه مشاهدات میکروسکوپی نشان داد که طی مدت دو ماه، میزان آلودگی ریشه‌ها به حدود ۴۰ درصد رسیده بود.

تیمار شوری

سطوح شوری در ۴ سطح براساس تنظیم هدایت الکتریکی آب آبیاری اعمال گردید که شامل سطوح ۰.۵ (آب شهری به عنوان شاهد)، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. برای ایجاد شوری از نمک طعام (NaCl) استفاده گردید. پایه‌های UCB1 به مدت دو ماه با محلول‌های نمکی فوق و با فاصله هر دو روز یکبار آبیاری شدند و در هر نوبت آبیاری، میزان محلول نمکی مورد استفاده حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد

تاریکی قرار داده شد تا سلول‌های برگ به حالت تورژسانس کامل درآیند. سپس دیسک‌های برگ‌ی از پتریدیش خارج و بر روی کاغذ صافی قرار گرفتند تا رطوبت اضافی آن‌ها گرفته شود و دوباره وزن شدند (وزن تورژسانس، TW)، پس از آن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند تا خشک شوند و دوباره وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد (وزن خشک، DW). محتوای آب نسبی برگ بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (Barrs and Weatherley, 1962):

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه بیان گردید (Irigoyen et al., 1992).

اندازه‌گیری عناصر غذایی

برای اندازه‌گیری میزان پرولین برگ، ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه تازه برگ با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد داخل هاون کوبیده و با استفاده از کاغذ صافی واتمن فیلتر گردید. در مرحله بعد ۲ میلی‌لیتر از محلول فیلتر شده با ۲ میلی‌لیتر از اسید ناین‌هیدرین (مخلوط ۱/۲۵ گرم ناین‌هیدرین در ۳۰ میلی‌لیتر اسیداستیک گلاسیال و ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار) به مدت ۱ ساعت در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از خنک شدن چهار میلی‌لیتر تولون به آن اضافه گردید و محلول به مدت ۲۰-۱۵ دقیقه شیکر شد. در نهایت فاز بالایی محلول جدا شد و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (T80 UV/VIS, GBC, منیزیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی، منیزیم، منیزیم و سدیم مورد استفاده قرار گرفت.

میزان جذب نمونه در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت گردید. محاسبه میزان پرولین بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تازه انجام شد (Bates et al., 1973). به منظور تعیین قندهای محلول برگ، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده در اتانول با سه میلی‌لیتر از آنترن تازه تهیه شده (۲۰۰ میلی‌گرم آنترن به علاوه ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) مخلوط شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده شد و پس از خنک شدن، جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت شد. غلظت قند بر حسب

پرولین و مجموع قندهای محلول برگ

عناصر غذایی در این آزمایش شامل پتاسیم، فسفر، منیزیم، سدیم و کلر در ریشه و برگ به‌طور جداگانه اندازه‌گیری گردید. برای تهیه عصاره، ابتدا ۰/۵ گرم نمونه خشک شده اندام گیاه آسیاب شد و در کوره به مدت یک ساعت با دمای ۲۵۰ درجه و ۳ ساعت با دمای ۵۵۰ درجه قرار گرفت تا نمونه‌ها خاکستر شدند. پس از خنک شدن نمونه، ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به هر نمونه اضافه گردید و به وسیله کاغذ صافی فیلتر و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رساند شد. این عصاره به طور مستقیم برای اندازه‌گیری پتاسیم، منیزیم و سدیم مورد استفاده قرار گرفت.

سانتی متری تقسیم شدند و یک نمونه تصادفی از آن‌ها انتخاب و در لوله آزمایش حاوی محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۵ درصد قرار گرفتند. پس از چند نوبت تعویض محلول هیدروکسید پتاسیم، نمونه‌ها با آب مقطر شستشو داده شده و به مدت ۴-۳ دقیقه در محلول اسید کلریک ۱ درصد نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها در داخل محلول رنگی تریپان بلو قرار گرفتند و به مدت ۱۲ ساعت نگهداری شدند. برای تعیین درصد آلودگی، از هر تکرار ۴۰ قطعه ریشه رنگ آمیزی شده هر یک به طول دو سانتیمتر بر روی لام قرار داده شد و با استفاده از میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی ۴۰× بررسی و میزان آلودگی با قارچ-ریشه بر طبق فرمول زیر محاسبه شد (Phillips & Hayman, 1970):

$100 \times$ تعداد ریشه مشاهده شده /

تعداد ریشه آلوده = درصد آلودگی ریشه

۵-۳-۸- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD صورت گرفت. ترسیم نمودارها نیز توسط نرم افزار Excel انجام گرفت.

نتایج

رشد رویشی نهال‌های UCB1

نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که با افزایش سطح شوری پارامترهای رشدی در کلیه نهال‌های

(Avanta-PM, Melbourne, Australia) و سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فیلم فتومتر (Jenway PFP 7, ELE Instrument Co. Ltd., London, UK) مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری فسفر، ۵ میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده بالا با ۱۰ میلی‌لیتر از محلول آمونیم مولیبدات و انادات مخلوط و با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسید. بعد از صاف کردن عصاره، میزان فسفر با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کلر، به یک گرم نمونه خشک آسیاب شده، ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۰/۰۱ مولار افزوده شد و یک شب باقی ماند. سپس pH محلول با کرنات سدیم ۱ نرمال روی ۸-۷/۵ تنظیم گردید و چند قطره معرف کرومات پتاسیم به آن اضافه شد و محلول حاصل با نیترات نقره ۰/۰۵ نرمال تیترا شد. در نهایت غلظت کلر با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Kalra, 1998):

$$Cl(mg) = N \times V \times 35.5$$

$$N = \text{نرمالیتة نیترات نقره}$$

$$V = \text{میلی لیتر اسید تیترا شده}$$

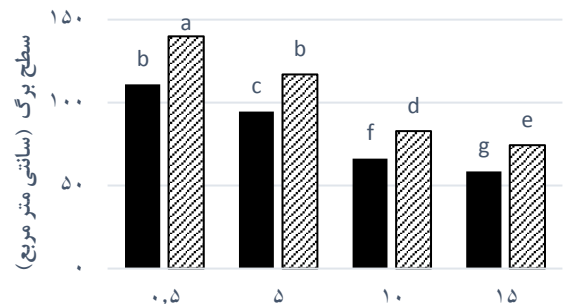
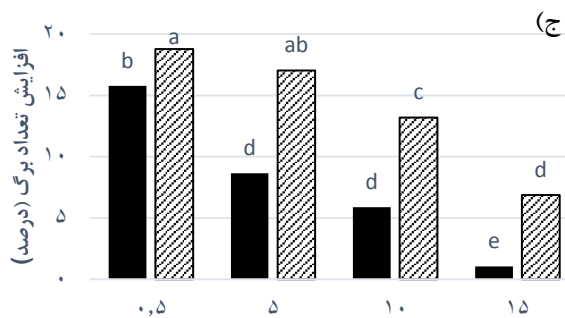
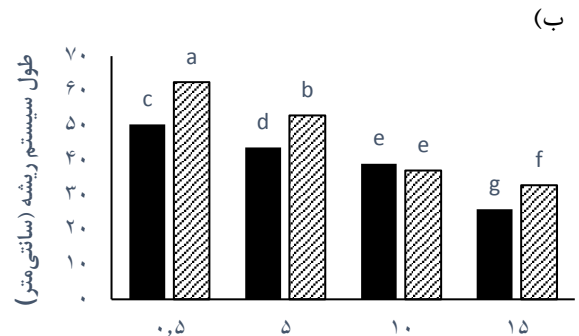
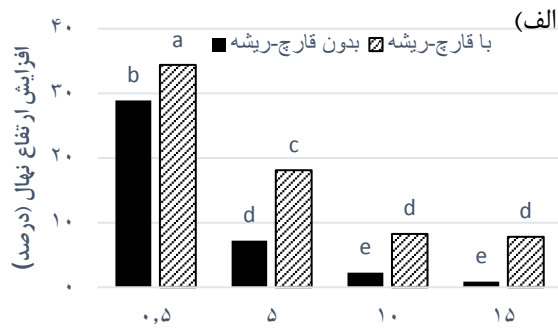
غلظت عناصر اندازه‌گیری شده بر حسب درصد وزن خشک اندام محاسبه و بیان گردید.

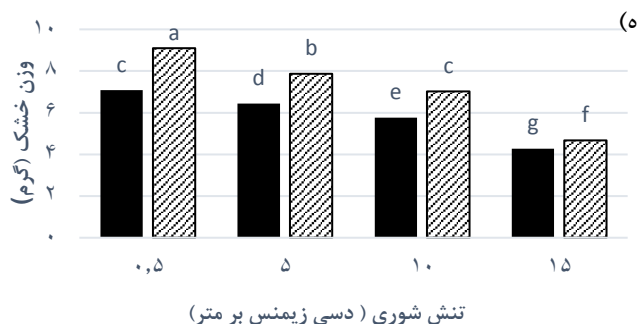
درصد آلودگی ریشه با قارچ-ریشه

ریشه‌ها پس از برداشت و شستشو با آب مقطر، با کاغذ صافی خشک شده و سپس به قطعات حدود دو

کاهشی داشت که درصد این کاهش در نهال‌های غیرهمزیست به ویژه در EC₁₅ بسیار بیشتر بود (شکل ۱-ج). سطح کل برگ نیز تحت تاثیر تنش شوری کاهش یافت به طوری که در نهال‌های همزیست از ۱۴۰ سانتیمتر مربع در EC_{0.5} به ۷۴ سانتیمتر مربع در EC₁₅ رسید و در نهال‌های غیرهمزیست از ۱۱۱ سانتیمتر مربع در EC_{0.5} به ۵۸ سانتیمتر مربع در EC₁₅ کاهش یافت (شکل ۱-د). نهال‌هایی که در EC₁₅ رشد کرده بودند از کمترین وزن خشک برخوردار بودند. وزن خشک نهال‌های پسته تحت تاثیر تیمار قارچ-ریشه در تمام سطوح شوری در مقایسه با نهال‌های غیر همزیست بیشتر بود که این اختلاف از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ معنی دار بود (شکل ۱-ه).

UCB1 کاهش یافت و همزیستی قارچ-ریشه سبب گردید که اثرات تنش شوری کاهش یابد. میزان افزایش رشد ساقه در تمام سطوح شوری در نهال‌های همزیست نسبت به غیرهمزیست بیشتر بود و با افزایش سطح شوری این اختلاف بیشتر شد به طوری که در EC₁₅ میزان افزایش رشد ساقه در نهال‌های همزیست بیش از ۹ برابر نهال‌های غیرهمزیست بود (شکل ۱-الف). میزان رشد محور اصلی ریشه روند تقریباً مشابهی داشت با این تفاوت که اختلاف در میزان رشد بین نهال‌های همزیست و غیرهمزیست تفاوت کمتری داشت اما از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ در تمام سطوح شوری به جز EC₁₀ معنی دار بود (شکل ۱-ب). نتایج مقایسه بین میانگین تیمارها نشان داد که افزایش تعداد برگ در نهال‌های UCB1 تحت تاثیر سطوح شوری روندی





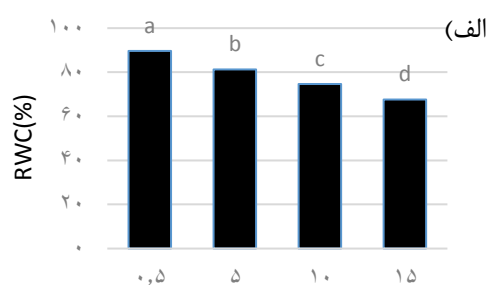
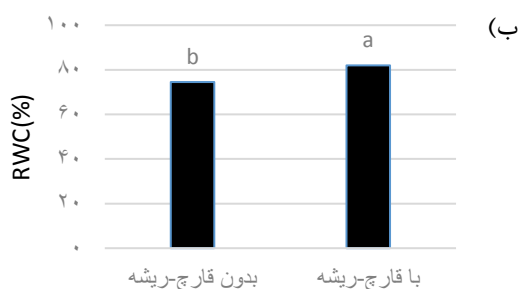
شکل ۱- برهمکنش سطوح شوری و قارچ-ریشه بر رشد رویشی نهال‌های UCB1

ستون‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند

یافت به طوری که مقدار آن در نهال‌های رشد یافته در شرایط EC5، EC10 و EC15 به ترتیب حدود ۹، ۱۶ و ۲۴ درصد نسبت به تیمار EC0.5 کاهش پیدا کرد. نتایج مربوط به محتوای نسبی آب برگ همچنین حاکی از آن بود که کاربرد قارچ-ریشه در هر سطح تنش نیز سبب افزایش معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۴-۷).

محتوای آب نسبی برگ (RWC)

محتوای آب نسبی برگ در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر اثرات مستقل تنش شوری و قارچ-ریشه قرار گرفت، در حالی که اثر متقابل آنها تاثیری بر محتوای آب نسبی برگ نداشت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها با افزایش سطح تنش شوری، محتوای نسبی آب برگ به طور قابل توجهی کاهش



شکل ۲- تاثیر سطوح مختلف شوری (الف) و همزیستی با قارچ-ریشه (ب) بر محتوای آب نسبی برگ نهال‌های UCB1.

ستون‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند

برهمکنش تنش شوری و قارچ-ریشه اثر معنی

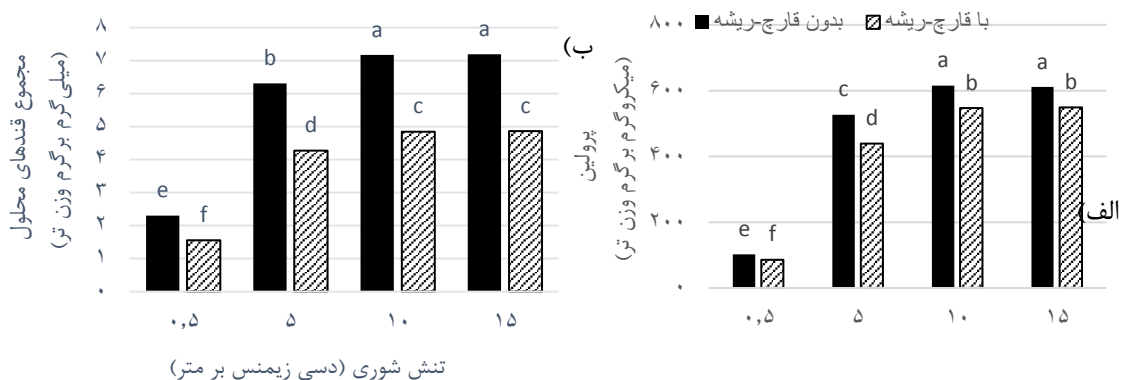
داری بر میزان پرولین برگ نهال‌های UCB1 گذاشت

پرولین و مجموع فندهای محلول برگ

بدون تنش رشد کرده بودند کمترین محتوای قند را به خود اختصاص دادند. محتوای قندهای محلول همچنان تحت تاثیر تیمار قارچ-ریشه قرار گرفت به طوری که گیاهان بدون قارچ-ریشه حدود ۴۸ درصد محتوای قندهای محلول بیشتری نسبت به گیاهان همزیست با قارچ-ریشه داشتند. نتایج نشان داد که مایه زنی نهال-های پسته UCB1 با قارچ-ریشه سبب کاهش قندهای محلول برگ در تمام سطوح شوری گردید، به طوری که بیشترین محتوای قندهای محلول در گیاهان رشد یافته در شرایط شوری بالا (EC15) که با قارچ-ریشه مایه زنی نشده بودند مشاهده شد و کمترین محتوای قندهای محلول در گیاهان همزیست رشد یافته در EC0.5 مشاهده گردید (شکل ۳-ب).

به طوری که با رسیدن سطح شوری به EC5 محتوای پرولین برگ در نهال های همزیست و غیر همزیست به ترتیب بیش از ۴ و ۵ برابر افزایش یافت. بیشترین محتوای پرولین برگ در سطح بالای تنش (EC15) بود. در این سطح گیاهان بدون قارچ-ریشه بالاترین مقدار پرولین را داشتند. نتایج همچنین نشان داد که کاربرد قارچ-ریشه سبب کاهش محتوای پرولین در تمام سطوح تنش گردید (شکل ۳-الف).

نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که با افزایش سطح شوری محتوای قندهای محلول برگ افزایش یافت به طوری که نهال هایی که در سطح بالای تنش شوری رشد کرده بودند از مجموع قندهای محلول بالاتری برخوردار بودند، ولی نهال هایی که در شرایط



شکل ۳- برهمکنش سطوح شوری و همزیستی قارچ-ریشه بر محتوای پرولین (الف) و مجموع قندهای محلول برگ (ب) نهال های UCB1.

ستون های دارای حروف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

نتایج تجزیه واریانس داده های آزمایش نشان

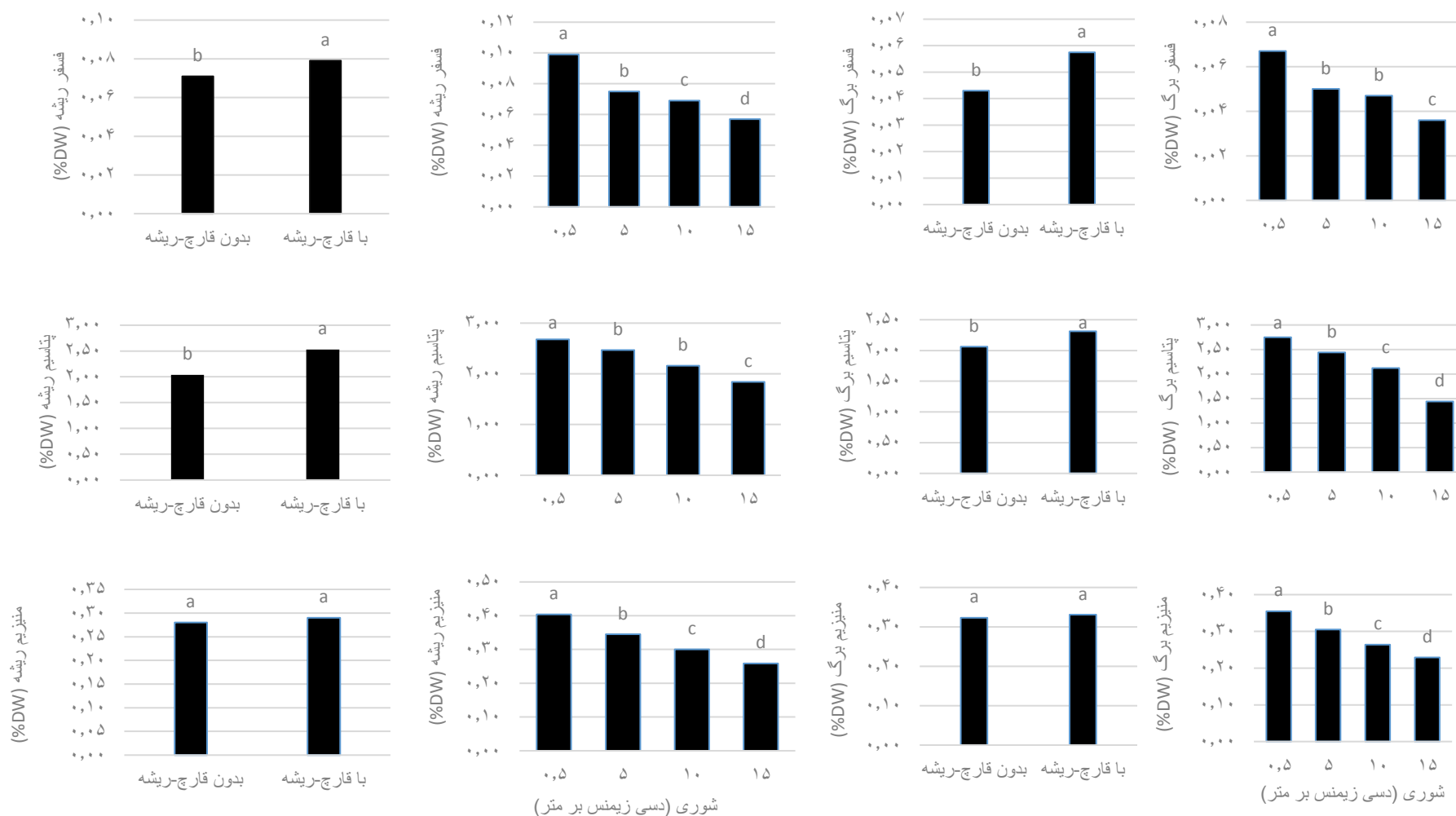
عناصر غذایی برگ و ریشه

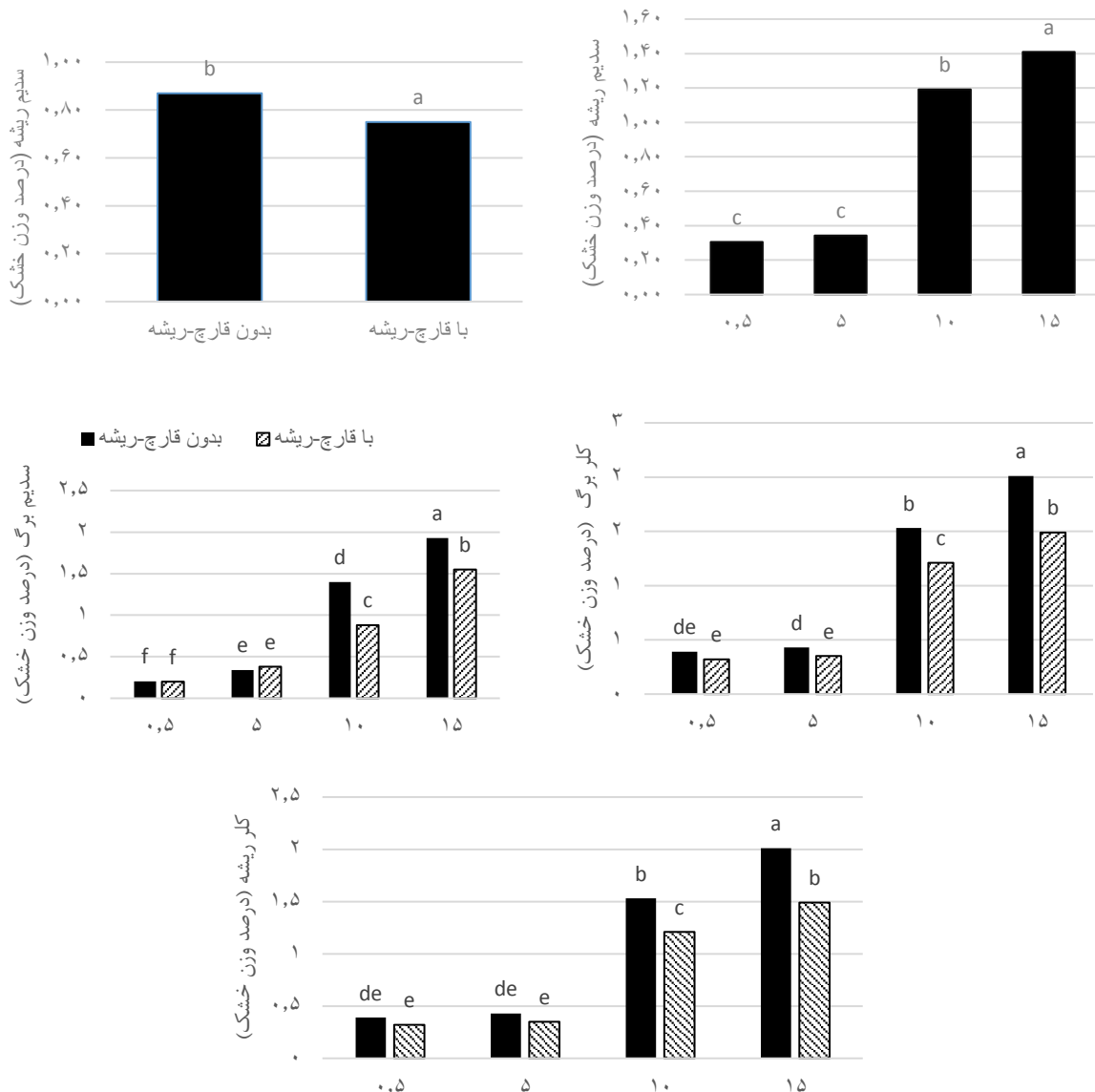
داد که غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و منیزیم تحت تاثیر

اثرات مستقل تیمارهای آزمایش قرار گرفت. مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که نهال‌های تیمار شده با قارچ-ریشه از مقدار فسفر ریشه بیشتری در حدود ۱۱ درصد نسبت به شاهد برخوردار بودند. غلظت فسفر در ریشه تحت تاثیر تنش شوری کاهش یافت به طوری که مقدار آن در سطوح شوری EC5، EC10 و EC15 به ترتیب حدود ۲۴، ۳۰ و ۴۲ درصد از EC0.5 کمتر بود (شکل ۴- ردیف بالا). غلظت فسفر برگ نهال‌های UCB1 بطور کلی کمتر از ریشه بود اما روند تغییرات آن تحت تاثیر اثر مستقل تیمارهای آزمایش، مشابه تغییرات ریشه بود (شکل ۴- ردیف بالا). نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که با افزایش سطح شوری مقدار پتاسیم به طور قابل توجهی در ریشه و برگ کاهش پیدا کرد. میزان این کاهش در EC15 نسبت به EC0.5 در ریشه و برگ به ترتیب ۶۸.۶ و ۵۲.۴ درصد بود (شکل ۴). غلظت پتاسیم در برگ و ریشه نهال‌های همزیست با قارچ-ریشه نیز به ترتیب ۱۱.۲ و ۱۲.۴ درصد بیشتر از نهال‌های غیر همزیست بود (شکل ۴-ردیف میانی). غلظت منیزیم در ریشه و برگ نهال‌های UCB1 با افزایش سطح شوری به شکل معنی‌داری کاهش یافت که میزان این کاهش در هر دو اندام گیاهی تقریباً مشابه بود در حالی که تیمار قارچ-ریشه تاثیری بر غلظت منیزیم برگ و ریشه نداشت (شکل ۴- ردیف پائین).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که مقدار سدیم ریشه در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر اثرات مستقل تنش شوری و قارچ-ریشه قرار گرفت ولی برهمکنش آنها تاثیری بر غلظت سدیم ریشه نداشت. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که مقدار سدیم ریشه در شرایط تنش شوری به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد به طوری که مقدار آن در EC10 و EC15 به ترتیب حدود ۳/۵ و ۵ برابر نسبت به تیمار EC0.5 بیشتر بود ولی تفاوت معنی‌داری بین EC5 با EC0.5 مشاهده نشد. نتایج همچنین نشان داد که مقدار سدیم ریشه نهال‌های UCB1 مایه‌زنی شده با قارچ-ریشه حدود ۱۴ درصد نسبت به گیاهان شاهد کمتر بود (شکل ۵).

غلظت سدیم در برگ نهال‌های UCB1 تحت تاثیر برهمکنش سطوح شوری و قارچ-ریشه قرار گرفت. با افزایش سطح شوری، مقدار سدیم برگ به طور قابل توجهی در نهال‌های همزیست و غیر همزیست افزایش یافت اما میزان این افزایش متفاوت بود. در نهال‌های غیر همزیست UCB1، غلظت سدیم برگ از حدود ۰.۲ درصد وزن خشک در EC0.5 به ۱.۹۳ درصد در EC15 رسید (۹.۶ برابر) در حالی که در نهال‌های همزیست از حدود ۰.۲ درصد به ۱.۵ درصد رسید (۷.۷ برابر). افزایش غلظت سدیم برگ در EC10 نسبت به EC5 افزایش قابل توجهی را نشان داد (شکل ۵)





شکل ۵- تأثیر تیمارهای شوری و قارچ-ریشه بر غلظت سدیم برگ و برهمکنش آنها بر غلظت سدیم برگ و غلظت کلر در برگ و ریشه نهال‌های UCB1

ستون‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند

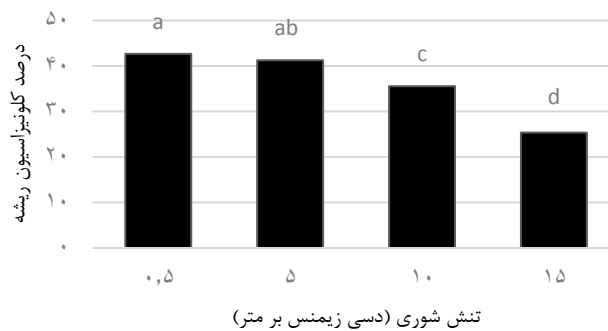
و بدون تیمار قارچ-ریشه و کمترین مقدار آن در نهال‌های غیر همزیست و در EC0.5 مشاهده گردید (شکل ۵). نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری، غلظت کلر در برگ نهال‌های UCB1 افزایش پیدا کرد ولی تیمار قارچ-ریشه سبب کاهش جذب

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که با افزایش سطح شوری غلظت کلر در ریشه افزایش یافت. همزیستی قارچ-ریشه سبب کاهش معنی‌داری در غلظت کلر ریشه در شرایط تنش و غیر تنش گردید به طوری که بیشترین غلظت کلر ریشه در گیاهان رشد یافته در EC15

درصد کلونیزاسیون ریشه نهال‌های UCB1 با قارچ-ریشه مورد استفاده، با افزایش سطح شوری کاهش معنی‌داری یافت و میزان آن از ۴۲.۷ درصد در EC0.5 به ۲۵.۴ درصد در EC15 رسید که کاهش معادل ۴۱ درصد را نشان می‌دهد (شکل ۶).

کلر گردید، به طوری که بیشترین مقدار کلر ریشه در نهال‌های غیر همزیست و در بالاترین سطح شوری ثبت گردید و کمترین مقدار کلر ریشه در نهال‌های همزیست و در سطح شوری شاهد (EC0.5) مشاهده گردید.

درصد آلودگی ریشه



شکل ۶- تاثیر سطوح شوری بر درصد کلونیزاسیون ریشه نهال‌های UCB1 با قارچ-ریشه (*Funneliformis mosseae*)

ستون‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند

اندام‌های در حال رشد خواهد شد. همچنین کاهش رشد و عملکرد گیاه در اثر شوری می‌تواند در اثر تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها، کاهش رشد بخش هوایی به‌ویژه برگ‌ها، بسته شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها، اثر مستقیم نمک بر فتوسنتز و یا تاثیر بر توازن یونی در گیاهان باشد (Partridge and Jenkins, 2002; Gorai *et al.*, 2010). محققان زیادی کاهش فاکتورهای رشدی را در گیاهان تحت تنش شوری گزارش کرده‌اند (Pessaraki and Touchane, 2006; Mane *et al.*, 2011) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. نتایج این آزمایش همچنین نشان

بحث

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری، پارامترهای رویشی نظیر وزن خشک، ارتفاع، طول ریشه، تعداد برگ و سطح برگ به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد (شکل ۱). در شرایط تنش شوری کاهش ویژگی‌های رشدی ممکن است به دلیل اثرات منفی کاهش پتانسیل اسمزی محیط رشد ریشه باشد که سبب اختلال در جذب آب می‌گردد. در شرایط شوری با گذشت زمان سرعت تقسیم و طویل شدن سلول‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه، این تغییرات منجر به کوچک ماندن

داد که کاربرد قارچ-ریشه سبب بهبود رشد رویشی نهال-های پسته UCB1 در شرایط غیر شور و شور گردید (شکل ۱) که با نتایج گزارش‌های پیشین مطابقت دارد (Sannazzaro *et al.*, 2004). بر اساس یافته‌های پیشین، همزیستی ریشه گیاه میزبان با قارچ‌های ریشه‌ای سبب افزایش جذب عناصر غذایی کم تحرک مثل فسفر، روی و مس (Al-Karaki, 2000)، افزایش نسبی جذب آب و در پی آن رقیق شدن یون‌های سمی (Hanin, 2016)، ایجاد تعادل در جذب عناصر غذایی در شرایط شوری (Aliasgharzadeh *et al.*, 2002) و پایین‌تر بودن غلظت یون سدیم در این گیاهان می‌گردد (Jindal *et al.*, 1993). نتایج بدست آمده از این پژوهش با تمام نتایج فوق مطابقت دارد. در این آزمایش، نهال‌های UCB1 همزیست با قارچ-ریشه از نظر وضعیت آبی (شکل ۲)، تجمع اسمولیت‌ها در سلول‌های مزوفیل برگ (شکل ۳) و جذب و انتقال عناصر فسفر، پتاسیم و منیزیم (شکل ۴) نسبت به نهال‌های غیر همزیست در وضعیت بهتری قرار داشتند در حالی که جذب و انتقال عناصر سدیم و کلر در این نهال‌ها کمتر بود (شکل ۵). از تأثیر همزیستی قارچ-ریشه بر رشد پسته در شرایط تنش شوری گزارشات کمی وجود دارد (فتاحی و شمشیری، ۱۳۹۴؛ فتاحی و همکاران، ۱۳۹۶، Shamsheiri & Pourizadi, 2014). در آزمایشی که بر روی پسته‌های سرخس، ابارقی و بنه باغی انجام شد، نهال‌های مایه‌کوبی شده با قارچ-ریشه در معرض سطوح مختلف تنش شوری قرار گرفتند. بر اساس نتایج این آزمایش، نهال‌های همزیست در تمام سطوح شوری از رشد بهتری نسبت به

دانهال‌های غیر همزیست برخوردار بودند (Shamsheiri and Fattahi, 2016). محتوای آب نسبی برگ به‌عنوان معیاری قابل اعتماد برای ارزیابی وضعیت آب در بافت‌های گیاهی محسوب شده و از این رو به پتانسیل آب سلول برتری دارد (Schonfield *et al.*, 1988) براساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش کاهش پیدا کرد. کاهش محتوای نسبی آب برگ در زمان تنش شوری ناشی از کاهش رشد ریشه (شکل ۱)، بسته شدن روزنه‌های هوایی، کاهش جذب و انتقال آب توسط ریشه و همچنین افزایش تجمع یون‌ها به‌ویژه یون‌های سدیم و کلر (شکل ۵) می‌باشد. در واقع تنش شوری سبب می‌گردد گیاهان با یک خشکی فیزیولوژیکی مواجه گردند. کاهش محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط شوری روی گیاهان متعددی نظیر هلو (Ziska *et al.*, 1989)، پسته (فتاحی، ۱۳۹۴؛ Benhassaini *et al.*, 2012) و مرکبات (Shafieizargar *et al.*, 2015) گزارش شده که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. یکی از سازوکارهایی که گیاهان توسط آن می‌توانند در تنش شوری به جذب آب ادامه دهند، فرآیند تنظیم اسمزی است. پرولین و قندهای محلول از جمله این ترکیبات اسمولیت هستند که در شرایط تنش خشکی و شوری با تجمع در ناحیه ریشه و برگ ضمن تنظیم پتانسیل آب درونی گیاه، امکان ادامه جذب آب را فراهم می‌سازند (Orcutt & Nilsen, 2000; Talaat & Shawky, 2014). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میزان تجمع پرولین و قندهای محلول برگ نهال‌های پسته UCB1 با افزایش سطح تنش به ترتیب حدود ۶ و ۳

مربوط می‌گردد به این معنا که شکل‌گیری ریشه‌های قارچی بر روی ریشه گیاه میزبان سبب می‌گردد که سطح جذب ریشه افزایش یابد. علاوه بر آن، ریشه‌های قارچ به دلیل قطر بسیار کمتری که نسبت به ریشه‌های گیاه میزبان دارند اغلب وارد فضاهایی می‌شوند که ریشه‌های جذب کننده قادر به نفوذ به آن فضاها نیستند و بنابراین کارایی جذب آب و عناصر محلول را از منطقه ریزوسفر افزایش می‌دهند (فتاحی ۱۳۹۶). جدای از این، جذب فسفر توسط قارچ‌های ریشه‌ای یکی از ویژگی‌های بارز این گروه از میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. قارچ‌های ریشه‌ای قادرند با اسیدی کردن ناحیه ریزوسفر با ترشح ترکیباتی همچون اسید فسفاتاز (Sato, 2015) بخشی از فسفر نامحلول این منطقه را وارد فاز محلول نمایند. این قارچ‌ها می‌توانند فسفر را در اندام‌های درون ریشه‌ای خود ذخیره ساخته و بطور مستقیم در اختیار سلول‌های ریشه قرار دهند (Plassard, 2019) نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که غلظت سدیم و کلر در برگ نهال‌های پسته UCB1 با افزایش سطح تنش به طور قابل توجهی افزایش یافت. افزایش مقدار سدیم و کلر برگ ارتباط نزدیکی با مقدار سدیم و کلر در دسترس ریشه دارد و با توجه به اینکه تنش ایجاد شده به وسیله کلرید سدیم سبب افزایش مقدار سدیم و کلر در محیط ریشه گردید، نهال‌های UCB1 در این شرایط مقدار سدیم و کلر بیشتری جذب نمودند (شکل ۵). همزیستی قارچ-ریشه سبب کاهش جذب و انتقال سدیم و کلر گردید. برخی یافته‌های پژوهش‌های پیشین نیز نشان دهنده نقش همزیستی قارچ-ریشه در کاهش جذب و انتقال عناصر

برابر افزایش داشت (شکل ۳) اما در تمام سطوح شوری میزان تجمع این ترکیبات در نهال‌های همزیست کمتر از نهال‌های غیر همزیست بود که این نتایج با نتایج فتاحی (۱۳۹۴) روی پایه‌های مختلف پسته و رنجبر (۱۳۹۳) روی پایه پسته بادامی‌ریز زرنند مطابقت داشت. تجمع کمتر این ترکیبات می‌تواند نشانگر این واقعیت باشد که نهال‌های همزیست UCB1 در این پژوهش کمتر تحت تاثیر تنش خشکی قرار داشته‌اند که بالاتر بودن محتوای آب نسبی برگ در این نهال‌ها تائید کننده این واقعیت است. جذب و انتقال عناصر فسفر، پتاسیم و منیزیم در این پژوهش تحت تاثیر تنش شوری کاهش یافت که با نتایج بسیاری از پژوهش‌های پیشین مطابقت داشت (فتاحی ۱۳۹۶، Tajabadipour et al., 2005). کاهش جذب عناصر در شرایط تنش شوری را می‌توان به کاهش رشد ریشه و همچنین کاهش در جذب آب و عناصر محلول نسبت داد (فتاحی ۱۳۹۶). یکی دیگر از دلایل کاهش جذب این عناصر در شرایط تنش شوری مربوط به رقابت ایجاد شده در جذب برخی عناصر خاص می‌باشد که از آن جمله می‌توان به رقابت آنیون‌های H_2PO_4^- و Cl^- (Papadopoulos & Rendig, 1983) و کاتیون‌های سدیم و پتاسیم (Zhu, 2007) اشاره کرد. از طرفی افزایش جذب برخی از عناصر بویژه فسفر و پتاسیم و منیزیم در همزیستی با قارچ‌های ریشه‌ای و در شرایط تنش شوری در پژوهش‌های پیشین به اثبات رسیده است (Kumar et al., 2010; فتاحی ۱۳۹۶). قابلیت قارچ‌های ریشه‌ای در افزایش جذب عناصر در وهله اول به افزایش سطح جذب ریشه

در EC5 تفاوتی با شاهد نداشت اما در EC10 و EC15 کاهش یافت به طوری که در EC15 حدود ۴۱ درصد کمتر از شاهد بود با این حال اثرات مثبت همزیستی کماکان در بالاترین سطح شوری نیز دیده نشد که نشان‌دهنده کارایی بالای این همزیستی می‌باشد.

منابع

۱. اسلامی، م.، حکم‌آبادی، ح. و د. آبادی‌خواه. ۱۳۹۷. اما و اگرهای کشت پایه UCB-1. دومین همایش ملی پسته ایران، ۲۱-۲۲ شهریور، دانشگاه ولی‌عصر "عج" رفسنجان.
۲. رنجبر، م. ۱۳۹۳. مطالعه‌ی اثر محلول‌پاشی عناصر سیلیسیم و پتاسیم روی پسته‌ی رقم بادامی ریز در شرایط تنش شوری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر.
۳. فتاحی، م. و م. ح. شمشیری. ۱۳۹۴. بررسی نقش همزیستی میکوریزی در روابط آبی و برخی ترکیبات اسمولیت سه پایه پسته (سرخس، بنه باغی و ابارقی) در شرایط تنش شوری. مجله علوم و فنون پسته، جلد ۱، شماره ۲، صفحه ۴۳-۲۲.
۴. فتاحی، م.، شمشیری، م. ح. و ش. پورمقدم. ۱۳۹۶. تاثیر قارچ-ریشه آربسکولار (*Glomus mosseae*) بر جذب و توزیع برخی از عنصرهای غذایی (فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، روی و مس) در نهال‌های پسته سرخس، ابارقی و بنه باغی در شرایط تنش شوری. مجله علوم باغبانی ایران، دوره ۴۸، شماره ۱، صفحه ۱۷۵-۱۸۹.
5. Aliasgharzadeh, N., Saleh Rastin, N., Towfighi, H. and A. Alizadeh. 2002. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. *Mycorrhiza*, 11: 119-112.
6. Al-Karaki, G. N. 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza*, 10: 51-54.

سدیم و کلر در نهال‌های پسته در شرایط تنش شوری می‌باشند (Shamshiri *et al.*, 2014; فتاحی، ۱۳۹۶). هرچند اطلاعات دقیقی در ارتباط با مکانیسم اثر قارچ-ریشه بر کاهش غلظت عناصر سدیم و کلر در گیاهان تحت تنش شوری وجود ندارد ولی این کاهش غلظت را می‌توان تا حدودی به افزایش محتوای آب نسبی برگ مرتبط دانست که سبب رقیق شدن غلظت این عناصر در بافت گیاه می‌گردد (Van zelm, 2020). همچنین کاهش غلظت سدیم و کلر در شرایط تنش شوری در گیاهان همزیست به کاهش جذب آنها توسط گیاه نسبت داده شده است (Zuccarini and Okurowska, 2008). بر اساس یافته‌های یک پژوهش، همزیستی قارچ-ریشه سبب تحریک و افزایش تعداد کانال‌های انتقال پتاسیم می‌شود که می‌تواند در افزایش نسبت پتاسیم به سدیم نقش داشته و اثرات سمی سدیم را در تعادل با مقدار پتاسیم بهبود بخشد (Evelin *et al.*, 2009).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد مایه‌کوبی نهال‌های UCB1 با قارچ-ریشه *Funneliformis mosseae* تاثیر قابل توجهی بر افزایش مقاومت آنها به تنش شوری داشت. نهال‌های همزیست در تمام سطوح شوری از رشد بهتری برخوردار بودند و از نظر جذب و انتقال آب و عناصر فسفر، پتاسیم و منیزیم نسبت به نهال‌های غیرهمزیست برتری داشتند در حالی که میزان جذب و انتقال سدیم و کلر در آنها کمتر بود. درصد کلونیزاسیون ریشه نهال‌های UCB1

- dependency of *Jatropha curcas* L. *Plant Growth Regulation*, 29: 297-306.
18. Mane, A. V., Deshpande, T. V., Wagh, V. B., Karadge, B. A. and J. S. Samant. 2011. A critical review on physiological changes associated with reference to salinity. *International Journal of Environmental Sciences*, 4: 1192-1216.
 19. Marschner, H. and B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and soil*, 159: 89-102.
 20. Mehdi-Tounsi, H., Chelli-Chaabouni, A., Boujnah, D., Boukriss, M., Nodu, M. B., Okpeku, M., ... and D. O. Iroegbu. 2016. Rootstock influences the response of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Mateur) under saline stress condition. *Journal of New Sciences*, 15.
 21. Momenpour, A., and A. Imani. 2018. Evaluation of salinity tolerance in fourteen selected pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars. *Advances in Horticultural Science*, 32(2): 249-264.
 22. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 651-681.
 23. Orcutt, D. M., and E. T. Nilsen. 2000. *Physiology of plants under stress: Soil and biotic factors* (Vol. 2). John Wiley & Sons.
 24. Papadopoulos, I. and V. V. Rendig. 1983. Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. *Plant and Soil*, 73: 47-57.
 25. Parsa, A. A. and N. Kareman. 1975. Effect of sodium chloride on seedling growth of two major varieties of Iranian pistachio (*Pistachia vera* L.). *Journal of Horticultural Science*, 50(1): 41-46.
 26. Partridge, G. J. G. I. Jenkins. 2002. The effect of salinity on growth and survival of juvenile black bream (*Acanthopagrus butcheri*). *Aquaculture*, 210: 219-230.
 27. Pessarakli, M. and H. Touchane. 2006. Growth responses of bermudagrass and seashore paspalum under various levels of sodium chloride stress. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 3: 240-243.
 28. Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological Society*, 55(1): 158-IN18.
 29. Plassard, C., Becquer, A. and K. Garcia. 2019. Phosphorus transport in mycorrhiza: how far are we?. *Trends in plant science*, 24(9): 794-801.
 30. Porcel, R., Aroca, R. and J. M. Ruiz-Lozano. 2012. Salinity stress alleviation
 7. Barrs, H.D., and P. E. Weatherley. 1962. A Re-Examination of the Relative Turgidity Techniques for Estimating Water Deficits in Leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15, 413-428.
 8. Bates, L. S., Waldren, R. A. and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39:205-207.
 9. Benhassaini, H., Fetati, A., Hocine, A. K. and M. Belkhodja. 2012. Effect of salt stress on growth and accumulation of Proline and soluble sugars on Plantlets of *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* used as rootstocks. *Biotechnologie, Agronomie, Societe et Environnement*, 16 (2): 159-165.
 10. Evelin, H., Kapoor, R. and B. Giri. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Anatomy and Botany*, 42: 154-159.
 11. Ferguson, L., Poss, J. A., and S. Gratten. 2002. Pistachio rootstocks influence scion growth and ion relations under salinity and boron stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127: 194-199.
 12. Gorai, M., Ennajeh, M., Khemira, H. and M. Neffati. 2010. Combined effect of NaCl-salinity and hypoxia on growth, photosynthesis, water relations and solute accumulation in *Phragmites australis* plants. *Flora Morphology Distribution Functional Ecology of Plants*, 205: 462-470.
 13. Hanin, M., Ebel, C., Ngom, M., Laplaze, L., and K. Masmoudi. 2016. New insights on plant salt tolerance mechanisms and their potential use for breeding. *Frontiers in plant science*, 7: 1-17.
 14. Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. and M. D. Sanchie. 1992. Water stress induced changing concentration of Proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa plants. *Physiologia Plantarum*, 84: 67-72.
 15. Jindal, V., Atwal, A., Sekkhon, B. S. and R. Singh. 1993. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on metabolism of moong plants under NaCl salinity. *Plant physiology and Biochemistry*, 31: 475-481.
 16. Kalra, Y. (Ed.). 1998. *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC press. 291pp.
 17. Kumar, A., Sharna, S. and S. Mishra. 2010. Influence of Arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and salinity on seedling growth, solute accumulation, and mycorrhizal

- inoculated with arbuscular mycorrhiza (*Glomus mosseae*). *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 10(1): 335-346.
38. Shamshiri, M. H., Pourizadi, F. and H. R. Karimi. 2014. Role of mycorrhizal symbiosis in growth and salt avoidance of pistachio plants. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 10(2): 155-167.
 39. Tajabadipour, A., Sepaskhah, A. R. and M. Maftoun. 2005. Plant water relations and seedling growth of three pistachio cultivars as influenced by irrigation frequency and applied potassium. *Journal of Plant Nutrition*, 28: 1413-1425.
 40. Talaat, N. B. and B. T. Shawky. 2014. Protective effects of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat (*Triticum aestivum* L.) plants exposed to salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 98: 20-31.
 41. Van Zelm, E., Zhang, Y. and C. Testerink. 2020. Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual review of plant biology*, 71: 403-433.
 42. Wang, F. Y., Liu, R. J., Lin, X. G. and J. M. Zhou. 2004. Arbuscular mycorrhizal status of wild plants in saline-alkaline soil of the Yellow River Delta. *Mycorrhiza*, 14: 133-137.
 43. Zhu, J. K. (2007). Plant salt stress. eLS. doi: 10.1002/9780470015902.a0001300.pub2
 44. Ziska, L. H., Hutmacher, R. B., Hoffman, G. J. and T. M. DeJong. 1989. Changes in leaf water status associated with salinity in mature, field grown *Prunus salicina*. *Physiologia Plantarum*, 77: 141-149.
 45. Zuccarini, P. and P. Okurowska. 2008. Effects of mycorrhizal colonization and fertilization on growth and Photosynthesis of sweet basil under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 31: 497-513.
 - using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32: 181-200.
 31. Rahnesan, Z., Nasibi, F. and A. A. Moghadam. 2018. Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of plant interactions*, 13(1): 73-82.
 32. Raoufi, A., Rahemi, M., Salehi, H. and A. Javanshah. 2020. Selecting high performance rootstocks for pistachio cultivars under salinity stress based on their morpho-physiological characteristics. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup2): 29-47.
 33. Sannazzaro, A. I., Ruiz, O. A., Albertó, E. and A. B. Menéndez. 2004. Presence of different arbuscular mycorrhizal infection patterns in roots of *Lotus glaber* plants growing in the Salado River basin. *Mycorrhiza*, 14: 139-142.
 34. Sato, T., Ezawa, T., Cheng, W. and K. Tawaraya. 2015. Release of acid phosphatase from extraradical hyphae of arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus clarus*. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(2): 269-274.
 35. Shafieizargar, A., Awang, Y., Ajamgard, F., Juraimi, A. S., Othman, R. and A. K. Ahmadi. 2015. Assessing five citrus rootstocks for NaCl salinity tolerance using mineral concentrations, proline and relative water contents as indicators. *Asian Journal of Plant Sciences*, 14: 20.
 36. Shamshiri, M. H. and M. Fattahi. 2016. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on photosystem II activity of three pistachio rootstocks under salt stress as probed by the OJIP-test. *Russian journal of plant physiology*, 63: 101-110.
 37. Shamshiri, M. H. and M. Fattahi. 2014. Evaluation of two biochemical markers for salt stress in three pistachio rootstocks

Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungus on Resistance Enhancement of UCB1 Plants to Salt Stress

M.H. Shamshiri^{1*}

Abstract

To study the effect of arbuscular mycorrhizal fungus on salt resistance of UCB1 pistachio rootstock, a greenhouse experiment was achieved as factorial based on a completely randomized design with two factors of arbuscular mycorrhiza at two levels (with and without mycorrhiza) and water salinity at four levels ($EC_{0.5}$ as control, EC_5 , EC_{10} and EC_{15} $dS.m^{-1}$) with five replications. 18-month-old UCB1 plants propagated by tissue culture were obtained from Touba company in Kerman and inoculated with *Funneliformis mosseae*. Plants were grown for 70 days in greenhouse conditions (30 ± 3 °C and 32% of average relative humidity) and after ensuring of root colonization, they were subjected to salt stress for two months. The results showed that salinity caused a decrease in dry weight, stem height, number and surface of leaves, relative water content of leaves and phosphorus, potassium and magnesium uptake, while the amount of proline and total soluble sugars, sodium and chloride in leaves and roots were increased compared to control. Root symbiosis of UCB1 seedlings with arbuscular mycorrhizal fungus significantly mitigate the adverse effects of salinity stress compared to non-mycorrhizal seedlings. Root colonization of UCB1 pistachio seedlings was decreased under salinity stress. Based on the results, the inoculation of UCB1 plants with the above arbuscular mycorrhiza led to increase in salt stress resistance.

Keywords: mycorrhiza, pistachio, salt stress, UCB1

¹ Associate professor of Horticultural Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

* Corresponding author Email: shamshiri88@gmail.com