به زراعی کشاورزی
دوره ۲۳ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۰
صفحه‌های ۶۸۲-۶۶۷

مقاله پژوهشی:

بررسی اثر هم‌زیستی قارچ مایکوریزا آربسکولار بر برخی پایه‌های پسته در شرایط تنش شوری و خشکی

مسعود فتاحی[۱]، عبدالرحمان محمدخانی[۲*]، بهروز شیران[۳]، بهرام بانی‌نسب[۴]، رودابه راوش[۵]
۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۲. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۳. استاد، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۴. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۵. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
تاریخ دریافت مقاله : ۱۳۹۹/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۱۰

چکیده
این آزمایش جهت مقایسه مقاومت پایه‌های مختلف پسته تلقیح‌شده با مایکوریزا در برابر تنش شوری و خشکی اجرا شد. در این آزمایش از گونه قارچ فونلیفورمیس موسهآ و چهار پایه پسته شامل بادامی‌ریز زرند، قزوینی، سرخس و UCB1 استفاده شد. آزمایش تنش خشکی در چهار سطح ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، و آزمایش تنش شوری در چهار سطح ۰/۹۱، ۷/۵۷، ۱۶/۱۲ و ۲۴/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر به‌مدت ۶۰ روز اعمال شد. در پایان آزمایش شاخص‌های مختلف مانند ماده خشک کل گیاه، سطح برگ، درصد رطوبت اندام‌ها و نشت الکترولیت‌ها برآورد شد. هم‌چنین در طول آزمایش رنگدانه‌های کلروفیل کل، کارتنوئید و آنتوسیانین مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد هم‌زیستی با مایکوریزا سبب بهبود ماده خشک کل گیاه، درصد رطوبت برگ و سطح برگ تحت هر دو تنش خشکی و شوری شد. تحت تأثیر هر دو تنش میزان رطوبت اندام‌ها و کلرفیل کل برگ کاهش و محتوای آنتوسیانین و نشت الکترولیت‌ها افزایش یافت و کم‌ترین درصد رطوبت برگ، ساقه و ریشه در بالاترین سطح تنش خشکی و شوری دیده شد. پایه UCB1 بیش‌ترین وزن خشک کل و رطوبت را درشرایط تنش شوری داشت و بیش‌ترین درصد رطوبت برگ و ساقه و کم‌ترین نشت الکترولیت تحت تنش خشکی در پایه سرخس دیده شد. به‌نظر می‌رسد پایه UCB1 و سرخس تلقیح‌شده با مایکوریزا به‌ترتیب برای استفاده در شرایط شوری و خشکی می‌توانند مفید باشند.

کلیدواژه‌ها: آنتوسیانین، پسته، تنش غیرزنده، مؤلفه‌های اصلی، نشت الکترولیت.

Evaluation of the Symbiotic Effect of Mycorrhiza Arbuscular on Some Pistachio Rootstocks under Salinity and Drought Conditions

Masoud Fattahi[1], Abdolrahman Mohammadkhani[2*], Behroz Shiran[3], Bahram Baninasab[4], Rudabeh Ravash[5]
1. Ph.D. Candidate, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
2. Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
3. Professor, Department of Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
4. Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
5. Assistant Professor, Department of Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
Received: May 27, 2020 Accepted: July 31, 2020

Abstract
The present experiment has compared the resistance of different mycorrhizal pistachio rootstocks to salinity and drought stress in a completely randomized design with three replications. It has used *Funneliformis mosseae* and four pistachio species, Badami-e Riz Zarand, Qazvini, Sarakhs, and UCB1. In addition, the experiment of water stress in 4 levels (100%, 80%, 60%, and 40% FC), and experiment of salinity stress in 4 levels (0.91, 7.57, 16.12, and 24.63 dSm^{-1}), have been applied for 60 days. At the end of the experiment, different characteristics such as total biomass, leaf area, tissue moisture percentage, and electrolyte leakage have been measured. Also, during the experiment, total chlorophyll, carotenoids and anthocyanin pigments have been surveyed and analyzed. The results indicate that mycorrhizal symbiosis has improved total biomass and leaf moisture content under both drought and salinity stress conditions, wherein tissue moisture content and total leaf chlorophyll content have decreased and anthocyanin content and electrolyte leakage increased. As for the lowest leaf, stem and root moisture content have been observed at the highest drought and salinity levels with UCB1 having the highest biomass and moisture under salinity stress and the highest leaf and stem moisture content and lowest electrolyte leakage are observed in Sarakhs rootstock under drought stress. It seems UCB1 and Sarakhs symbiotic with mycorrhiza can be useful for salinity and drought stress, respectively.

Keywords: Abiotic stress, anthocyanin, electrolyte leakage, pistachio, principal components.

* نویسنده مسئول Email: mohammadkhani@sku.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه شیوه‌های کشاورزی نامناسب باعث افزایش زمین‌های غیرقابل استفاده در سراسر دنیا به‌دلیل افزایش تنش‌های غیرزنده شده است (Rashid *et al*., 2016). تنش‌های خشکی و شوری خاک، شرایط نامناسبی را برای تولید درختان میوه ایجاد کرده‌اند (Nimbolkar *et al*., 2016) که در مطالعات مختلف به خطرهای ناشی از آن اشاره شده است (Zrig *et al*., 2016; Penella *et al*., 2017; Rahneshana *et al*., 2018). خشکی مهم‌ترین تنش غیرزیستی از نظر محدودکردن بهره‌وری محصول در سراسر دنیا است، زیرا دسترسی به آب برای هر محصول در درجه اول اهمیت می‌باشد (Khoyerdi *et al*., 2016). شوری نیز یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی و محدودکننده‌ترین عامل باروری گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Machado *et al*., 2017). باتوجه به این‌که کشور ما در منطقه‌ای خشک واقع شده بنابراین توجه بیش‌تر به تنش‌های خشکی و شوری در پژوهش‌ها الزامی است.

برهم‌کنش‌های مفیدی بین گیاهان و میکروارگانیسم‌ها در محیط زیست و اکوسیستم‌های مختلف گزارش شده است (Chelli-Chaabouni *et al*., 2010; Rashid *et al*., 2016; Singh *et al*., 2016). مایکوریزا یکی از میکروارگانیسم‌های مفید خاک می‌باشد (Hashem *et al*., 2015) که باعث افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده می‌شود (Hashem *et al*., 2015; Yuan *et al*., 2016). گزارش شده است که مایکوریزا در شرایط تنش شوری باعث بهبود ماده خشک گیاه، رنگدانه‌های گیاهی و ویژگی‌های فتوسنتزی پایه‌های پسته بنه‌باغی، ابارقی و سرخس شده است (Shamshiri & Fattahi, 2014). در پژوهشی، اثر قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار (گلوموس موسه[1] و ورسیفورم[2]) بر دانهال‌های نارنج سه برگ[3] در شرایط تنش شوری باعث افزایش شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک مثل تعداد برگ، ارتفاع و محتوای رنگدانه‌های گیاهی درگیاهان مایکوریزایی نسبت به گیاهان بدون مایکوریزا شد (Wu *et al*., 2010). هم‌چنین با بررسی اثر قارچ گلوموس فاسیکولاتوم[4] بر مقاومت به شوری نهال‌های انگور مشخص شد که میزان کلروفیل a، b و کل در گیاهان هم‌زیست با مایکوریزا نسبت به گیاهان بدون مایکوریزا، به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود. با افزایش میزان شوری از غلظت کلروفیل در نهال‌های مایکوریزایی و غیرمایکوریزایی کاسته شد که این کاهش در نهال‌های تلقیح‌نشده با مایکوریزا بیش‌تر بود (Derebw *et al*., 2007). علاوه بر این، پژوهش‌های دیگری در گذشته انجام شده و بهبود رشد گیاه در شرایط تنش‌های غیرزنده توسط مایکوریزا را گزارش کرده‌اند (Nadeem *et al*., 2014; 2015; Bach Shamshiri & Fattahi, 2016; Kumar *et al*., 2016 *et al*.).

انتخاب پایه برای افزایش مقاومت به تنش‌های غیرزیستی مختلف مانند شوری و خشکی در درختان میوه حائز اهمیت می‌باشد (Qustrica *et al*., 2017). بنابراین شناسایی پایه مناسب برای این تنش‌ها باید به سرعت و به‌صورت مداوم انجام شود (Nimbolkar *et al*., 2016). ازآنجایی‌که انتقال آب از ریشه به شاخساره توسط پایه کنترل می‌شود و وضعیت رطوبتی گیاه کاملاً به پایه وابسته است، پایه‌هایی که مقاومت بیش‌تری به تنش شوری و خشکی دارند، برای پیوند زدن بسیار مناسب‌ترند. هم‌چنین توانایی تحمل تنش توسط پایه می‌تواند به پیوندک منتقل شود (Bolta *et al*., 2014). بنابراین انتخاب پایه مناسب و استفاده از هم‌زیستی مایکوریزا می‌تواند یک راه‌کار جدی برای مقابله با اثرات مخرب تنش‌های شوری و خشکی باشد. در این پژوهش به

1. *Glomus mosseae*
2. *G. versiform*
3. *Poncirus trifoliata*
4. *G. fasciculatum*

بررسی میزان تأثیر هم‌زیستی یک گونه قارچ مایکوریزا بر تحمل پایه‌های مهم پسته در ایران پرداخته شد تا میزان تأثیر هم‌زیستی قارچ بر این پایه‌ها در هردو شرایط تنش شوری و خشکی بررسی و پایه مناسب برای این شرایط انتخاب شود.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه و آزمایشگاه‌های پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال ۹۶-۱۳۹۵ به‌اجرا درآمد. هر دو آزمایش به‌صورت فاکتوریل با سه فاکتور مایکورایزا، پایه و تنش (یک آزمایش خشکی و یک آزمایش شوری) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار (هر تکرار شامل دو گیاه) انجام شد. مایکوریزا دارای دو سطح (با و بدون مایکوریزا)، پایه دارای چهار سطح (بادامی‌ریز زرند، قزوینی، سرخس و UCB1) و تنش نیز دارای چهار سطح (شاهد، تنش خفیف، تنش متوسط و تنش شدید) بود. خاک مورد استفاده در این آزمایش مخلوطی از دو سوم خاک مزرعه و یک سوم ماسه بود (هدایت الکتریکی ۰/۹، پ‌هاش ۷/۵٤) که قبل از استفاده جهت استریل‌شدن به‌مدت یک ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ اتمسفر قرار داده شد. در این آزمایش از گونه قارچ فونلیفرمیس موسه‌آ[1]،تهیه‌شده از شرکت زیست‌فناوران توران (دارای ۸۰ عدد اسپور در گرم خاک خشک) استفاده و مایه قارچ موردنظر به‌مدت چهار ماه در گلخانه روی گیاه ذرت به‌عنوان گیاه تله پرورش یافت. پس از اطمینان از هم‌زیستی مناسب قارچ با گیاه ذرت (هم‌زیستی ۹۰ درصد) از مخلوط ریشه گیاه ذرت و خاک گلدان به‌عنوان اینوکولوم (مایه قارچ) برای مراحل بعدی آزمایش استفاده شد.

بذرهای مورد نیاز پایه‌ها از مؤسسه تحقیقات پسته رفسنجان تهیه و پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد در اتاقک رشد با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس از جوانه‌زنی در گلدان‌های پنج لیتری کاشته شدند. هم‌زمان مایه‌کوبی با اضافه‌کردن ۱۰۰ گرم مایه قارچ به‌صورت نواری انجام شد. دانهال‌های پسته چهار ماه قبل از اعمال تنش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد با دمای ۵±۲۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی ۲۸/۷ درصد و شدت نور میانه روز ۱۰±٤۲ کیلولوکس رشد کردند. تنش خشکی به‌صورت وزنی در چهار سطح ۱۰۰ (شاهد)، ۸۰، ٦۰ و ٤۰ درصد ظرفیت زراعی و تنش شوری در چهار سطح ۰/۹۱، ۷/۵۷، ۱٦/۱۲ و ۲٤/٦۳ دسی‌زیمنس برمتر (معادل شاهد، تنش خفیف، تنش متوسط و تنش شدید) با استفاده از نمک کلرید سدیم به‌مدت ٦۰ روز اعمال شد.

در پایان آزمایش درصد رطوبت برگ، ساقه، ریشه و سطح برگ محاسبه شد. بعد از جداسازی اندام‌های هوایی و ریشه وزن تر هر نمونه اندازه‌گیری شد و سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از خشک‌شدن وزن شده و مجموع وزن اندام هوایی و ریشه به‌عنوان ماده خشک کل محاسبه شد. درصد رطوبت بافت با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\text{درصد رطوبت} = \frac{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تر})}{\text{وزن تر}} \times ۱۰۰ \quad \text{رابطه ۱)}$$

جهت اندازه‌گیری سطح برگ، برگ را با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ (LAM; Leaf Area Meter-C1-2002,USA) اسکن کرده و سطح برگ براساس سانتی‌متر مربع به‌دست آمد.

نشت الکترولیت‌ها

میزان نشت الکترولیت‌ها به‌روش Lutts *et al.* (1991) و براساس هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد.

1. *Funneliformis mosseae*

رنگدانه‌ها

میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل و کارتنوئیدها بعد از اعمال تنش با استفاده از روش Lichtenthaler (1987) با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون ۸۰ درصد اندازه‌گیری شد.

برای سنجش آنتوسیانین از روش Wagner (1979) استفاده شد. میزان جذب نور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (*PG Instruments, T80 UV/VIS*) در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه گیری شد. برای محاسبه میزان آنتوسیانین از ضریب خاموشی ۳۳۰۰۰ سانتی‌مترمربع بر مول (cm^2/mol) استفاده شد.

رابطه ۲) $A=\varepsilon bc$

ضریب خاموشی (ε)، جذب خوانده‌شده (A)، عرض کیووت (b) و غلظت محلول (c).

تجزیه آماری داده‌ها برای هر تنش (شوری و خشکی) به‌صورت جداگانه با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۵) و مقایسه بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ($P<۰/۰۵$) صورت گرفت. شاخص‌های کلروفیل کل، کارتنوئیدها و آنتوسیانین در آزمایش حاضر در طول اعمال تنش (قبل از شروع تنش، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز پس از اعمال تنش‌ها) برآورد گردید که برای ارئه نتایج آن‌ها هر پایه به‌صورت جداگانه با سه فاکتور (زمان، مایکوریزا و تنش) تجزیه و تحلیل شد. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی[1] با استفاده از داده‌های اثرات سه‌جانبه (مایکوریزا، پایه و تنش) و با استفاده از نرم‌افزار *R* (نسخه ۵) انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. درصد رطوبت ریشه، ساقه و برگ

در هر دو شرایط تنش شوری و خشکی تلقیح با مایکوریزا باعث افزایش درصد رطوبت برگ در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده شد (جدول ۱)، زیرا هم‌زیستی قارچ با ریشه پایه‌های پسته باعث افزایش ریزوسفر آن‌ها شده و دسترسی گیاه به بخش‌های بیش‌تری از خاک را میسر می‌کند و در نتیجه باعث جذب آب بیش‌تر از خاک می‌شود (Barzana *et al*., 2012; Kaiser *et al*., 2015). از طرف دیگر، شبکه گسترده هیف‌های مایکوریزا به‌عنوان کانال‌هایی برای مبادله آب بین ریشه گیاهان و محیط خاک عمل می‌کنند (Buscot, 2015) و باعث تأثیر مثبت در جذب و انتقال آب و مواد معدنی محلول و غیرمحلول در خاک می‌شود (Abdel-Salam *et al*., 2018). نتایج نشان داد در شرایط تنش شوری میزان رطوبت ساقه گیاهان تلقیح‌نشده با مایکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح‌شده بالاتر بود که ممکن است به‌علت تأثیر مایکوریزا در بهبود هدایت برگی و انتقال بهتر آب از ساقه به برگ‌ها باشد (Abdl-Fattah *et al*., 2014) هدایت برگی بهتر که یکی از مکانیسم‌های مایکوریزا برای القای مقاومت به گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است منتج به بهبود انتقال آب از ریشه و ساقه به طرف برگ‌ها می‌شود. هم‌چنین انباشت یون‌های سمی در برگ منجر به انتقال آب به طرف برگ‌ها جهت حفظ تعادل اسمزی و عدم آسیب به سلول می‌شود (Abdel-Salam *et al*., 2018).

پایه UCB1 بیش‌ترین درصد رطوبت برگ، ساقه و ریشه را تحت تنش شوری داشت، اما از نظر رطوبت برگ و ساقه با پایه بادامی‌ریز تفاوتی‌نداشت و تحت تنش خشکی بیش‌ترین درصد رطوبت ساقه در پایه سرخس و UCB1 و بیش‌ترین رطوبت برگ در پایه سرخس دیده شد. پایه‌هایی که توانایی بهتری در رشد ریشه و حفظ آن در شرایط تنش داشته باشند می‌توانند از نظر جذب آب بهتر عمل کنند و تحمل بیش‌تری به شرایط تنش داشته باشند، زیرا توانایی گیاهان در مقاومت به تنش‌ها، تا حد زیادی به ریشه وابسته است (Romero *et al*., 2006). تحت تنش شدید خشکی

1. Principle Component Analysis (PCA)

درصد رطوبت ساقه و ریشه در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۲۸/۱ و ۲۳/۱ درصد کاهش یافت، اما کاهش معنی‌داری در درصد رطوبت برگ دیده نشد. تنش شدید شوری باعث کاهش درصد رطوبت برگ، ساقه (۲٤ درصد) و ریشه (۱۳/۸ درصد) نسبت به شاهد شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین درصد رطوبت ریشه در هر دو شرایط تنش مربوط به پایه UCB1 هم‌زیست با مایکوریزا بود. هم‌چنین تحت تنش شوری کم‌ترین درصد رطوبت ساقه در پایه سرخس (بدون مایکوریز ۲٦/۹ و با مایکوریز ۲۸/۵ درصد) و کم‌ترین درصد رطوبت برگ در پایه سرخس با میانگین ۳۹/۹ درصد و گیاهان تلقیح‌نشده قزوینی وجود داشت (جدول ۲). به‌طورکلی، براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها رطوبت ریشه، ساقه و برگ در تنش خشکی تحت تأثیر اثرات متقابل مایکوریزا و تنش قرار گرفت و با افزایش شدت تنش رطوبت ریشه، ساقه و برگ در گیاهان تلقیح‌نشده با مایکوریزا کاهش یافت. اثر متقابل پایه با تنش شوری بر درصد رطوبت هرسه اندام معنی‌دار بود و در شرایط تنش خشکی تنها رطوبت ریشه تحت تأثیر اثر متقابل پایه و تنش قرار گرفت (جدول ۲). کاهش میزان رطوبت در شرایط تنش شوری و خشکی ممکن است به‌علت بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق باشد که منجر به کاهش انرژی لازم برای جذب آب می‌شود. هم‌چنین در شرایط تنش ظرفیت رشد ریشه‌ها کاهش یافته و مناطق کم‌تری از خاک را پوشش می‌دهند، بنابراین ظرفیت گیاه برای جذب آب کم‌تر شده و سبب کاهش میزان رطوبت می‌شود (Chelli-Chaabouni *et al*., 2010; Rahneshana *et al*., 2018). از طرف دیگر در شرایط تنش شوری به‌علت وجود یون‌های سدیم و کلر در خاک پتانسیل اسمزی کاهش یافته و جذب آب برای گیاه سخت خواهد شد که منجر به کاهش درصد رطوبت نسبت به گیاهان شاهد می‌شود (Fattahi *et al*., 2014).

جدول ۱. آثار ساده تیمارهای مایکوریزا، پایه و تنش بر درصد رطوبت ریشه، ساقه و برگ گیاه‌ها

اثرات ساده	آزمایش تنش شوری			آزمایش تنش خشکی		
	رطوبت ریشه (%)	رطوبت ساقه (%)	رطوبت برگ (%)	رطوبت ریشه (%)	رطوبت ساقه (%)	رطوبت برگ (%)
بدون مایکوریز	٥٦/٤	٤٨/٦ a	٦٠/٩ b	٥٦/٥	٥٢/١	٦٠/٠ b
با مایکوریز	٥٧/٤	٤٣/٥ b	٦١/٤ a	٥٩/٠	٦٠/٧	٧١/١ a
بادامی‌ریز	٥٦/١ b	٥١/٢ ab	٦٧/٥ a	٥٧/٥ b	٤٦/٠ b	٦٧/٤ b
قزوینی	٤٤/٠ c	٣٢/٧ c	٥٧/٥ b	٤٦/٠ c	٤٥/٢ b	٥٠/٢ c
سرخس	٥١/٠ b	٥٤/١ b	٥٢/٣ b	٥١/٣ c	٦٨/٧ a	٧٦/٦ a
UCB1	٦٩/٦ a	٥٥/٣ a	٦٦/٤ a	٦٨/٧ a	٦٥/٥ a	٦٧/٨ b
شاهد	٥٧/١ a	٥٤/٧ a	٦٠/٨ a	٦٥/٧ a	٦٧/٥ a	٦٨/٢
تنش خفیف	٥٩/٥ a	٤٣/٨ b	٥٩/٦ b	٥٧/٢ b	٥٩/٠ b	٦٧/٨
تنش متوسط	٥٤/٨ ab	٤٣/٩ b	٥٩/٩ b	٥٠/١ c	٥٠/٤ c	٦٣/٧
تنش شدید	٤٢/٢ c	٤١/٩ b	٦٨/٤ a	٥٠/٥ c	٤٨/٥ c	٦٢/٥
اثرات ساده تیمارها						
مایکوریزا	ns	**	*	ns	ns	**
پایه	***	**	*	**	**	***
تنش	***	*	**	***	***	ns

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

ns و *، **، ***: نبود اختلاف معنی‌داروا‌ختلاف معنی‌دار در سطح احتمال صفر، ۱ و ۰/۱ درصد.

جدول ۲. آثار دوجانبه مایکوریزا با پایه، مایکوریزا با تنش و تنش با پایه بر درصد رطوبت ریشه، ساقه و برگ گیاه‌ها

اثرات دوجانبه	آزمایش تنش شوری			آزمایش تنش خشکی		
مایکوریزا × پایه	رطوبت ریشه (%)	رطوبت ساقه (%)	رطوبت برگ (%)	رطوبت ریشه (%)	رطوبت ساقه (%)	رطوبت برگ (%)
بادامی ریز بدون مایکوریز	۵۶/۳ b	۷۳/۹ a	۶۶/۹ b	۵۸/۱ b	۴۴/۸ c	۶۱/۹ cd
قزوینی بدون مایکوریز	۲۹/۴ c	۴۷/۲ b	۴۷/۵ c	۳۲/۹ c	۴۳/۰ c	۳۵/۵ e
سرخس بدون مایکوریز	۶۶/۵ b	۲۶/۹ c	۳۹/۹ c	۶۵/۱ b	۷۳/۰ b	۸۸/۵ a
بدون مایکوریز UCB1	۵۹/۳ b	۴۶/۵ b	۸۹/۲ a	۵۴/۹ b	۴۷/۳ c	۵۴/۲ d
بادامی ریز مایکوریز	۵۵/۹ b	۴۳/۰ b	۶۸/۰ b	۵۶/۸ b	۴۷/۲ c	۷۳/۰ bc
قزوینی مایکوریز	۵۸/۷ b	۳۸/۵ bc	۶۷/۵ b	۵۹/۲ b	۴۷/۴ c	۶۴/۹ cd
سرخس مایکوریز	۳۵/۴ c	۲۸/۵ c	۴۵/۵ c	۳۷/۵ c	۶۴/۴ b	۶۴/۸ cd
مایکوریز UCB1	۷۹/۸ a	۶۴/۱ a	۶۴/۶ b	۸۲/۵ a	۸۳/۷ a	۸۱/۵ ab
مایکوریزا × تنش						
شاهد بدون مایکوریز	۵۴/۸	۵۳/۴	۵۸/۵	۶۷/۴ a	۶۷/۲ a	۶۳/۵ ab
تنش خفیف بدون مایکوریز	۵۶/۹	۴۶/۷	۶۰/۹	۵۳/۴ a-c	۵۱/۹ ab	۶۷/۴ a
تنش متوسط بدون مایکوریز	۵۵/۳	۴۹/۸	۵۸/۷	۴۳/۶ c	۴۴/۷ b	۶۰/۹ ab
بدون مایکوریز تنش شدید	۴۴/۵	۴۴/۵	۶۵/۴	۴۶/۷ bc	۴۴/۲ b	۴۸/۲ b
شاهد مایکوریز	۵۹/۵	۵۶/۱	۶۳/۰	۶۴/۱ a	۶۷/۸ a	۷۲/۹ a
تنش خفیف مایکوریز	۶۲/۱	۴۰/۸	۵۸/۳	۶۱/۰ ab	۶۶/۰ a	۶۸/۲ a
تنش متوسط مایکوریز	۵۴/۲	۳۸/۰	۵۳/۰	۵۶/۶ a-c	۵۶/۱ ab	۶۶/۴ a
مایکوریز تنش شدید	۵۳/۹	۳۹/۲	۷۱/۳	۵۴/۴ a-c	۵۲/۷ ab	۷۶/۷ a
پایه × تنش						
بادامی ریز شاهد	۵۷/۹ a-c	۵۷/۷ ab	۶۷/۹ a-c	۶۰/۴ ab	۶۰/۵	۶۴/۲
بادامی ریز تنش خفیف	۷۳/۹ a-d	۳۷/۸ a-c	۷۲/۳ a-c	۵۸/۹ ab	۴۴/۵	۷۱/۷
بادامی ریز تنش متوسط	۵۵/۹ a-c	۳۷/۴ a-c	۵۴/۵ a-d	۵۶/۱ ab	۴۲/۳	۷۵/۳
بادامی ریز تنش شدید	۵۶/۵ a-c	۴۷/۴ ab	۷۵/۱ ab	۵۴/۵ a-c	۳۶/۷	۵۸/۶
قزوینی شاهد	۴۱/۳ b-d	۳۵/۳ bc	۵۴/۳ a-d	۶۹/۵ a	۵۸/۱	۵۵/۶
قزوینی تنش خفیف	۵۳/۴ a-d	۴۱/۸ a-c	۵۷/۷ a-d	۴۸/۴ a-c	۵۲/۰	۵۵/۳
قزوینی تنش متوسط	۴۹/۰ a-d	۳۴/۱ bc	۶۷/۲ a-c	۳۳/۲ c	۳۳/۳	۴۶/۲
قزوینی تنش شدید	۳۲/۵ d	۱۹/۷ c	۵۰/۸ a-d	۳۳/۱ c	۳۷/۳	۴۳/۸
سرخس شاهد	۵۷/۹ a-c	۶۳/۰ a	۶۰/۸ a-d	۶۱/۸ a-b	۸۲/۵	۸۳/۴
سرخس تنش خفیف	۶۰/۶ ab	۵۲/۰ ab	۶۴/۴ a-d	۵۲/۱ a-c	۶۹/۷	۷۲/۸
سرخس تنش متوسط	۴۹/۶ a-d	۴۸/۴ ab	۶۳/۷ a-d	۴۲/۷ bc	۶۳/۴	۶۶/۲
سرخس تنش شدید	۳۵/۷ cd	۴۱/۲ a-c	۳۸/۶ d	۴۸/۷ a-c	۵۹/۲	۸۴/۱
شاهد UCB1	۷۱/۵ a	۶۲/۹ a	۶۰/۰ a-d	۷۱/۳ a	۶۸/۸	۶۹/۷
تنش خفیف UCB1	۷۰/۱ a	۴۳/۶ a-c	۴۴/۰ cd	۶۹/۳ a	۶۹/۸	۷۱/۴
تنش متوسط UCB1	۶۴/۵ ab	۵۵/۵ ab	۶۷/۰ d	۶۸/۴ a	۶۲/۷	۶۶/۹
تنش شدید UCB1	۷۲/۲ a	۵۹/۱ ab	۸۰/۶ a-c	۶۵/۹ a	۶۰/۷	۶۳/۴
اثرات متقابل تیمارها						
مایکوریزا ×پایه	*	**	***	**	*	**
مایکوریزا × تنش	ns	ns	ns	ns	**	*
پایه × تنش	*	*	*	**	ns	ns
مایکوریزا × پایه × تنش	ns	ns	ns	ns	ns	ns

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

ns و *، **، ***: نبود اختلاف معنی‌داروااختلاف معنی‌دار در سطح احتمال صفر، ۱ و ۰/۱ درصد.

۳. ۲. ماده خشک کل

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها در هر دو شرایط تنش شوری و خشکی بیش‌ترین و کم‌ترین ماده خشک کل به‌ترتیب در پایه UCB1 و سرخس مشاهده شد (جدول۳). هم‌چنین در اثر هر دو تنش ماده‌خشک کل کاهش یافت و کم‌ترین میانگین آن در بالاترین سطح تنش وجود داشت. استفاده از هم‌زیستی مایکوریزا باعث افزایش ماده‌خشک کل نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده با مایکوریزا گردید (جدول ۲).

۳. ٤. سطح برگ

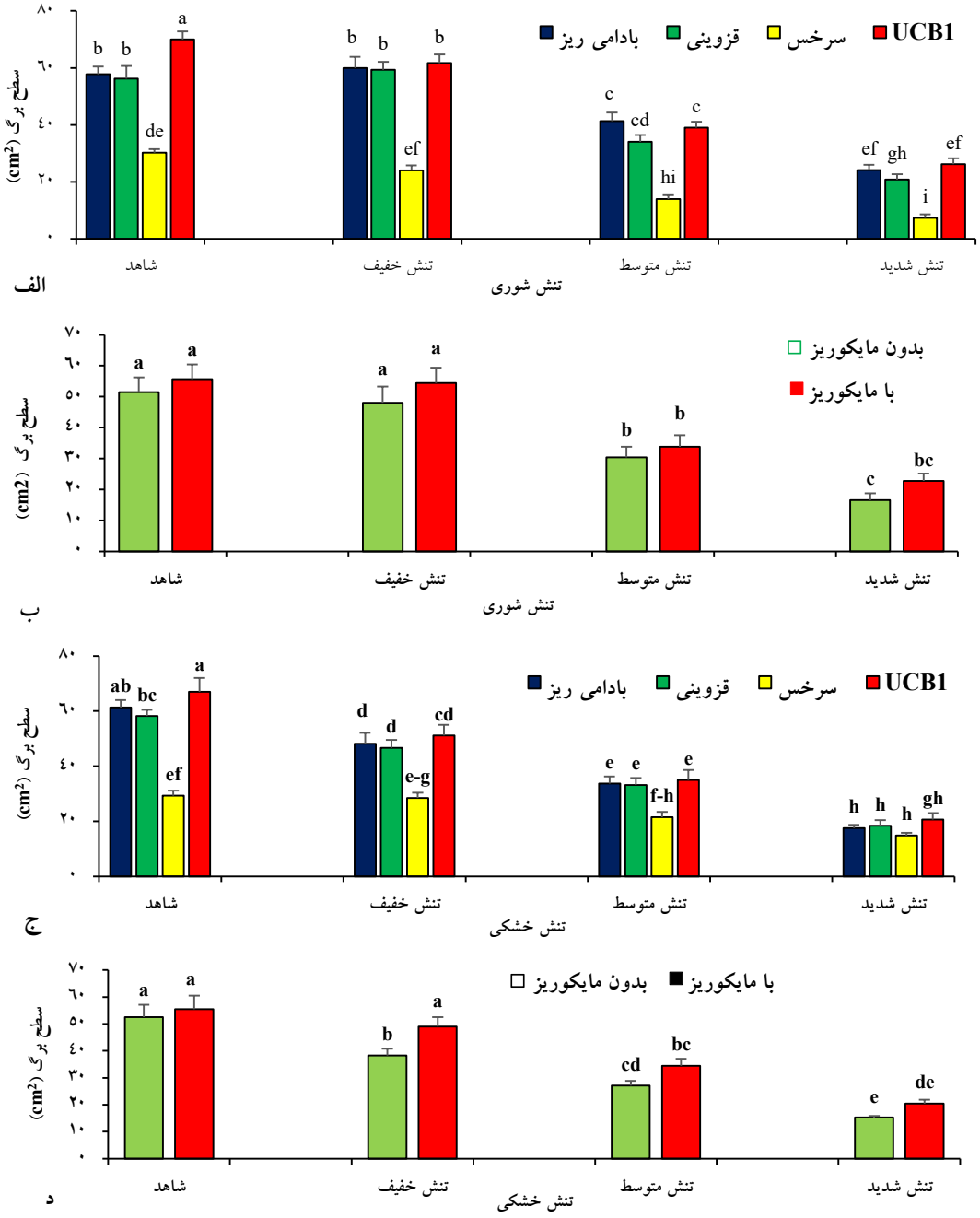
براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها سطح برگ همه پایه‌ها در اثر تشدید تنش شوری و خشکی نسبت به شاهد کاهش یافت. کم‌ترین سطح برگ تحت تنش شوری در همه سطوح در پایه سرخس وجود داشت و در بالاترین سطح تنش خشکی تفاوت معنی‌داری بین پایه‌ها از نظر سطح برگ وجود نداشت (شکل ۱). سطح برگ گیاهان تلقیح‌شده و تلقیح‌نشده با مایکوریزا در هر دو شرایط تنش شوری و خشکی کاهش یافت و در تنش شوری تفاوتی بین گیاهان هم‌زیست و غیرهم‌زیست با مایکوریزا از نظر سطح برگ وجود نداشت. از طرف دیگر، تحت تنش خشکی خفیف سطح برگ گیاهان هم‌زیست با مایکوریزا نسبت به گیاهان غیر هم‌زیست بیش‌تر بود (شکل ۱–ب و د). نتایج این آزمایش نشان داد در اثر تنش شوری و خشکی ماده خشک و سطح برگ کاهش یافت که با نتایج آزمایش‌های دیگر روی سیب (Liu *et al*., 2012)، پسته (Fattahi *et al*., 2014) و بادام (Fathi *et al*., 2017) مطابقت دارد. کاهش ماده خشک و سطح برگ در شرایط تنش ممکن است به‌علت کاهش جذب آب به‌دلیل تنش اسمزی و عدم جذب آب به دلایل مختلف از جمله بسته‌شدن بخشی از روزنه‌ها باشد. بسته‌شدن روزنه‌ها باعث کاهش تبادلات CO_2 و فتوسنتز شده و منجربه کمبود انرژی لازم برای رشد گیاه و در نتیجه کاهش ماده خشک می‌شود (Nadeem *et al*., 2014; Fathi *et al*., 2017).

جدول ۳. تأثیر پایه، تنش و هم‌زیستی مایکوریزا بر ماده خشک کل گیاه‌ها

تیمارها	ماده خشک کل (g DW)		تیمارها	شوری	خشکی
	شوری	خشکی			
بادامی‌ریز	۱۹/۸۵ b	۲۰/۱٤ b			
قزوینی	۱٦/۳٤ c	۱۳/۱٤ c	پایه	***	***
سرخس	۸/٤٤ d	۹/۸٦ d	مایکوریزا	*	*
UCB1	۲٤/٤۱ a	۲۳/۷۸ a	تنش	***	**
شاهد	۲۱/۹۵ a	۱۸/۹۹ a	پایه × مایکوریزا	ns	ns
تنش خفیف	۲۰/۲٦ a	۱۸/۰۷ a	پایه × تنش	*	*
تنش متوسط	۱٦/۷۲ b	۱۷/۹۱ a	مایکوریزا × تنش	ns	ns
تنش شدید	۱۱/۱۲ c	۱۱/۹٦ b	پایه × مایکوریزا × تنش	ns	ns
بدون مایکوریز	۱۵/٤۲ b	۱۳/۹۵ b			
با مایکوریز	۱۹/٦۰ a	۱۹/۵۲ a			

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

ns و *، **، ***: به‌ترتیب نبودن اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد.



شکل ۱. تأثیر تیمارهای مایکوریزا، تنش شوری (الف و ب) و خشکی (ج و د)، بر سطح برگ چهار پایه پسته

مطالعات متعددی نشان داده‌اند تلقیح با مایکوریزا باعث بهبود رشد گیاه در شرایط تنش می‌شود (Kumar *et al*., 2010; Abbasi *et al*., 2011; Manchanda & Garg, 2011). بهبود رشد در اثر گیاهان مایکوریز به جذب بهتر آب و مواد معدنی به‌ویژه فسفر و نیتروژن نسبت داده‌شده زیرا مایکوریزا با مکانیسم‌های مختلف از جمله تولید آنزیم‌های فسفاتاز و گسترش هیف‌های خود بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارند. مایکوریزا می‌تواند با افزایش

ظرفیت جذب ازطریق برقراری تعادل اسمزی مناسب، سبب حفظ روند فتوسنتز در گیاهان شود که نتیجه آن افزایش رشد گیاه و رقیق شدن املاح و کاهش سمیت یون‌های نمک است (Kumar *et al*., 2015).

۳. ۵. رنگدانه‌های گیاهی

تأثیر تنش خشکی بر پایه‌های بادامی‌ریز، قزوینی و UCB1 سریع‌تر از تنش شوری نمایان شد و محتوای کلروفیل کل در زمان دوم (۲۰ روز پس از اعمال تنش خشکی) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، در حالی‌که در تنش شوری این کاهش در زمان سوم (٤٠ روز پس از اعمال تنش شوری) قابل مشاهده بود. در پایه سرخس برعکس سه پایه دیگر ابتدا تنش شوری (۲۰ روز پس از اعمال تنش) و سپس تنش خشکی (٤٠ روز پس از اعمال تنش) باعث کاهش در محتوای کلروفیل کل شد (جدول٤).

جدول ٤. تغییرات شاخص‌های کلرفیل کل، نسبت کلرفیل a به b، کارتنوئیدها و آنتوسیانین در پایه‌های مختلف در طول تنش شوری و خشکی

پایه	روز پس از تنش	آزمایش تنش شوری				آزمایش تنش خشکی			
		کلرفیل کل (mgg^{-1} fw)	کلروفیل a/b	کارتنوئید (mgg^{-1} fw)	آنتوسیانین ($\mu molg^{-1}$ fw)	کلرفیل کل (mgg^{-1} fw)	کلروفیل a/b	کارتنوئید (mgg^{-1} fw)	آنتوسیانین ($\mu molg^{-1}$ fw)
بادامی ریز									
	۰	۲/٤٤a	۲/۷۹b	۰/۹۰	۵۸/۵٤b	۲/۳۸a	۳/۷۸b	۰/۸۷ab	۵٦/۵٦d
	۲۰	۲/۳۵a	۲/۸۹b	۰/۹۳	۵۸/٦۸b	۲/۲۵b	٤/۲۱b	۰/۹۱a	٦۰/۹۳c
	٤۰	۱/۹۹b	۳/٤۵a	۰/۹٦	٦۷/۵۸a	۱/۷۵c	۵/۹٦a	۰/۸۹a	٦۵/۱۳b
	٦۰	۱/۷٦c	۳/۵۱b	۰/۹٤	٦۷/۷۷a	۱/٦۳d	۵/٦۷a	۰/۸۲b	۷۷/۸۵a
قزوینی									
	۰	۲/٤۵a	۳/۲۵ab	۰/۹۰	۵۵/۵۱b	۲/٤٤a	۳/۱۳b	۰/۸۷ab	۵۷/۹٦c
	۲۰	۲/٤۱a	۳/۱٤b	۰/۹۱	۵۵/۸۳b	۲/۲۷b	۲/۸۸b	۰/۹۰a	٦۰/۱۵bc
	٤۰	۲/۰٤b	۳/٤۲a	۰/۹۲	٦٦/۳٦a	۱/۸۰c	٦/۳۳a	۰/۸۹a	٦٤/۳٤b
	٦۰	۱/۸۵c	۳/۲٦ab	۰/۸۹	٦٦/۸۹a	۱/٦٤d	۵/٦۸a	۰/۸۵b	۷۵/۷٤a
سرخس									
	۰	۲/٤۱a	۳/۰۵c	۰/۹۰a	۵٤/۳۱b	۲/۳۹a	۳/٤٤c	۰/۸۷	۵۹/٤۰b
	۲۰	۲/۲۹b	۳/۳۷b	۰/۹۱a	۵۷/۲۸b	۲/۳٤a	۲/٦۰d	۰/۸۹	۵۷/۲۸b
	٤۰	۱/۹۸c	۳//۳۹b	۰/۹۵a	۵۷/۳۱b	۱/۹۰b	۵/۳۸a	۰/۹۱	۵۷/۳۱b
	٦۰	۱/٦٤d	۳/٦٦a	۰/۷۹b	٦۵/۱٤a	۱/۷۵c	٤/۷۳b	۰/۹۲	٦۵/۱٤a
UCB1									
	۰	۲/۱۹a	۳/۳٤	۰/۸٦a	۳٦/۱۱	۲/٤۳a	۲/۷۸ab	۰/۸۰	۳۸/٤٤ab
	۲۰	۲/۲۸a	۳/۰۳	۰/۷٦b	٤۱/۲۳	۲/۲۰b	۲/۵۷b	۰/۸۰	۲٦/۷۵b
	٤۰	۱/۹۲b	۰/۵۲	۰/۸۲ab	۵۵/۵٤	۱/۸٦c	۲/۳٤b	۰/۸۱	۳٤/۹۳b
	٦۰	۱/۸۳b	۲/۳۲	۰/۷٦b	٦۵/٤٤	۱/٦۲d	۳/۳٦a	۰/۷۹	۵۲/۲۰a
معنی‌داری									
بادامی‌ریز		**	*	ns	**	***	*	*	**
زرند									
قزوینی		**	*	ns	*	***	**	*	*
سرخس		***	***	*	*	***	***	ns	*
UCB1		**	ns	*	ns	***	*	ns	*

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

ns و *، **، ***: به‌ترتیب نبودن اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد.

در طول زمان نسبت کلروفیل a به b در تمام پایه‌های تحت تأثیر تنش خشکی افزایش یافت هم‌چنین در پایه بادامی‌ریز و سرخس این نسبت در اثر تنش شوری افزایش یافت، اما در پایه قزوینی و UCB1 اختلاف معنی‌داری از نظر نسبت کلروفیل a به b وجود نداشت (جدول ٤).

کاهش کارتنوئیدها در طول زمان تنها در تنش شوری و ٦٠ روز پس از اعمال تنش مشاهده شد. با گذشت زمان از تنش خشکی تغییری در محتوای کارتنوئیدهای پایه UCB1 ایجاد نشد، اما در تنش شوری از میزان کارتنوئیدها نسبت به شاهد کاسته شد (جدول ٤). میزان آنتوسیانین در برگ پایه بادامی‌ریز افزایش یافت که تحت تنش شوری این افزایش در٤٠ روز پس از اعمال تنش و در تنش خشکی در ٢٠ روز پس از اعمال تنش دیده شد (جدول ٤). تحت تنش شوری با گذشت زمان میزان آنتوسیانین رو به افزایش بود و بیش‌ترین میزان آن در بالاترین سطح تنش مشاهده شد. میزان آنتوسیانین در هردو شرایط تنش در طول زمان افزایش یافت (جدول ٤).

بیش‌ترین میزان کاهش در محتوای کلروفیل کل در بالاترین سطح تنش شوری و خشکی مشاهده شد (جدول٥). نسبت کلروفیل a به b در پایه بادامی‌ریز، قزوینی و سرخس در هر دو شرایط شوری و خشکی افزایش یافت (جدول ٥). میزان کارتنوئیدهای پایه قزوینی و سرخس در اثر تنش شوری و کارتنوئیدهای پایه قزوینی در اثر تنش خشکی کاهش یافت. تأثیر تنش شوری بر محتوای کارتنوئیدهای پایه UCB1 معنی‌دار نبود، اما تنش خفیف خشکی باعث افزایش معنی‌دار کارتنوئیدها نسبت به شاهد شد (جدول ٥). میزان آنتوسیانین برگ پایه بادامی‌ریز با افزایش سطوح تنش شوری و خشکی افزایش یافت. در پایه قزوینی میزان آنتوسیانین برگ در اثر هر دو تنش افزایش یافت و افزایش آنتوسیانین در اثر تنش شوری تنها در بالاترین سطح (تنش شدید) مشاهده شد. آنتوسیانین پایه سرخس و UCB1 تنها تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت و تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر میزان آنتوسیانین برگ نداشت (جدول ٥).

کاهش کلروفیل در اثر تنش شوری و خشکی ممکن است به‌دلیل تغییر در فعالیت روزنه‌ها باشد، زیرا تنش باعث محدودشدن هدایت روزنه‌ای، کاهش CO_2، کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و تأثیر بر فتوسنتز می‌شود (Hojjat-Nooghi & Mozafari, 2012; Bas & Gurel, 2016). هم‌چنین کاهش کلروفیل‌ها می‌تواند مربوط به فعال‌شدن مسیر کاتابولیسم کلروفیل (کلروفیلاز)، کاهش جذب یون‌هایی مانند آهن و منیزیم، زوال غشای کلروپلاست و تیلاکوئیدها باشد، زیرا نتایج نشان داد تحت تنش شوری و خشکی نشت الکترولیت‌ها افزایش یافت. از طرف دیگر، کاهش کلروفیل ناشی از تنش شوری ممکن است مربوط به اثرات آنتاگونیستی عناصر غذایی با یون‌های سمی شوری باشد (Giri & Mukerji, 2002). افزایش در نسبت کلروفیل a به b ممکن است ناشی از حساسیت بیش‌تر و زوال بیش‌تر کلروفیل b در شرایط تنش باشد. متفاوت‌بودن میزان کلروفیل توسط Ranjbar *et al*. (2000) در گونه‌های دیگر پسته (خنجوک و بنه) و هم‌چنین Eskandari *et al*. (2011) در ارقام قزوینی و بادامی‌ریز زرند گزارش شده، تفاوت در پاسخ پایه‌ها از نظر رنگدانه‌های گیاهی می‌تواند به‌دلیل پاسخ متفاوت گونه‌های مختلف گیاهی و ژنوتیپ‌های درون یک گونه به تنش شوری و خشکی باشد (Jogaiah *et al*., 2014). گزارش‌هایی مبنی بر کاهش محتوای کلروفیل کل تحت تنش شوری و خشکی وجود دارد (Ranjbar *et al*., 2000; Eskandari *et al*., 2011; Fattahi *et al*., 2014; Shamshiri & Fattahi, 2016) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

جدول ۵. تغییرات شاخص‌های کلرفیل کل، نسبت کلرفیل a به b، کارتنوئیدها و آنتوسیانین در پایه‌های مختلف در شرایط تنش شوری و خشکی

پایه		آزمایش تنش شوری				آزمایش تنش خشکی			
	سطوح تنش	کلرفیل کل (mgg^{-1} fw)	کلروفیل a/b	کارتنوئید (mgg^{-1} fw)	آنتوسیانین ($\mu molg^{-1}$ fw)	کلرفیل کل (mgg^{-1} fw)	کلروفیل a/b	کارتنوئید (mgg^{-1} fw)	آنتوسیانین ($\mu molg^{-1}$ fw)
بادامی ریز									
	شاهد	۲/٤٦a	۳/۱٤b	۰/۹۰	۵۸/۵٤b	۲/٤٦a	۳/۵۰b	۰/۸۷ab	۵٦/۵٦d
	تنش خفیف	۲/۱٤b	۳/۰٦b	۰/۹۳	۵۸/٦۹b	۱/۹۹b	۳/۲٦b	۰/۹۱a	٦۰/۹٤c
	تنش متوسط	۲/۱۰b	٦/۸۲a	۰/۹٦	٦۸/۵۸a	۱/۸٦c	٦/۸۲a	۰/۸۹a	٦۵/۱۳b
	تنش شدید	۱/۸۵c	۲/۹۹b	۰/۹۳	٦۷/۷۷a	۱/۷۳d	٦/۰٦a	۰/۸۲b	۷۷/۸۵ a
قزوینی									
	شاهد	۲/٦۱a	۳/۱۹b	۰/۹۳a	۵۸/۳۳b	۲/٦۱a	۲/۹۳c	۰/۸۸b	۵۷/٦۳b
	تنش خفیف	۲/۱۸b	۲/۸٦b	۰/۹۳a	۵۸/۳۲b	۲/۱۱b	۳/۹٦b	۱/۰۰a	۵۹/۸٤b
	تنش متوسط	۲/۱۱b	۳/٤۹a	۰/۸٤b	٦۱/٦۹b	۲/۹٦c	۵/۳۵a	۰/۸۲c	۷۱/۲٦a
	تنش شدید	۱/۸۵c	۳/۵۲a	۰/۹۲a	٦٦/۲۵a	۱/۷۲d	۵/۷۸a	۰/۸۱c	٦۹/٤۷a
سرخس									
	شاهد	۲/٤۷a	۲/۸۸c	۰/۸۳b	۵۵/۵٤c	۲/٤٤a	۲/۹۹c	۰/۸۵b	۵۷/۹٦
	تنش خفیف	۲/۰۷b	۲/۹۰b	۰/۹۲a	۵۷/۵۸c	۲/۰۳b	۳/٦۵b	۰/۸۸b	٦۰/۷۰
	تنش متوسط	۲/۰۹b	۲/٦۸a	۰/۹۸a	٦۸/۹۲b	۲/۰٤b	٤/۵۸a	۰/۸۹b	٦۰/۰۰
	تنش شدید	۱/٦۸c	٤/۰۱a	۰/۸۰b	۷۳/۹۸a	۱/۸٦c	٤/۹٤a	۰/۹۷a	٦۰/٤۷
UCB1									
	شاهد	۲/٤۸a	۳/۳۳a	۰/۸۳	۵٤/۲٤a	۲/۳۵a	۲/۸٦	۰/۸۰b	۳۱/۳۵
	تنش خفیف	۲/۰٤b	۲/۷۸b	۰/۸۵	٤٤/۳۳b	۲/۰۵b	۲/۵۹	۰/۸۸a	۳۸/۹۹
	تنش متوسط	۱/۸۹bc	۲/۹۳b	۰/۷۵	٤٦/۰۱ab	۱/۹۸b	۲/٦۲	۰/۷٦b	٤۰/۷٦
	تنش شدید	۱/۸۱c	۲/۱۷c	۰/۷۸	۵۷/۷٤a	۱/۷۳c	۲/۹۷	۰/۷۷b	٤۱/۲۱
معنی‌داری									
بادامی‌ریز زرند		**	*	ns	*	**	*	*	***
قزوینی		**	**	*	*	***	*	***	*
سرخس		***	***	*	**	**	**	*	ns
UCB1		*	**	ns	*	**	ns	*	ns

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

ns و *، **، *: به‌ترتیب نبودن اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد.**

نتایج نشان داد در گذر زمان از غلظت کارتنوئیدها کاسته شد که این کاهش در شرایط شوری و خشکی می‌تواند به‌علت تخریب اکسیداتیو باشد، زیرا کارتنوئیدها به تخریب اکسیداتیو بسیار حساس هستند (Zrig *et al.*, 2016). هم‌چنین نتایج این آزمایش نشان داد در برخی پایه‌ها (قزوینی و سرخس) تنش خفیف و متوسط باعث

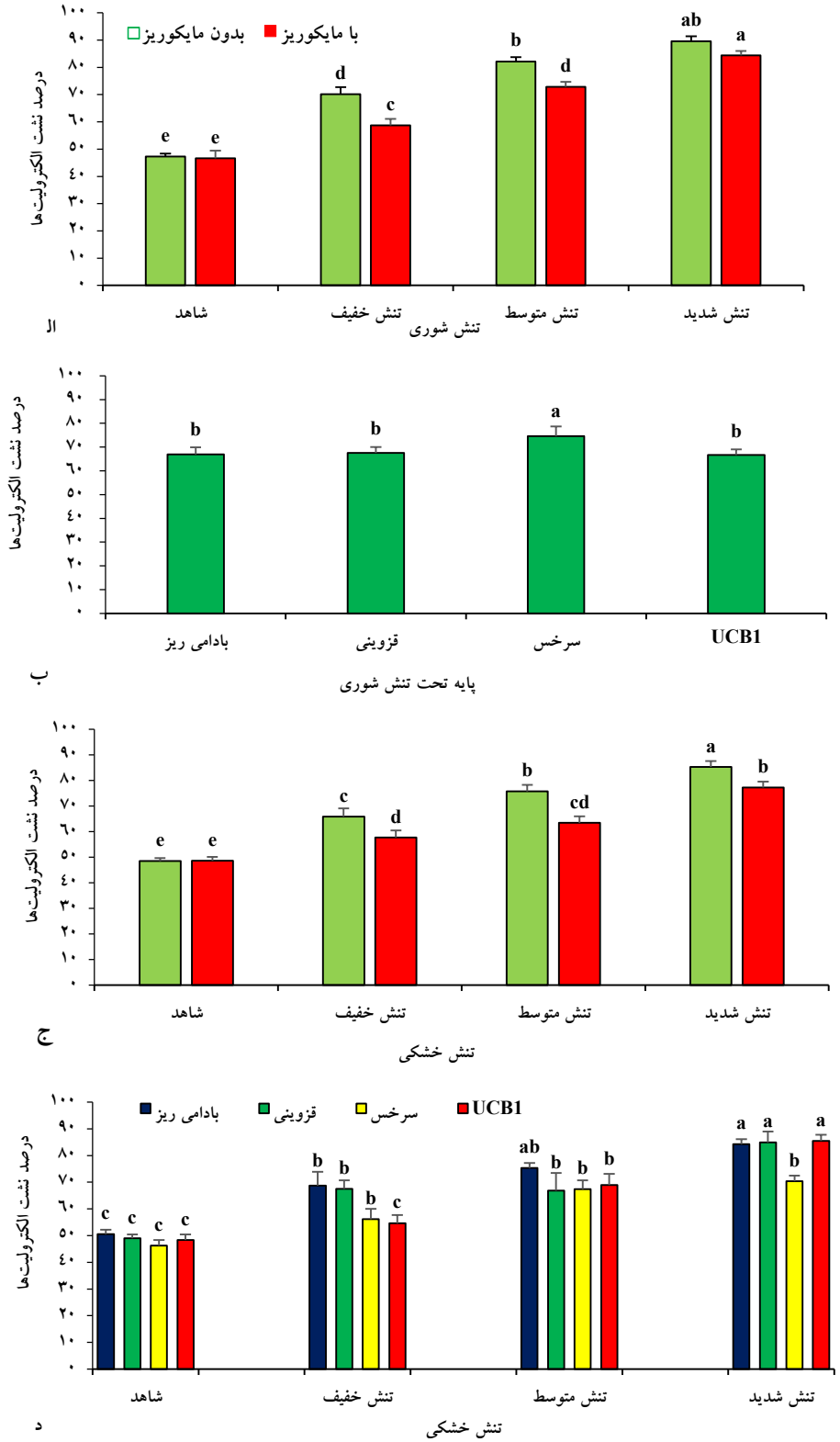
افزایش غلظت کارتنوئیدها نسبت به شاهد شد که ممکن است به‌علت خاصیت آنتی‌اکسیدانتی آن باشد. کارتنوئیدها علاوه بر این‌که به‌عنوان رنگدانه کمکی عمل می‌کند به‌عنوان آنتی‌اکسیدانت مؤثر در حفاظت از فرایندهای فتوشیمیایی و پایداری آن‌ها نقش دارد بنابراین بالاتربودن کارتنوئیدها در پایه‌ها نشان‌دهنده مقاومت بهتر آن‌ها در برابر تنش است. افزایش میزان آنتوسیانین در شرایط تنش به‌علت نقش آنتی‌اکسیدانی آن است که در پایه‌ها به اثبات رسیده است (Zrig *et al*., 2011, 2016). بنابراین گیاهانی که در بافت خود آنتوسیانین بیش‌تری دارند، اغلب در برابر تنش مقاوم‌ترند (Paine *et al*., 1992).

۳. ٦. نشت الکترولیت‌ها

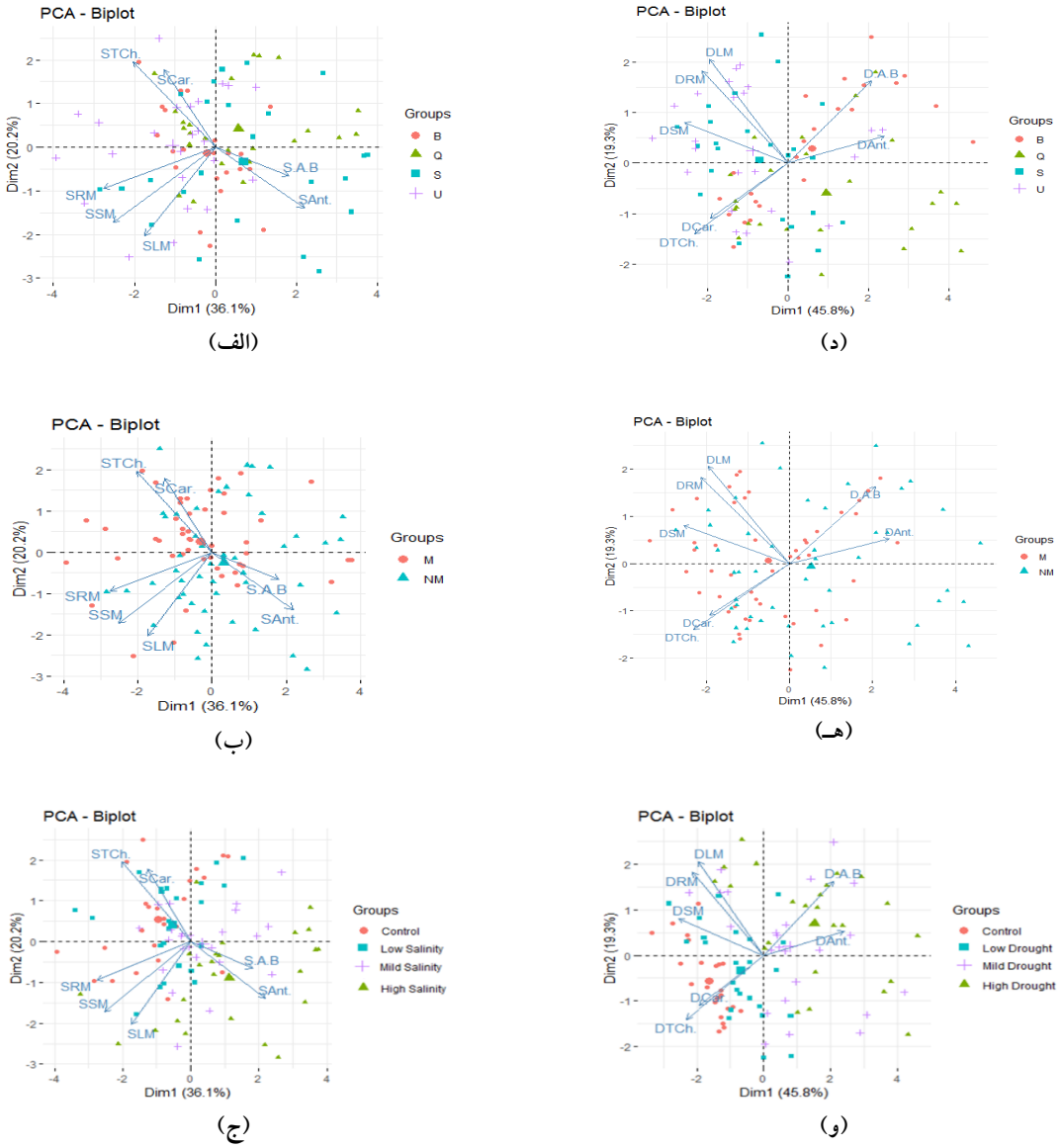
میزان نشت الکترولیت‌ها در اثر تنش شوری و خشکی در هر دو گیاهان هم‌زیست و غیر هم‌زیست با مایکوریزا افزایش یافت. در سطوح خفیف و متوسط تنش شوری و سطوح خفیف و شدید تنش خشکی میزان نشت الکترولیت‌های گیاهان غیر هم‌زیست با مایکوریزا به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود (شکل ۳- الف و ج). در شرایط تنش شوری حداکثر نشت الکترولیت‌ها در پایه سرخس مشاهده شد و دیگر پایه‌ها در یک گروه قرار داشتند. تنش خشکی باعث افزایش نشت الکترولیت همه پایه‌ها نسبت به شاهد گردید و کم‌ترین نشت الکترولیت در پایه سرخس مشاهده شد (شکل ۳- ب و د). افزایش نشت الکترولیت‌ها ناشی از آسیب به غشای سلولی در اثر تنش شوری و خشکی می‌باشد. مطالعات نشان داده یکی از راه‌کارهای پایه‌های درختان میوه برای افزایش تحمل در برابر تنش حفظ یکپارچگی غشا است (Bolta *et al*., 2014) و هر پایه‌ای که بتواند نشت الکترولیت کم‌تر داشته باشد و یا به‌عبارت دیگر حفاظت از غشای سلولی را بهتر انجام دهد به تحمل بهتری در شرایط تنش دارد. نشت الکترولیت‌ها در گیاهان هم‌زیست با مایکوریزا کم‌تر بود زیرا تیمار مایکوریزا گیاهان میزبان را قادر می‌سازد تا بالاترین غلظت الکترولیت را نسبت به گیاهان بدون مایکوریزا حفظ کنند و باعث حفظ تمامیت و بهبود ثبات غشا شوند. هم‌چنین نفوذپذیری غشای پلاسمایی به الکترولیت‌ها در گیاهان هم‌زیست با مایکوریزا بسیار پایین‌تر از گیاهان بدون مایکوریزا است، که نتایج پژوهش حاضر نیز با نتایج ذکرشده مطابقت داشت. افزایش ثبات غشا به‌واسطه قارچ‌های مایکوریزا به افزایش جذب فسفر، کلسیم، پتاسیم و افزایش تولید آنتی‌اکسیدانت‌ها، نسبت داده شده است (Feng *et al*., 2002).

۳. ۷. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

نمودارهای الف، ب و ج مربوط به تنش شوری و نمودارهای د، ه و و مربوط به تنش خشکی است (شکل ۲). از نظر واکنش پایه‌ها، نتایج تجزیه مؤلفه‌ها نشان داد در شرایط تنش شوری پایه UCB1 و در شرایط تنش خشکی پایه سرخس و UCB1 نسبت به پایه‌های دیگر در وضعیت بهتری از نظر رطوبت اندام‌ها قرار داشتند (شکل ۲- الف و د). گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده در هر دو شرایط تنش دارای کلروفیل کل و کارتنوئید بیش‌تری بودند و رطوبت اندام‌های گیاهان هم‌زیست با مایکوریزا در تنش خشکی نسبت به گیاهان هم‌زیست نشده بهتر بود (شکل ۲- ب و ه). کم‌ترین میزان رطوبت ریشه، ساقه و برگ و بیش‌ترین میزان آنتوسیانین برگ و بالاترین نسبت کلرفیل a به b در بالاترین سطح تنش شوری و خشکی وجود داشت (شکل ۲- ج و و). مایکوریزا با تسهیل جذب آب از طریق گسترش ریزوسفر گیاه، حفظ هدایت روزنه‌ای و ادامه فتوسنتز و تعرق، حفظ تورژسانس سلول و بهبود جذب عناصر غذایی باعث بهبود وضعیت رطوبتی گیاه شده و منجر به کاهش اثرات سوء تنش‌ها می‌شوند (Kumar *et al*., 2015).



شکل ۳. تأثیر تنش (شوری و خشکی) و مایکوریزا بر نشت الکترولیت‌های دانهال‌های بادامی‌ریز زرند، قزوینی، سرخس و UCB1



شکل ۲. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) Biplot برای شاخص‌های درصد رطوبت برگ (LM)، ساقه (SM)، ریشه (RM)، کلروفیل کل (TCh)، نسبت کلروفیل a/b (A.B)،کارتنوئیدها (Car) و آنتوسیانین (Ant) پایه‌های مختلف پسته [بادامی‌ریز زرند (B)، قزوینی (Q)، سرخس (S) و UCB1 (U)] هم‌زیست با مایکوریزا (M) و بدون مایکوریزا (NM) تحت سطوح مختلف تنش شوری (الف، ب و ج) و خشکی (د، ه و و) به‌مدت ۶۰ روز.

٤. نتیجه‌گیری

هم‌زیستی مایکوریزا باعث افزایش درصد رطوبت اندام‌ها در هر دو شرایط تنش به‌ویژه خشکی شد هم‌چنین باعث افزایش سطح برگ و کاهش نشت الکترولیت‌ها شد، که نشان از مؤثر بودن مایکوریزا در شرایط تنش دارد. تنش‌های شوری و خشکی باعث کاهش سطح برگ، میزان رطوبت برگ، ساقه، ریشه و کلرفیل کل و افزایش آنتوسیانین برگ شدند. تحت تنش خشکی کاهش کلروفیل کل در پایه‌های بادامی‌ریز زرند، قزوینی و UCB1 در زمان دوم (۲۰ روز پس از تنش) مشاهده شد و در مقایسه با تنش شوری سریع‌تر

بود. این نتایج نشان می‌دهد این پایه‌ها زودتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند. پایه سرخس تحت تنش خشکی (تنش شدید) نسبت به پایه‌های دیگر نشت الکترولیت کم‌تر و درصد رطوبت ساقه و برگ بیش‌تری داشت. با توجه به نتایج پایه‌های UCB1 و بادامی‌ریززند تحت تنش شوری و پایه UCB1 و سرخس تحت تنش خشکی تحمل بیش‌تری داشتند و هم‌زیستی مایکوریزا باعث تأثیر مثبتی در افزایش تحمل پایه‌ها در برابر تنش شوری و خشکی شد.

۵. تشکر و قدردانی

از صندوق حمایت از پژوهش‌گران و فن‌آوران کشور (INSF) که از این پژوهش حمایت مالی کردند، قدردانی می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

Abbasi, M. K., Sharif, S., Sultan, T., & Aslam, M. (2011). Isolation of plant growth promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on improving growth, yield and nutrient uptake of plants. *Plant Biosystem*, *145*, 159–168.

Abdel-Fattah, G. M., Asrar, A. A., Al-Amri, S. M., & Abdel-Salam, E. M. (2014). Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization on the gas exchange, growth and phosphatase activity of soybean (*Glycine max* L.) plants grown in a sandy loam soil. *Journal Food Agriculture Environment, 12*, 150–165.

Abdel-Salam, E., Alatar, A., & El-Sheikh, M. A. (2018). Inoculation with arbuscular mycorrhiza fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *25*, 1772–1780.

Bach, E., Seger, G. D. S., Fernandes, G. C., Lisboa, B. B., & Passaglia, L. M. P. (2016). Evaluation of biological control and rhizosphere competence of plant growth promoting bacteria. *Appl Soil Ecology*, *99*, 141–149.

Barzana, G., Aroca, R., Paz, J. A., Chaumont, F., Martinez-Ballesta, M. C., Carvajal, M., & Ruız-Lozano J. M. (2012). Arbuscular mycorrhizal symbiosis increases relative apoplastic water flow in roots of the host plant under both well-watered and drought stress conditions. *Annual Botany-London*, *109*, 1009–1017.

Bas, H., & Gurel, S. (2016). The influence of Zn, Fe and B applications on leaf and fruit absorption of table olive "Gemlik" based on phonological stages. *Scientia Horticulturae, 198*, 336–343.

Buscot, F. (2015). Implication of evolution and diversity in arbuscular and ectomycorrhizal symbioses. *Journal of Plant Physiology, 172*, 55–61.

Chelli-Chaabouni, A., Mosbah, A. B., Gargouri-Bouzid, R., & Drira, N. (2010). In vitro salinity tolerance of two pistachio rootstocks: *Pistacia vera* L. and *P. atlantica* Desf. *Environmental and Experimental Botany*, *69*, 302–312.

Eskandari, S., Mozafari, V., & Tajabadipour, A. (2011). Effects of copper and salinity on some physiological and anatomical indices of two pistachio cultivars under greenhouse conditions. *Journal of Water and Soil, 3*, 1210-1223.

Fathi, H., Imani, A., Amiri, M. E., Hajilou, J., & Nikbakht, J. (2017). Response of Almond Genotypes/Cultivars Grafted on GN15 'Garnem' Rootstock in Deficit-Irrigation Stress Conditions. *Journal of Nuts, 8*(2), 123-135.

Fattahi, M., Shamshiri, M. H., & Esmaeilzade, M. (2014). Evaluation of leaf physiomorphological responses of three pistachio rootstocks inoculated with arbuscular mycorrhizae to aalt stress. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, *15*(4), 469-482. (In Persian)

Feng, G., Zhang, F. S., Li, X., Tian, C. Y., Tang, C., & Rengel, Z. (2002). Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*, *12*, 185–190.

Giri, B. R., & Mukerji, K. G. (2002). VA mycorrhizal techniques/VAM technology in establishment of plants under salinity stresses condition. *Techniques in mycorrhizal stueies*, Kluwer, Dordrecht, pp. 313-327.

Hashem, A., Abd-Allah E. A. A., Aldubise, A., & Egamberdieva, D. (2015). AM enhances salinity tolerance of *Panicum turgidum* Forssk by altering photosynthetic and antioxidant pathways. *Journal of Plant Interaction*, *10*, 230–242.

Hojjat-Nooghi, F., & Mozafari, V. (2012). Effects of calcium on eliminating the negative effects of salinity in pistachio (*Pistacia vera* L.) Seedlings. *Australian Journal of Crop Science*, *6*(4), 711-716.

Jogaiah, S., Ramteke, S. D., Sharma, J., & Upadhyay, A. K. (2014). Moisture and salinity stress induced in biochemical constituents and water relations of different grape rootstock cultivars. *International Journal of Agronomy*, 8page. http://dx.doi.org/10.1155/2014/789087

Kaiser, C., Kilburn, M. R, Clode, P. L., Fuchslueger, L., Koranda, M., Cliff, J. B., Solaiman, Z. M., & Murphy D.V. (2015). Exploring the transfer of recent plant photosynthates to soil microbes: mycorrhizal pathway vs direct root exudation. *New Phytol*ogy, *205*, 1537–1551.

Khoyerdi, F., Shamshiri, M. H., & Estaji A. (2016). Changes in some physiological and osmotic parameters of severalpistachio genotypes under drought stress. *Scientia Horticulturae*, *198*, 44–51.

Kumar, A., Sharma, S., Mishra, S., & Dames J. F. (2015). Arbuscular mycorrhizal inoculation improves growth and antioxidative response of *Jatropha curcas* (L.) under Na_2SO_4 salt stress. *Plant Bio system, 149*, 260–269.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic. *Methods Enzymol*, 148, 350–382.

Liu, B., Cheng, L., Ma, F., Zou, Y., & Liang, D. (2012). Growth, biomass allocation, and water use efficiency of 31 apple cultivars grown under two water regimes. *Agroforestry Systems*, *84*(2), 117-129.

Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaClinduced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany Journal*, *78*(3), 389-398. https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134.

Machado, R. M. A., & Serralheiro, R. P. (2017). Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Scientia Horticulturae*, *3*(30), 10, 339-350.

Manchanda, G., & Garg, N. (2011). Alleviation of salt-induced ionic, osmotic and oxidative stresses in *Cajanus cajan* nodules by AM inoculation. *Plant Biosystem*, *145*, 88–97.

Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., & Ashraf, M. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Adv*, *32*, 429–448.

Nimbolkar, P. K. Shiva B., & Amarjeet K. R. (2016). Rootstock breeding for abiotic stress tolerance in fruit crops. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*, *9*(3), 375-380.

Paine, T. D., Hanlon, C. C., Pittenger, D. R., Ferrin, D. M., & Malinoski, M. K. (1992). Consequences of water and nitrogen management on growth and aesthetic quality of drought-tolerant woody landscape plants. *Journal of Environmental Horticulture*, *10*, 94-99.

Qustrica, J., Morillonb, R., Luroc, F., Herbetted, S., Lourkistia, R., Giannettinia, J., & Bertia, J. L. (2017). *Santini trifoliata* L. Raf.) Enhances natural chilling stress tolerance of common Tetraploid Carrizo citrange rootstock (*Citrus sinensis* Osb. × *Poncirus clementine* (*Citrus clementina* Hort. ex Tan). *Journal of Plant Physiology, 214*, 108–115.

Rahneshana, Z., Nasibia, F., & Ahmadi Moghadam, A. (2018). Effects of salinity stress on growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of plant interactions*, *1*, 73–82.

Ranjbar, R., Lemeur, R., & Vandamme, P. (2000). Ecophysiological characteristic of two pistachio species (*Pistacia khinjuk* and *P. mutica*) in response to salinity. *Gent University*, *53*,179-188.

Rashid M.A., Mujawar L.H., Shahzad T., Almeelbi T., Ismail I.M.I., & Oves M. (2016). Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiol Res*, *183*, 26–41.

Romero, P., Navarro, J. M., Perez-Perez, J., Garcia-Sanchez, F., Gomez-Gomez, A., Porras, I., Martinez, V., & Botia, P. (2006). Deficit irrigation and rootstock: their effects on water relations, vegetative development, yield, fruit quality and mineral nutrition of *Clemenules mandarin*. *Tree Physiology, 26*, 1537–1548.

Shamshiri, M. H. & Fattahi, M. (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*(1), 101–110.

Singh, J. S., Abhilash, P. C., & Gupta, V. K. (2016). Agriculturally important microbes in sustainable food production. *Trend Biotechnology, 34*, 773–775.

Wagner, G.J. (1979). Content and vacuole/ extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology*, *64*, 88-93.

Wu, Q. S., Zou, Y. N., Liu, W., Ye, X. F., Zai, H. F., & Zhao, L. J. (2010). Alleviation of salt stress in citrus seedlings inoculated with mycorrhiza: changes in leaf antioxidant defense systems. *Plant Soil Environment*, *56*, 470-475.

Yuan, S. F., Li, M. Y., Fang, Z. Y., Liu, Y., Shi, W., Pan, B., Wu, K., Shi, J. X., Shen, B., & Shen, Q. R. (2016). Biological control of tobacco bacterial wilt using *Trichoderma harzianum* amended bio-organic fertilizer and the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae*. *Biology Control*, *92*, 164–171.

Zrig, A., Mohamed, H. B., Tounekti, T., Khemira, H., Serrano, M., Valeroc, D., & Vadel, A. M. (2016). Effect of rootstock on salinity tolerance of swe*et al*mond (cv. Mazzetto). South African Journal of Botany, *102*, 50–59.