

Effect of Drought Stress on Growth and Physiological Parameters in Four Pistachio Rootstocks (*Pistacia vera* L.)

Introduction

Pistachio is one of the most important horticultural crops in Iran. Most pistachio orchards are located in arid and semi-arid regions of the country, which have a lack of irrigation water. Drought stress reduces the quantity of pistachio nuts. It has reported that type of rootstock can effected on resistance of pistachio trees to drought and salinity stress. Hence one the breeding aspect of pistachio is produce resistance rootstocks to drought stress.

Material and methods

In order to evaluate the resistance of four pistachio rootstocks to drought stress, a factorial experiment in a completely randomized design with two drought factors at three levels (3, 6 and 9 days irrigation intervals) and a rootstock at four levels, 'Badami- e- Riz-e-Zarand', 'Ghazvini', *Eurycarpa* (*Pistacia eurycarpa*), and an interspecific hybrid (*P. vera* × *P. terebinthus*) with three replications were performed under greenhouse conditions. Hybrid rootstocks produce in a breeding program using hybridization of *P. vera* as female parent and *P. terebinthus* as male parent. In the end of experiment growth parameters, physiological and mineral of concentration of shoot and root were measured.

Results and Discussion

The results showed that drought stress reduced growth and physiological indices so that the lowest reduction in shoot dry weight was related to the hybrid rootstock and the highest reduction was related to 'Ghazvini'. In response to drought stress, the content of proline and soluble carbohydrates in the leaves of the studied rootstock increased. The results of this study are in line of other studies on pistachio. The highest content of proline and the lowest content of soluble carbohydrates were observed in 'Badami- e- Riz-e-Zarand'. The highest content of soluble carbohydrates belonged to *Eurycarpa* and hybrid rootstocks. Drought stress affected the nutrient concentrations of shoots and roots. So that increased the potassium content of shoots and roots. The highest potassium concentrations of shoots and roots were observed in *Eurycarpa* and hybrid rootstocks, respectively.

Conclusion

According to the results of the present study, it can be postulated that *Eurycarpa* and hybrid rootstocks have a high potential for drought resistance.

Keywords: Proline, Soluble carbohydrates, Hybrid, *P. eurycarpa*

اثر تنش خشکی بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی چهار پایه پسته

نجمه زین الدینی، حمیدرضا کریمی*، فاطمه ناظوری، سیدرسول صحافی

دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان

* - hrkarimi2017@gmail.com

چکیده

به منظور ارزیابی میزان مقاومت چند پایه پسته به تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور خشکی در سه سطح (۳، ۶ و ۹ روز) و پایه در چهار سطح (بادامی ریز زرنده، قزوینی، یوریکارپا و یک هیبرید بین گونه‌ای (ورا × تربینتوس) و سه تکرار در شرایط گلخانه به اجرا در آمد. نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی شد به گونه‌ای که کم‌ترین کاهش وزن خشک اندام هوایی مربوط به پایه هیبرید و بیش‌ترین کاهش مربوط به پایه قزوینی بود. در پاسخ به تنش خشکی، میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در برگ پایه‌های مورد بررسی افزایش یافت. بیش‌ترین میزان پرولین (۰/۶۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان کربوهیدرات‌های محلول (۰/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در پایه بادامی ریز زرنده دیده شد. بیش‌ترین میزان کربوهیدرات‌های محلول نیز در پایه‌های یوریکارپا (۱/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و هیبرید (۱/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد. تنش خشکی بر غلظت عناصر غذایی اندام هوایی و ریشه تأثیر داشت. به طوری که تنش خشکی سبب افزایش میزان پتاسیم اندام هوایی و ریشه گردید. بالاترین غلظت پتاسیم اندام هوایی و ریشه به ترتیب در پایه‌های یوریکارپا (۳، ۱/۸ درصد) و هیبرید (۲/۷، ۲ درصد) مشاهده شد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان عنوان کرد که پایه‌های یوریکارپا و هیبرید از پتانسیل بالای مقاومت به خشکی برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: پرولین، کربوهیدرات، هیبرید، یوریکارپا

مقدمه

تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده برای تولید گیاهان در اقلیم‌های خشک به‌شمار می‌رود. تنش خشکی از طریق تولید رادیکال‌های اکسیژن فعال مراحل رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه از جمله فتوسنتز می‌شود و در صورت تداوم مرگ گیاه را به دنبال خواهد داشت. اثرات تنش خشکی در گیاهان بسته به رقم، مرحله رشد گیاه و میزان صدمات وارد شده متفاوت می‌باشد (۲۰). اگرچه پسته (*P. vera L.*) به دلیل داشتن ریشه‌های عمیق جزء درختان میوه مقاوم به خشکی مطرح می‌باشد اما گزارش شده است که تنش آبی سبب کاهش عملکرد و کیفیت خشک میوه در این محصول می‌گردد. میزان مقاومت به خشکی در پسته بستگی به ژنوتیپ پیوندک و نوع پایه مورد استفاده متفاوت می‌باشد بنابراین ارزیابی گونه‌های پسته از دید پایه و استفاده آن‌ها در برنامه‌های به نژادی پسته

حائز اهمیت می‌باشد (۱۹). گونه‌های تربینتوس^۱ و یوریکارپا^۲ دو گونه از جنس پسته می‌باشند که در برخی از مناطق پسته کاری ترکیه به‌عنوان پایه استفاده می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این دو پایه مقاومت خوبی به تنش خشکی

دارند (۱۸). Gijóna و همکاران (۱۱) در پژوهشی گلخانه‌ای سه پایه پسته (تربینتوس، آتلانتیکا و پایه هیبرید (ورا × آتلانتیکا) را تحت تنش خشکی مورد بررسی قرار دادند و گزارش دادند که تنش آبی به‌طور قابل توجهی سطح برگ پایه‌های مورد بررسی را کاهش داد به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش سطح برگ به‌ترتیب متعلق به پایه‌های هیبرید و تربینتوس بود. هم‌چنین Noguera-Artiaga و همکاران (۲۶) در پژوهشی سه پایه پسته آتلانتیکا، اینتگریمما و تربینتوس را در سه سطح خشکی (صفر، ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال) مورد ارزیابی قرار دادند و گزارش کردند که شرایط تنش آبی سبب افزایش چشمگیر در میزان ترکیبات فنلی (۱۰ درصد نسبت به شاهد) به‌خصوص در گونه تربینتوس گردید. در پژوهشی دیگر روابط آبی گونه تربینتوس در شرایط کمبود آب مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که این گونه محتوای نسبی آب خود را در سطوح پایین و متوسط خشکی حفظ کرد و کاهش این پارامتر تنها در تنش شدید کمبود آب مشاهده شد (۳۱). باتوجه به این که اکثر مناطق پسته کاری ایران در مناطق خشک و نیمه خشک کشور قرار دارد و در این مناطق کمیت و کیفیت پایین آب آبیاری عامل اصلی محدود کننده تولید محصول می‌باشد بنابراین یکی از اهداف به‌نژادی پایه‌های پسته علاوه بر پر رشد بودن مقاومت به تنش‌های محیطی می‌باشد. پژوهش‌های چندی در زمینه به‌نژادی پسته از طریق تلاقی درون گونه‌ای و بین گونه‌ای صورت گرفته است. نتایج مطالعه‌ی مالکی و همکاران (۲۳) بر روی سه پایه پسته (قزوینی، بادامی ریز زرد و هیبرید با سه سطح خشکی نشان داد که پایه هیبرید از رشد بهتری تحت تنش خشکی برخوردار بوده و ماده خشک بالاتری (۱/۳ برابر نسبت به پایه قزوینی) تولید نموده است. ایشان هم‌چنین گزارش کردند که پایه هیبرید به‌علت تولید ماده خشک بیش‌تر و کارایی مصرف آب بالاتر نسبت به پایه قزوینی و بادامی ریز زرد در شرایط تنش خشکی متحمل‌تر می‌باشد. در مطالعه‌ی جمعه‌یزدیان و همکاران (۱۷) ضمن بررسی سه سطح خشکی (۴، ۸ و ۱۲ روز) بر روی دو پایه (بادامی ریز زرد و نتاج حاصل از تلاقی دو والد امید بخش) گزارش کردند که با افزایش دور آبیاری پارامترهای F_v/F_m و محتوای نسبی آب برگ‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌گونه‌ای که در بالاترین سطح خشکی پایه هیبرید داری بیش‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ بود. نتایج پژوهش Jamshidi Goharrizi (۱۶) روی چهار پایه پسته UCB-1، بادامی، قزوینی و کله قوچی نشان داد که میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول با افزایش دور آبیاری افزایش یافت در حالی که محتوای پروتئین به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. واکنش دانه‌های پسته بادامی ریز زرد، قزوینی، سرخس و بنه به تنش خشکی توسط قاسمی و همکاران (۹) مورد بررسی قرار گرفته است و گزارش شده است که با افزایش دور آبیاری غلظت عناصر پتاسیم و آهن برگ افزایش یافت اما غلظت کلسیم و منیزیم در برگ و ریشه و هم‌چنین پتاسیم و آهن ریشه کاهش پیدا کرد. از آنجایی که تا کنون هیچ گونه مقایسه‌ای بین پایه‌های بومی پسته ایران با پایه‌های تربینتوس و یوریکارپا در زمینه خشکی صورت نگرفته است در این پژوهش ضمن مقایسه پایه یوریکارپا با پایه‌های قزوینی و بادامی ریز زرد به تنش خشکی هیبرید بین گونه‌ای تربینتوس و ورا به تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۹ در شرایط گلخانه بر روی سه پایه قزوینی، بادامی ریز زرد، یوریکارپا و دورگه بین‌گونه‌ای ورا × تربینتوس انجام شد. ابتدا بذور گونه یوریکارپا با هیپو کلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۱۵ دقیقه ضدعفونی شدند و پس از خیس‌اندن در آب به مدت ۴۸ ساعت داخل کیسه‌های پارچه‌ای مرطوب در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ماه نگهداری شدند. هم‌زمان با پایان نیاز سرمایی بذور یوریکارپا، بذور بادامی ریز زرد، قزوینی و هیبرید حاصل از دو ژنوتیپ TA3 (گونه تربینتوس) و Ah13 (گونه ورا) طبق روش فوق ضدعفونی شدند و به‌همراه بذور یوریکارپا جهت جوانه زنی در دمای ۲۵ درجه

^۱ *P. terebinthus* L.

^۲ *P. eurycarpa* syn. *P. atlantica* sub sp. *kurdica*

سانتی‌گراد در اتاقک رشد قرار داده شدند. بعد از جوانه‌زنی بذور، آن‌ها در گلدان‌های ۲/۵ کیلوگرمی حاوی کوکوپیت و پرلایت و ماسه (با نسبت ۱:۱:۱) و به تعداد پنج بذر در هر گلدان کشت شدند که بعد از کشت به سه عدد در هر گلدان تقلیل داده شد. در طول رشد رویشی ۱۲ ماهه، دانه‌ها هر دو هفته یک‌بار با محلول نیم غلظت هوگلند آبیاری شدند. تیمارهای مختلف آبیاری به مدت ۴۵ روز بر روی دانه‌های یکساله اعمال شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور خشکی (۳، ۶ و ۹ روز دور آبیاری) و پایه (فزیونی، بادامی ریز زرد، یوریکارپا و دورگه بین گونه‌ای ورا × تربینتوس) به اجرا درآمد. در هر دور آبیاری گلدان‌ها به میزان ۵۰۰ میلی لیتر آبیاری شدند. هر تیمار شامل ۳ تکرار و هر تکرار شامل یک گلدان حاوی سه دانه‌ها بود. به این منظور در هر گلدان ۶ بذر کشت شد که بعد از سبز شدن دانه‌ها، سه عدد دانه‌ها یکنواخت در هر گلدان نگه داشته شد و بقیه حذف شدند. در پایان آزمایش، شاخص‌های رشدی (تعداد برگ، سطح برگ، ارتفاع ساقه و همچنین قطر ساقه در ارتفاع یک سانتی‌متری سطح خاک، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه) فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی (فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm)، سبزی‌نگی، شاخص عملکرد (PI)، رنگی‌های گیاهی (کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها)، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، و ترکیبات فنلی) و همچنین عناصر غذایی کلسیم، منیزیم، پتاسیم و آهن اندازه‌گیری شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ مدل CI202 اندازه‌گیری شد. شاخص فلورسانس کلروفیل نیز با دستگاه Hansatech LTDPocket PEA در برگ‌های جوان مورد سنجش قرار گرفت. محتوای نسبی آب برگ با روش Whitehouse (۳۵) و رنگی‌های گیاهی با استفاده از روش پورا^۳ (۲۹) اندازه‌گیری شد. پارامترهای زیست‌شیمیایی شامل میزان پرولین، کربوهیدرات محلول و ترکیبات فنلی بود که میزان پرولین برگ توسط روش پاکوین و لیچاسور^۴ (۲۲، ۲۷)، مقدار کربوهیدرات‌های محلول با روش ایرگون^۵ (۱۴) و محتوای ترکیبات فنلی با روش اسفندیار اوغلو و ذاکر^۶ (۱۵) محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری عناصر غذایی ابتدا ۰/۵ گرم از ریشه و اندام هوایی خشک و آسیاب شدند و سپس در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت سه ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها به خاکستر تبدیل شدند. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال به هر نمونه افزوده شد و در پایان توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. این عصاره به‌طور مستقیم جهت اندازه‌گیری عناصر پتاسیم و آهن استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری عنصر پتاسیم از دستگاه فلیم فتومتر (PFP7, Germany) و برای اندازه‌گیری آهن از دستگاه جذب اتمیک (Australia, PM-Avanta-G) استفاده شد. عناصر کلسیم و منیزیم نیز با استفاده از روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (۸). در پایان آزمایش، آنالیز واریانس (ANOVA) توسط نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ و همچنین مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع دانه‌ها

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، تنها اثر تیمار خشکی بر ارتفاع دانه‌ها از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع دانه‌ها شد به‌طوری که بیش‌ترین میزان ارتفاع مربوط به تیمار شاهد (دور آبیاری ۳ روز) و کم‌ترین آن مربوط به دور آبیاری ۹ روز بود اگرچه بین دور آبیاری ۶ و ۹ روز از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱).

^۳ Porra

^۴ Paquin and Lechasseur

^۵ Irigoyen

^۶ Isfendiyaroglu and Zaker

قطر ساقه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده خشکی و پایه در سطح احتمال یک درصد بر قطر ساقه معنی‌دار شد و برهمکنش خشکی و پایه تأثیری بر قطر ساقه نداشت (جدول ۴-۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها با افزایش خشکی قطر ساقه کاهش یافت به گونه‌ای که کم‌ترین میزان قطر ساقه در دور آبیاری ۹ روز مشاهده شد. مقایسه میانگین پایه‌های مختلف نشان داد که بیش‌ترین میزان قطر ساقه متعلق به پایه هیبرید و کم‌ترین آن متعلق به پایه بادامی ریز زرد بود اگرچه بین پایه بادامی ریز زرد و یوریکارپا تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱).

تعداد برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تیمارهای خشکی و پایه بر تعداد برگ دانه‌ها معنی‌دار نشد، اما اثرات ساده تیمارهای خشکی و پایه در سطوح پنج و یک درصد معنی‌دار بودند. بیش‌ترین تعداد برگ در تیمار شاهد و کم‌ترین آن در دور آبیاری ۹ روز مشاهده شد با این حال بین تیمار شاهد و دور آبیاری ۶ روز تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. از نظر اثر پایه بیش‌ترین تعداد برگ در پایه هیبرید و کم‌ترین تعداد برگ در پایه قزوینی مشاهده گردید به طوری که بین پایه قزوینی با سایر پایه‌ها از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱).

سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به سطح برگ نشان داد که اثر خشکی و پایه بر سطح برگ دانه‌ها پسته در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار شد اما برهمکنش پایه و خشکی تأثیر معنی‌داری در این زمینه نداشت. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که با افزایش دور آبیاری سطح برگ کاهش یافت اگرچه تفاوت معنی‌داری بین دور آبیاری ۶ و ۹ روز مشاهده نشد. از نظر اثر پایه، بیش‌ترین سطح برگ در پایه هیبرید و کم‌ترین میزان آن در پایه یوریکارپا مشاهده شد در حالی که تفاوت معنی‌داری بین پایه‌های یوریکارپا و قزوینی وجود نداشت (جدول ۱).

جدول ۱- تأثیر سطوح تنش خشکی و پایه بر شاخص‌های رویشی دانه‌ها پسته.

Table 2. The effect of drought stress and rootstocks on vegetative parameters of pistachio seedlings.

تیمار Treatment	سطوح Levels	ارتفاع نهال Seedling height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	تعداد برگ Number of leaves	سطح برگ (cm) Leaf area
خشکی Drought	D ₁	16.076 ± 0.732 ^a	1.802 ± 0.031 ^a	14.833 ± 1.471 ^a	6.258 ± 0.460 ^a
	D ₂	12.400 ± 0.439 ^b	1.645 ± 0.042 ^b	13.083 ± 1.844 ^{ab}	5.441 ± 0.454 ^b
	D ₃	11.803 ± 0.632 ^b	1.503 ± 0.062 ^c	11.916 ± 1.671 ^b	5.100 ± 0.446 ^b
پایه Rootstock	B	14.270 ± 1.385	1.555 ± 0.076 ^c	10.888 ± 0.753 ^c	5.811 ± 0.343 ^b
	U	13.751 ± 1.015	1.560 ± 0.070 ^c	15.777 ± 1.341 ^b	4.433 ± 0.258 ^c
	H	12.205 ± 0.500	1.811 ± 0.042 ^a	19.888 ± 0.873 ^a	7.644 ± 0.401 ^a
	G	13.481 ± 0.606	1.674 ± 0.038 ^b	6.555 ± 0.555 ^d	4.511 ± 0.240 ^c

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

D₁: شاهد (دور آبیاری سه روز)، D₂: دور آبیاری ۶ روز، D₃: دور آبیاری ۹ روز، B: بادامی ریز زرد، U: یوریکارپا، H: هیبرید، G: قزوینی

Mean values with similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability using Duncan multiply range test.

D₁: Control (3 days irrigation period), D₂: (6 days irrigation period), D₃: (9 days irrigation period), B: Badami-e-Riz-e-Zarand, U: Eurycarpa, H: Hybrid, G: Ghazvini.

وزن تر و خشک برگ

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثر ساده خشکی و پایه بر وزن تر برگ در سطح یک درصد معنی دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که وزن تر برگ با افزایش دور آبیاری کاهش نشان داد اگر چه تفاوت معنی‌داری بین دور آبیاری ۶ و ۹ روز مشاهده نشد. بیش‌ترین میزان وزن تر برگ در پایه هیبرید و کم‌ترین آن در پایه قزوینی مشاهده شد. با این حال بین پایه‌های بادامی ریز زرد و یوریکارپا نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج هم‌چنین نشان داد وزن خشک برگ تحت تأثیر برهمکنش خشکی و پایه قرار گرفت به‌طوری که با افزایش سطوح خشکی در هر چهار پایه مورد مطالعه وزن خشک برگ کاهش یافت. در پایه یوریکارپا وزن خشک برگ در دور آبیاری ۹ روز نسبت به دور آبیاری ۶ روز تفاوت معنی‌داری نداشت. در دور آبیاری ۹ روز، بیش‌ترین میزان کاهش وزن تر برگ مربوط به پایه‌های بادامی ریز زرد و هیبرید و کم‌ترین مقدار کاهش در پایه هیبرید مشاهده شد اگر چه در این سطح بین پایه‌های هیبرید و یوریکارپا تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (داده‌ها نشان داده نشده است).

وزن تر و خشک ریشه

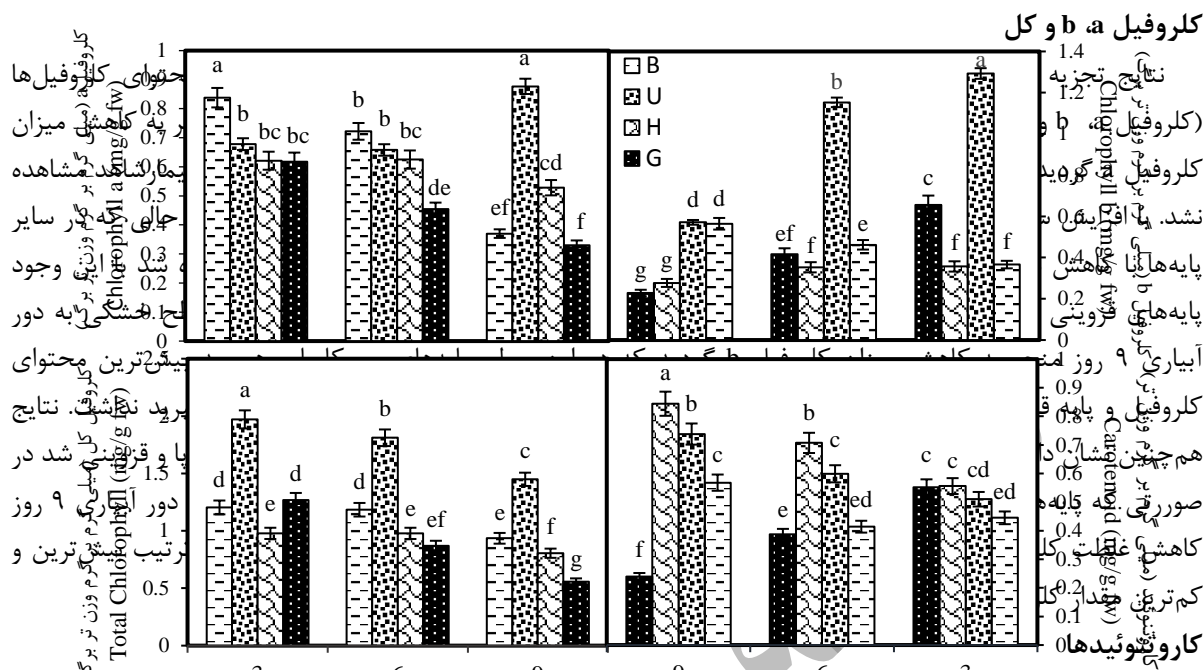
بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات ساده خشکی و پایه بر وزن تر ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. با افزایش دور آبیاری وزن تر ریشه دانه‌ها نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد به‌گونه‌ای که بیش‌ترین وزن تر ریشه در پایه هیبرید و کم‌ترین مقدار آن در پایه یوریکارپا مشاهده شد اگر چه تفاوت معنی‌داری بین پایه‌های بادامی ریز زرد و قزوینی دیده نشد. نتایج هم‌چنین نشان داد که برهمکنش خشکی و نوع پایه بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود. با افزایش دور آبیاری وزن تر ریشه کاهش داشت در صورتی که در دور آبیاری ۶ روز، پایه یوریکارپا تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت. در دور آبیاری ۹ روز، پایه‌های بادامی ریز زرد و هیبرید با ۷۱/۱۷ و ۵۳/۷۷ درصد کاهش وزن خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین میزان وزن خشک ریشه را داشتند. اگر چه در این سطح خشکی بین پایه‌های یوریکارپا و قزوینی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (داده‌ها نشان داده نشده است).

وزن تر و خشک اندام هوایی

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر ساده پایه بر وزن تر اندام هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین وزن تر اندام هوایی در پایه‌های هیبرید و بادامی ریز زرد و کم‌ترین میزان آن در پایه قزوینی مشاهده شد. نتایج هم‌چنین حاکی از آن بود که وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر خشکی و نوع پایه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، سطوح مختلف خشکی تأثیر معنی‌دار بر وزن خشک اندام هوایی داشت به‌طوری که کم‌ترین مقدار آن در دور آبیاری ۹ روز دیده شد. بالاترین میزان وزن خشک اندام هوایی مربوط به پایه هیبرید بود در حالی که پایه‌های یوریکارپا و قزوینی در این زمینه در پایین‌ترین وضعیت قرار داشتند (داده‌ها نشان داده نشده است).

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، ویژگی‌های رویشی مانند ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد و سطح برگ، وزن تر برگ و ریشه و هم‌چنین وزن خشک برگ و ریشه تحت تأثیر دور آبیاری واقع شدند و سطوح متفاوت تنش منجر به کاهش آن‌ها گردید. به‌طور کلی اولین واکنش گیاهان در برابر تنش خشکی، کاهش رشد رویشی می‌باشد. پژوهشگران زیادی گزارش کرده‌اند که با افزایش دور آبیاری ارتفاع و قطر ساقه دانه‌های پسته با کاهش معنی‌داری روبرو می‌شود (۱۱، ۲۳). این کاهش را می‌توان به کاهش فشار تورژانس و طولی شدن سلول‌ها تحت تنش نسبت داد (۳۴). هم‌چنین گزارش شده است که کاهش سطح و تعداد برگ در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌علت کاهش پتانسیل آب خاک، کاهش جذب عناصر غذایی و اختلال در فرآیند فتوسنتز باشد (۱). باقری و همکاران (۲) اثر تنش خشکی بر روی ارقام پسته قزوینی و بادامی ریز زرد را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که وزن تر و خشک برگ، ریشه و اندام هوایی با افزایش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و علت این کاهش را توقف رشد و تقسیم سلولی، فشار پایین تورژانس، کاهش محتوای کلروفیل و اختلال در انتقال مواد غذایی دانستند. در پژوهش حاضر پایه‌های هیبرید و یوریکارپا نسبت به پایه‌های بادامی ریز زرد و قزوینی کم‌ترین میزان حساسیت را از لحاظ پارامترهای رویشی ذکر شده نشان دادند که نشان‌دهنده تأثیرپذیری کم‌تر پایه‌های هیبرید و یوریکارپا نسبت به سایر پایه‌ها از خشکی است. نتیجه‌های ما با نتیجه‌های سلاجقه و همکاران (۳۳) مبنی بر کاهش پارامترهای رویشی در دانه‌های پسته همسو بود.

شاخص‌های فتوسنتزی



نتیجه‌های حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده خشکی، پایه و هم‌چنین برهمکنش خشکی و پایه بر میزان کاروتنوئیدها در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتیجه‌های مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که تنش خشکی در دور آبیاری ۶ روز باعث افزایش میزان کاروتنوئیدها در پایه‌های یوریکاربا و هیبرید گردید در حالی که در پایه قزوینی از غلظت کاروتنوئیدها کاسته شد. کارتنوئید برگ پایه بادامی ریز زرد نیز تحت تأثیر دور آبیاری واقع نشد. این در حالی است که بین پایه‌های بادامی ریز زرد و قزوینی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. با افزایش دور آبیاری و در دور آبیاری ۹ روز، میزان کاروتنوئیدها در پایه قزوینی روند نزولی داشت در صورتی که در دیگر پایه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در این سطح از خشکی پایه هیبرید با ۵۱/۷۹ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد میزان کاروتنوئید بالاتری نشان داد و دارای اختلاف معنی‌داری با سایر پایه‌های مورد مطالعه بود (شکل ۱). گزارش شده است که در اثر تنش خشکی محتوای کلروفیل (کلروفیل a، b و کل) کاهش می‌یابد (۲۸). یکی از دلایل‌های کاهش کلروفیل در این پژوهش می‌تواند مربوط به تجزیه کلروفیل به دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز باشد. با توجه به این که گلوتامات پیش ماده مشترک کلروفیل و پرولین می‌باشد و در شرایط کمبود آب غلظت پرولین برگ افزایش پیدا می‌یابد احتمالاً یکی دیگر از دلایل کاهش محتوای کلروفیل‌ها، می‌تواند افزایش سنتز پرولین باشد (۲۱). در پژوهش حاضر علت افزایش کلروفیل a در دور آبیاری ۹ روز در پایه یوریکاربا کاهش سطح برگ به‌ویژه در بالاترین سطح تنش می‌باشد که موجب افزایش تراکم کلروپلاست در واحد سطح شده و هم‌چنین افزایش کلروفیل می‌گردد (۲۵). به‌طور کلی پایه‌های یوریکاربا و هیبرید نسبت به سایر پایه‌ها از حساسیت کم‌تری برخوردار بودند و کم‌ترین میزان کاهش را نشان دادند و بیش‌ترین میزان کاهش در محتوای رنگدانه‌ها نیز متعلق به پایه قزوینی بود. افزایش غلظت کاروتنوئیدها در پژوهش حاضر به‌دلیل نقش حفاظتی آن‌ها می‌باشد به‌طوری که با دریافت انرژی زیاد طول موج‌های کوتاه و مهار رادیکال‌های اکسیژن ایجاد شده به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل کنند (۶). بنابراین در این پژوهش بالاتر بودن محتوای کاروتنوئیدها در پایه هیبرید نشان‌دهنده مقاومت بالای آن در برابر تنش می‌باشد. نتایج حاضر با نتایج آزمایش مالکی و همکاران (۲۳) در دانه‌های پسته همخوانی دارد.

دور آبیاری (روز)
Irrigation Period (days)

دور آبیاری (روز)
Irrigation Period (days)

شکل ۱- برهمکنش پایه و دور آبیاری بر غلظت کلروفیل a (A)، کلروفیل b (B)، کلروفیل کل (C) و کاروتنوئیدها (D) در دانه‌های پسته: بادامی ریز زرد (B)، یوریکارپا (U)، هیبرید (H)، قزوینی (G). میانگین‌های با دست‌کم یک حرف مشترک دارای تفاوت معنی داری در سطح ۵٪ آزمون LSD نمی‌باشند.

Fig 1. Interaction of drought and rootstock on the content of chlorophyll a (A), chlorophyll b (B), Total chlorophyll (C) and Carotenoid (D) in pistachio seedlings; Badami-Riz-e- Zarand (B), Eurycarpa (U), Hybrid (H) and Ghazvini (G). Means with common letter in each column are not significantly different (LSD test, $p = 0.05$).

شاخص سبزی‌نگی، فلورسانس کلروفیل (F_v/F_m) و شاخص عملکرد (PI)

نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده خشکی و پایه بر شاخص‌های سبزی‌نگی، F_v/F_m و PI در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری شاخص سبزی‌نگی کاهش یافت به طوری که کم‌ترین میزان آن در دور آبیاری ۹ روز مشاهده گردید اگرچه بین دور آبیاری ۶ روز و تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. شاخص F_v/F_m در پایه هیبرید بالاترین مقدار بود و کم‌ترین مقدار آن در پایه یوریکارپا مشاهده گردید اگرچه اختلاف معنی‌داری بین پایه‌های هیبرید، قزوینی و بادامی ریز زرد مشاهده نشد (جدول ۲).

جدول ۲ - تأثیر سطوح تنش خشکی و نوع پایه بر شاخص‌های اکوفیزیولوژیکی و زیست شیمیایی دانه‌های پسته.

Table 2 . The effect of drought stress levels and rootstocks on ecophysiological and biochemical parameter of pistachio seedlings.

تیمار Treatment	سطوح Levels	سبزینگی SPAD	Fv/F _M	محتوای نسبی آب RWC (%)	قندهای محلول Soluble sugars (mg g ⁻¹ FW)
خشکی Drought	D ₁	61.600 ± 2.010 ^a	0.795 ± 0.004 ^a	80.072 ± 1.341 ^a	0.975 ± 0.102 ^a
	D ₂	57.588 ± 2.457 ^a	0.761 ± 0.017 ^{ab}	66.943 ± 2.986 ^b	1.317 ± 0.128 ^b
	D ₃	51.100 ± 1.750 ^b	0.704 ± 0.016 ^c	61.834 ± 2.634 ^b	1.494 ± 0.108 ^a
پایه Rootstock	B	58.488 ± 2.746 ^a	0.750 ± 0.023 ^{ab}	61.651 ± 4.699 ^b	0.880 ± 0.082 ^b
	U	59.788 ± 3.386 ^a	0.713 ± 0.024 ^b	73.865 ± 2.424 ^a	1.641 ± 0.075 ^a
	H	57.833 ± 1.941 ^a	0.788 ± 0.011 ^a	73.182 ± 2.537 ^a	1.584 ± 0.106 ^a
	G	50.900 ± 2.170 ^b	0.762 ± 0.009 ^a	69.766 ± 3.960 ^a	0.943 ± 0.093 ^b

در هرستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

D₁: شاهد (دور آبیاری سه روز)، D₂: دور آبیاری ۶ روز، D₃: دور آبیاری ۹ روز، B: بادامی ریز زرن، U: یوریکارپا، H: هیبرید، G: قزوینی

Mean values with similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability using Duncan multiply range test.

D₁: Control (3 days irrigation period), D₂: (6 days irrigation period), D₃: (9 days irrigation period), B: Badami-e- Riz-e-Zarand, U: Eurycarpa, H: Hybrid, G: Ghazvini.

کاهش شاخص سبزینگی (SPAD) و کاهش سبز بودن گیاه در پژوهش حاضر می‌تواند به علت تخریب کلروفیل در محدودیت شدید آبی باشد. به عبارتی گیاهانی که شاخص کلروفیل بالاتری دارند پایداری بیشتری نسبت به تنش خشکی داشته و مدت زمان استفاده از تشعشع و فتوسنتز در آن‌ها افزایش پیدا می‌کند (۱۰). تغییر در میزان Fv/F_M یکی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان به تنش خشکی می‌باشد که به عنوان یکی از روش‌های کارآمد برای سنجش میزان مقاومت گونه‌های باغی به تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی به‌شمار می‌رود. در حقیقت Fv/F_M نشان‌دهنده فعالیت فتوسیستم II می‌باشد که تحت تأثیر تنش خشکی واقع می‌شود (۷). بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر پایه هیبرید از لحاظ پارامترهای سبزینگی و Fv/F_M نسبت به سایر پایه‌های مورد آزمایش کم‌تر تحت تأثیر قرار گرفت در حالی که پایه قزوینی از حساسیت بالاتری برخوردار بود. بالاتر بودن میزان پارامترهای فوق در پایه هیبرید بیانگر مقاومت بیشتر این پایه به تنش خشکی می‌باشد. کاهش میزان سبزینگی و Fv/F_M تحت تنش خشکی در دانه‌های پسته توسط مالکی و همکاران (۲۳)، عباسی کاشانی و همکاران (۱) و رنجبر (۲۸) گزارش شده است که تاییدی بر نتایج بررسی حاضر می‌باشد.

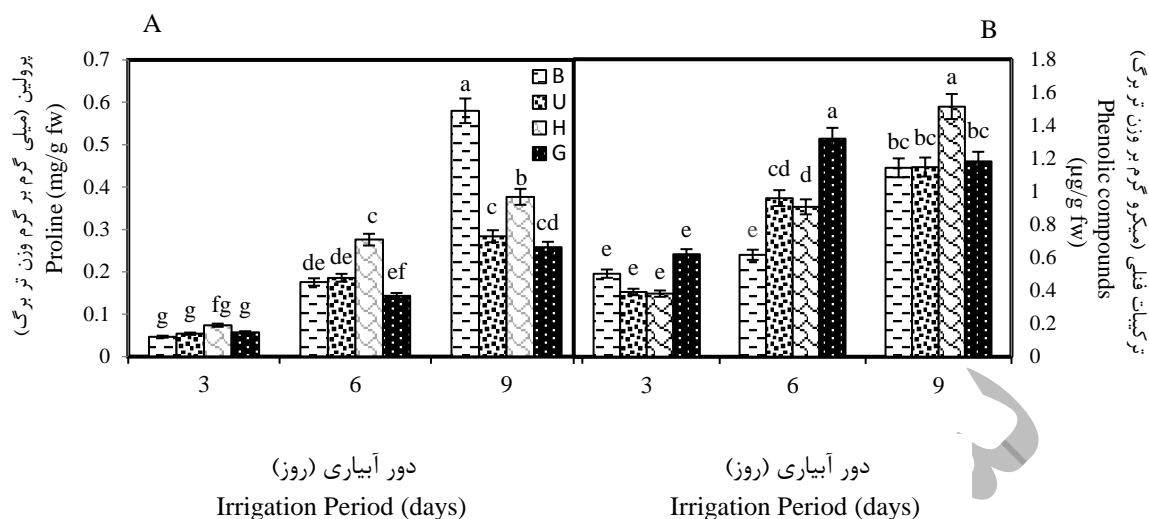
محتوای نسبی آب برگ

نتیجه‌های جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده خشکی و نوع پایه بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به دور آبیاری ۹ روز بود اگرچه بین دور آبیاری ۶ و ۹ روز تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. از نظر اثر پایه، کم‌ترین محتوای آب نسبی برگ در پایه بادامی ریز زرن مشاهده شد. بین سایر پایه‌ها نیز از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). علت کاهش محتوای نسبی آب در پژوهش حاضر می‌تواند به دلیل کاهش رشد و فعالیت ریشه، انسداد روزه‌ها، کاهش جذب و انتقال آب توسط ریشه‌ها و افزایش تبخیر و تعرق باشد (۳۰). در بین پایه‌های مورد آزمایش، پایه‌های یوریکارپا و هیبرید محتوای نسبی آب بالاتری نشان دادند اگرچه اختلاف معنی‌داری با پایه قزوینی نداشتند. یکی از دلایل افزایش محتوای نسبی آب برگ در پایه‌های فوق را می‌توان به جذب بیشتر آب در این دو پایه نسبت داد. از آنجایی که حفظ محتوای آب درونی گیاه به سیستم ریشه‌ای عمیق نیاز دارد لذا بالا بودن محتوای نسبی آب تحت تنش می‌تواند با

سیستم ریشه‌ای و رفتار روزنه‌ای گیاه در ارتباط باشد (۱۲). نتایج بالا با نتیجه‌های باقری و همکاران (۲) روی پسته همسو می‌باشد.

تنظیم‌کننده‌های اسمزی

با توجه به نتیجه تجزیه واریانس داده‌ها برهمکنش خشکی و پایه بر میزان پرولین و ترکیبات فنلی و همچنین اثرات ساده خشکی و پایه بر میزان قندهای محلول در سطح یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد در دور آبیاری ۶ و ۹ روز با افزایش سطح خشکی، میزان پرولین برگ در تمام پایه‌ها افزایش یافت به طوری که بالاترین میزان پرولین در دور آبیاری ۹ روز و در پایه بادامی ریز زرد مشاهده شد. کم‌ترین میزان پرولین نیز در پایه قزوینی دیده شد که تفاوت معنی‌داری با پایه یوریکارپا نداشت (شکل ۳). افزایش خشکی در دور آبیاری ۶ و ۹ روز تأثیر معنی‌داری بر میزان ترکیبات فنلی داشت اگرچه در دور آبیاری ۶ روز تفاوت معنی‌داری بین پایه‌های یوریکارپا و هیبرید وجود نداشت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها بیش‌ترین مقدار ترکیبات فنلی در دور آبیاری ۹ روز متعلق به پایه هیبرید بود در حالی که سایر پایه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۳). نتایج هم‌چنین نشان داد که با افزایش سطوح خشکی از تیمار شاهد به دور آبیاری ۹ روز، میزان قندهای محلول افزایش یافت به گونه‌ای که بیش‌ترین میزان آن مربوط به دور آبیاری ۹ روز بود. در بین پایه‌های مورد بررسی بیش‌ترین میزان قندهای محلول در پایه یوریکارپا مشاهده گردید اگرچه این پایه تفاوت معنی‌داری با پایه هیبرید نداشت. کم‌ترین میزان قندهای محلول نیز مربوط به پایه بادامی ریز زرد بود با این حال اختلاف معنی‌داری بین پایه‌های بادامی ریز زرد و یوریکارپا دیده نشد (جدول ۲). افزایش پرولین در پژوهش حاضر احتمالاً به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های سنتز کننده پرولین (اورنیتین آمینوترانسفراز و پرولین ردوکتاز) و جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پرولین (پرولین کاتابولاز) می‌باشد (۲۲). با توجه به این که پایه‌های بادامی ریز زرد و هیبرید پرولین بیش‌تری در شرایط تنش تولید کردند لذا می‌توان گفت نسبت به سایر پایه‌ها از مقاومت بیش‌تری در برابر تنش برخوردار بودند. پژوهشگران گزارش کردند که تنش خشکی با تأثیر بر فعالیت‌های متابولیکی گیاه سبب تولید متابولیت‌های ثانویه مثل فنل‌ها و مولکول‌هایی با وزن مولکولی پایین می‌شود تا که گیاه بتواند با خشکی مقابله کند. ویژگی‌های پایه‌های متفاوت در بازده تولید بیش‌تر ترکیبات فنلی جهت مقاومت به تنش‌های محیطی موثر می‌باشد (۴). دلیل افزایش کربوهیدرات‌های محلول در پژوهش حاضر این است که با افزایش تنش خشکی میزان فتوسنتز و مصرف کربوهیدرات‌ها در گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش غلظت کربوهیدرات‌ها (ساکارز، گلوکز، فروکتوز و سوربیتول) در طی تنش به‌عنوان علامت مقاومت به کم‌آبی در نظر گرفته می‌شود که همبستگی نزدیکی با تنظیم اسمزی، حفظ تورژسانس سلول‌ها و پایداری پروتئین‌ها دارد (۱۴). با توجه به نتایج حاضر می‌توان بیان کرد که که پایه‌های هیبرید و یوریکارپا از تنظیم اسمزی بهتری در شرایط تنش نسبت به سایر پایه‌ها برخوردار بودند. باقری و همکاران (۲) گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی، غلظت پرولین، قندهای احیاکننده و ترکیبات فنلی در برگ دانه‌های پسته افزایش یافت که نتیجه‌های پژوهش بالا با این یافته‌ها مطابقت دارد.



شکل ۲ - برهمکنش خشکی و پایه بر محتوای پرولین (A) و ترکیبات فنلی برگ دانه‌های پسته: (B) در پایه‌های بادامی ریز زرد (B)، یوریکارپا (U)، هیبرید (H)، قزوینی (G). میانگین‌های با دست‌کم یک حرف مشترک دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ آزمون دانکن نمی‌باشند.

Fig 2. Interaction of drought stress levels and rootstock on the content of proline (A) and phenolic compounds (B) in leaves pistachio seedlings: Badami-Riz-e-Zarand (B), Eurycarpa (U), Hybrid (H) and Ghazvini (G). Means with common letter in each column are not significantly different (LSD test, $p = 0.05$).

عناصر غذایی

کلسیم

بر اساس نتیجه‌های تجزیه واریانس غلظت کلسیم اندام هوایی و ریشه تحت تأثیر برهمکنش خشکی و پایه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطح تنش به دور آبیاری ۹ روز، غلظت کلسیم اندام هوایی در تمام پایه‌های مورد مطالعه نسبت به شاهد افزایش یافت. بالاترین غلظت کلسیم اندام هوایی در دور آبیاری ۹ روز در پایه یوریکارپا و کم‌ترین میزان آن در پایه‌های هیبرید و قزوینی مشاهده شد. نتایج هم‌چنین نشان داد با افزایش دور آبیاری به ۹ روز میزان کلسیم ریشه در تمام پایه‌ها به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. در این سطح از خشکی، بیش‌ترین مقدار کلسیم ریشه مربوط به پایه‌های یوریکارپا و هیبرید و کم‌ترین میزان آن مربوط به پایه قزوینی بود (شکل ۳). افزایش غلظت کلسیم در پژوهش حاضر می‌تواند به‌علت کاهش رشد و افزایش میزان کلسیم در واحد وزن باشد به‌طوری که در ارقام مقاوم به تنش میزان کلسیم نسبت به سایر ارقام بیش‌تر می‌باشد (۲۴). نتیجه‌های ما با نتیجه‌های مالکی کوهبنانی و کریمی (۲۳) روی ژنوتیپ‌های مختلف پسته در طی تنش خشکی مطابقت دارد.

منیزیم

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثرات ساده خشکی، پایه و اثر متقابل خشکی و پایه در سطح احتمال یک درصد بر غلظت منیزیم اندام هوایی و ریشه معنی‌دار شد. تنش خشکی سبب کاهش معنی‌داری در غلظت منیزیم اندام هوایی هر چهار پایه شد. در دور آبیاری ۹ روز، پایه‌های بادامی ریز زرد و هیبرید بیش‌ترین میزان منیزیم اندام هوایی و پایه‌های یوریکارپا و قزوینی با کم‌ترین میزان منیزیم را داشتند. هم‌چنین نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری به دور آبیاری ۶ روز غلظت منیزیم ریشه در پایه‌های مختلف متفاوت بود به‌طوری که در پایه بادامی ریز زرد با افزایش دور آبیاری غلظت منیزیم ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت در حالی که در سایر پایه‌ها افزایش پیدا کرد اگرچه بین پایه‌های بادامی ریز زرد و قزوینی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در دور آبیاری ۹ روز، میزان منیزیم ریشه در پایه‌های بادامی ریز زرد، یوریکارپا و هیبرید

کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند در صورتی که در پایه قزوینی تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد دیده نشد. این در حالی است که بین پایه‌های هیبرید و قزوینی اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. در دور آبیاری ۹ روز پایه‌های یوریکارپا و بادامی ریز زرد به ترتیب با ۴۶/۳۲ و ۷۰/۲۵ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت منیزیم ریشه را نشان دادند (شکل ۳). علت کاهش غلظت منیزیم را می‌توان به کاهش حلالیت این عنصر در بستر کشت در طی تنش خشکی و هم‌چنین کاهش رشد و توسعه ریشه در اثر تنش نسبت داد که جذب منیزیم را کاهش می‌دهد (۳). کاهش غلظت منیزیم با افزایش دور آبیاری توسط قاسمی و همکاران (۱۶) گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

پتاسیم

براساس نتایج تجزیه واریانس، برهمکنش خشکی و پایه بر مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه معنی‌دار بود. با افزایش سطح خشکی به دور آبیاری ۹ روز مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه در پایه‌های مورد بررسی نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت اگرچه میزان پتاسیم ریشه در پایه یوریکارپا تغییر معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان نداد. در دور آبیاری ۹ روز، بیش‌ترین غلظت پتاسیم اندام هوایی در پایه یوریکارپا مشاهده شد و کم‌ترین غلظت آن مربوط به پایه بادامی ریز زرد بود در حالی که بین سایر پایه‌ها تفاوت معنی‌داری در این زمینه وجود نداشت (شکل ۳). دلیل افزایش جذب پتاسیم در هنگام تنش خشکی جذب فعال این عنصر می‌باشد. چرا که در هنگام تنش خشکی، گیاه جهت افزایش تحمل به تنش، حفظ هدایت روزنه‌ای، تورژسانس و هم‌چنین تنظیم اسمزی، با مصرف انرژی جذب پتاسیم را در ریشه و اندام هوایی افزایش می‌دهد (۱۲)، (۸). پژوهش حاضر همسوی با یافته‌های دیگر پژوهشگران (۱۶، ۵) مبنی بر افزایش جذب پتاسیم تحت تنش خشکی می‌باشد.

آهن

طبق نتایج تجزیه واریانس، غلظت آهن اندام هوایی و ریشه تحت تأثیر برهمکنش خشکی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در دور آبیاری ۹ روز میزان آهن اندام هوایی در هر چهار پایه به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت و در این سطح بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آهن اندام هوایی به ترتیب متعلق به پایه‌های یوریکارپا و هیبرید بود. در شرایطی که پایه‌های بادامی ریز زرد و قزوینی تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۳). افزایش و تجمع غلظت آهن اندام هوایی با افزایش سطوح خشکی می‌تواند به علت کاهش رشد اندام هوایی در طی تنش باشد که سبب افزایش غلظت این عنصر در واحد وزن خشک شده است (۱۳). نتایج هم‌چنین گویای آن بود که با افزایش دور آبیاری غلظت آهن ریشه به‌طور معنی‌داری در هر چهار پایه کاهش یافت. در دور آبیاری ۹ روز میزان کاهش جذب آهن در پایه‌های بادامی ریز زرد، یوریکارپا، هیبرید و قزوینی به ترتیب ۲۹/۶۰، ۳۵/۴۸، ۲۸/۱۷ و ۵۷/۶۴ درصد نسبت به شاهد بود که بیش‌ترین کاهش مربوط به پایه قزوینی و کم‌ترین آن مربوط به پایه هیبرید بود (شکل ۳). گزارشات حاکی از آن است که در شرایط خشکی جذب آهن توسط ریشه گیاه کاهش می‌یابد (۳۲). نتایج تحقیقات باقری و همکاران (۲) مبنی بر افزایش غلظت آهن اندام هوایی و کاهش غلظت آهن ریشه در پایه‌های مختلف پسته با نتیجه‌های پژوهش حاضر هم‌مانگی دارد.

اثر تنش خشکی بر شاخص‌های رشدی و...

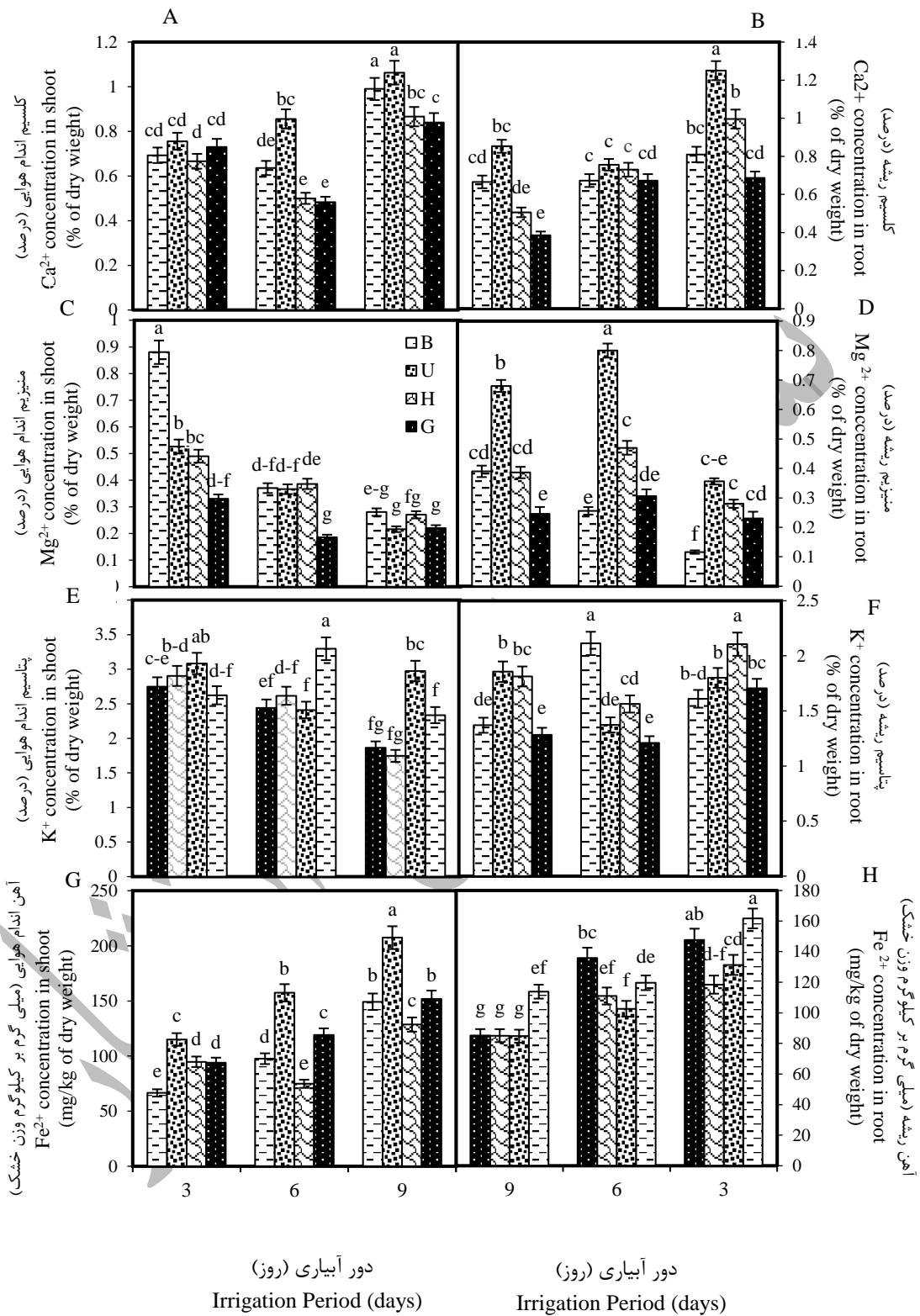


Fig. 3. Interaction of drought stress level and rootstock on the content of Ca^{2+} in shoot (A and root (B), Mg^{2+} in shoot (C) and root (D), K^+ in shoot (E) and root (F), Fe^{2+} in shoot (G) and root (H) of pistachio seedlings: Badami-Riz-e- Zarand (B), Eurycarpa (U), Hybrid (H) and Ghazvini (G). Means with common letter in each column are not significantly different (LSD test, $p = 0.05$).

شکل ۳ - برهمکنش خشکی و پایه بر غلظت کلسیم اندام هوایی (A) و ریشه (B)، منیزیم اندام هوایی (C) و ریشه (D)، پتاسیم اندام هوایی (E) و ریشه (F)، آهن اندام هوایی (G) و ریشه (H) در دانه‌های پسته. بادامی ریز زرنند (B)، یوریکارپا (U)، هیبرید (H)، قزوینی (G). میانگین‌های با دست‌کم یک حرف مشترک دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ آزمون دانکن نمی‌باشند.

نتیجه‌گیری

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی به‌شمار می‌رود که اولین اثرات آن در گیاهان به‌صورت کاهش رشد و اختلال در شاخص‌های فیزیولوژیکی بروز می‌کند. براساس پژوهش فوق اکثر پارامترهای مورد اندازه‌گیری تحت تیمار خشکی واقع شدند و پایه‌های مورد بررسی عکس العمل متفاوتی نشان دادند، به‌طوری که پایه‌های هیبرید و یوریکارپا نسبت به سایر پایه‌ها کم‌تر تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفتند. پارامترهای بیوشیمیایی و محتوای نسبی آب از جمله شاخص‌هایی بودند که تحت تأثیر دور آبیاری واقع شدند. میزان کربوهیدرات‌های محلول با افزایش دور آبیاری افزایش و محتوای نسبی آب کاهش یافت به‌طوری که بیش‌ترین میزان قند محلول در پایه‌های هیبرید و یوریکارپا مشاهده شد در حالی که این از لحاظ محتوای نسبی آب تفاوت معنی‌داری بین پایه‌های هیبرید، یوریکارپا و قزوینی وجود نداشت. سطوح خشکی علاوه بر تأثیر بر شاخص‌های رشدی و اکوفیزیولوژیکی باعث تغییر در غلظت عناصر ریشه و اندام هوایی گردید به‌طوری که افزایش دور آبیاری سبب افزایش عناصر کلسیم و پتاسیم ریشه و اندام هوایی و هم‌چنین آهن اندام هوایی افزایش یافت. پتاسیم به‌دلیل نقش در حفظ تورژسانس سلولی و سنتز ترکیبات اسمزی از جمله پرولین نقش بسزایی در مقابل تنش خشکی دارند. با توجه به این‌که بالاترین غلظت پتاسیم اندام هوایی و ریشه در پایه‌های یوریکارپا و هیبرید و کمترین کاهش در زیست توده در این پایه‌ها مشاهده شد و هم‌چنین این پایه‌ها با سازکار تولید بیشتر قندهای محلول در برگ توانستند تنش خشکی را به خوبی تحمل کنند می‌توان نتیجه گرفت که پایه‌های مذکور می‌توانند به‌عنوان پایه‌های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرند.

References

منابع

- 1-Abbasi, A., Shamshiri, M.H., Esmailzadeh, M. and H.R. Karimi. 2013. Study on combined effects of arbuscular mycorrhiza and jasmonic acid on drought tolerance of pistachio seedlings. M.Sc. thesis of Vali E asr university of Rafsanjan. 181p.
- 2-Bagheri, V., Shamshiri, M.H. and Roosta, H. 2011. Effect of arbuscular mycorrhizae and drought stress on growth indexes, water relations and proline as well as soluble carbohydrate content in pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstock. Journal of Horticultural Science, 42:356-377.
- 3-Bilger, H. W., U. Schreiber and O.L. Lange. 1984. Determination of leaf heat resistance-comparative investigation of chlorophyll fluorescence changes and tissue necrosis methods. Journal of Oecologia, 63: 256-262.
- 4-Boudet, A. 2007. Evolution and current status of research in phenolic compounds. Phytochemistry, 68: 2722-2735.
- 5-Fattahi, M., Mohammadkhani, A., Shiran, B., Baninasab, B., Ravash, R. and Gogorcena, Y. 2020. Beneficial effect of mycorrhiza on nutritional uptake and oxidative balance in pistachio (*Pistacia* spp.) rootstocks submitted to drought and salinity stress. Scientia Horticulturae, 281: 109937.
- 6-Ferrara, G., A. Pacifico, P. Simeone and Ferrara, E. 2008. Preliminary study on the effects of foliar applications of humic acids on Italia table grape. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 42: 79-87.
- 7-Fernandez, R., T. Perry and R. L. Flore. 1997. Drought response of young apple trees on three rootstocks: growth and development. Journal of the American Society for Horticultural Science, 122(1): 14-19.
- 8- Galindo A., J. Collado-González., I. Griñán., M. Corell., A. Centeno., M. J. Martín-Palomo., I. F. Girón., P. Rodríguez., Z. N. Cruz, H. Memmi and A. A. Carbonell-Barrachina. 2017. Deficit

- irrigation and emerging fruit crops as a strategy to save water in Mediterranean semiarid agrosystems. *Agricultural Water Management*, 202: 311-324.
- 9- Ghasemi, M., Arzani, K., Yadollahi, A. and H. Hokmabadi. 2016. Leaf and root mineral concentrations of four pistachio seedling rootstocks under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46:659-667.
 - 10-Ghosh, P. K., K. K. Ajay., M. C. Bandyopadhyay., K. G. Manna., A. K. Mandal and K. M. Hati. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. *Bioresour Technology*, 95: 85- 93.
 - 11- Gijóna, M. D. C., G. Carmen., D. Perez-López., J. Guerreroa., J. Francisco Couceiroa and A. Morianac. 2010. Rootstock influences the response of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Kerman) to water stress and rehydration. *Scientia Horticulturae*, 96: 666-671.
 - 12-Gupta, A. Sen., G. Berkowitz and P. Pier 1989. Maintenance of photosynthesis at low leaf water potential in wheat. Role of potassium status and irrigation history. *Plant Physiology*, 89: 1358-1365.
 - 13-Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson, 1999. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Prentice-Hall, 406–425.
 - 14-Irigoyen, J. J., D. W. Emerich and M. Sanchez-Diaz. 1992. Water stress induced changeing concentrations of prolin and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Plant Physiology*, 84: 67-72.
 - 15-Isfendiyaroglu, M. and E. Zeker. 2002. The relation between phenolic compound and seed dormancy in *Pistacia* spp. *Grempe Seminar on Pistachios and Almonds*. Ciheam, 227-232.
 - 16-Jamshidi Goharrizi, K., Baghizadehb, A., Kalantara, M. and Fatehi, F. 2020. Combined effects of salinity and drought on physiological and biochemical characteristics of pistachio rootstocks. *Scientia Horticulturae*. 261:108970.
 - 17-Jomaeazdean, M.S., Karimi, H.R. and E. Sadeghiseresht. 2019. Response of two pistachio rootstocks to drought stress based on growth and physiological parameters. The second national pistachio conference in Iran, 11p.
 - 18-Karimi, H.R. 2015. *Nuts (Pistachios, Almonds, Walnuts, Hazelnuts, Pecans and Chestnuts)*. Mashhad University Jihad Publications, 151 p. (in Farsi).
 - 19-Hakimnejad, S., Karimi, H.R., Sakhafi, S.R. and M. Esmailizadeh. 2019. Morphological, ecophysiological and photosynthetic diversity of some *Pistacia* species for use in breeding programs. *Genet Resour Crop Evol*. 66: 1399–1419.
 - 20-Kramer, P. J. 1984. Problem in water relation of plant and cells. *International review of cytology* , 254-286.
 - 21-Khalid, K. A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International. Agrophysics*, 20: 289- 296.
 - 22-Madan, S., H. Nainwatee., R. Jain and J. Chiwdhaury. 1995. Proline metabolizing enzymes in in-vitro selected NaCl tolerance Brassica Juncea under salt stress. *Annals of Botany*, 76: 51-57.
 - 23-Maliki kouhbanani, A. and H.R. Karimi. 2012. Evaluation of *Pistacia* interspecific hybrid (*P. vera* × *P. atlantica*) to drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*. 44:39-51.
 - 24- Mozaffari, V. (2005), The role of potassium, calcium and zinc in controlling pistachio Die-back, Ph. D. thesis, Soil Science Departement, Agriculture collage, Tarbiat Modares university, Iran, (In Farsi).
 - 25-Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant. Cell. Environ*. 25(2): 239-250.
 - 26-Noguera-Artiaga, L., D. Pérez-López., A. Burgos-Hernández., A. Wojdyło. and Á. A. Carbonell-Barrachina1. 2018. Phenolic and triterpenoid composition and inhibition of α -amylase of pistachio kernels (*Pistacia vera* L.) as affected by rootstock and irrigation treatment. *Food Chemistry*, 145: 240-245.
 - 27-Paquin, R., and P. Lechasseur. 1979. Observations sur une method dosage de l proline libre dans les extraits de plantes, *Canadian Journal of Botany*, 57: 1851-1854.
 - 28-Ranjbar, A. 2017. Comparative Study on the effect of water stress and rootstock on photosynthetic function in pistachio (*Pistacia vera* L.) trees. *Journal of Nuts*. Department of Desert studies, University of Kashan, Kashan, Iran, 8(2):151-159.

- 29-Porra, R. J., W. A. Thompson and P. E. Kriedemann.1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta*, 975: 384-391
- 30-Reddy, A.R., K.V. Claitayna and M. Vivekanadan. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*. 161: 1189-1202.
- 31- Sakcali M. S., and M. Ozturk. 2003. Eco-physiological behavior of some Mediterranean plants as suitable candidates for reclamation of degraded areas. *Journal of Arid Environments*, 57:1-13.
- 32-Sardans, J., J. Penuelas and R. Ogaya. 2008. Drought's impact on Ca, Fe, Mg, Mo and S concentration and accumulation patterns in the plants and soil of a Mediterranean evergreen *Quercus ilex* forest. *Biogeochem*, 87(1): 49-69.
- 33-Salajagha Tazarji, F., Mohamadi, H. and M, Sarghashmapour. 2015. Effect of water stress on root rot disease of pistachio seedlings caused *Fusarium solani*. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 50:280-296.
- 34-Shao, H. B., L. Y. Chu.
, C. A. Jaleel and C. X. Zhao. 2008. Water-deficient stress-induced anatomical changes in higher plants. *Journal of Biology Science*, 331: 215-225.
- 35-Whitehouse, W. E. 1975. The pistachio nut a new crop for the Western United States. *Economic Botany*. 11: 281- 321.

نسخه پیش انتشار