



## مقایسه تحمل سه نژادگان زردآلو به عنوان پایه به تنش خشکی

### Comparison the Tolerance of Three Apricot Genotypes as Rootstock to Drought Stress

نجات شمس الدینی فر، مجید اسماعیلی زاده\* و سید حسین میردهقان

گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، ایران.

\* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: ([esmaeilizadeh@vru.ac.ir](mailto:esmaeilizadeh@vru.ac.ir))

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶

#### چکیده

به منظور بررسی تاثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر برخی از صفات رویشی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، سه نژادگان زردآلوی بومی ایران و مقایسه حد تحمل دانهال آن‌ها به این تنش، آزمایشی با نه تیمار و چهار تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه اجرا شد. در این پژوهش، سه سطح تنش خشکی شامل تیمار شاهد (۹۰٪ ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (۶۰٪ ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۴۰٪ ظرفیت زراعی) روی سه نژادگان زردآلو شامل ابرکوه، رابر و سبزوار اعمال شدند. اندازه‌گیری‌ها ۳۰ روز بعد از اعمال تنش خشکی انجام شد. نتایج مربوط به شاخص‌های رویشی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نشان داد که این شاخص‌ها تحت تاثیر سطوح مختلف تنش خشکی واقع شدند. تنش خشکی روی دانهال نژادگان‌های زردآلو سبب کاهش سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل، کارتنوئید، فلورسانس کلروفیل و ارتفاع گیاه و افزایش درصد پرولین، گلايسين بنائين، قندهای محلول و نشت یونی نسبت به تیمار شاهد (۹۰٪ ظرفیت زراعی) شد. با توجه به ثبت کمترین کاهش ارتفاع و سطح برگ، کمترین مقدار نشت یونی، بیشترین محتوای آب نسبی برگ، کلروفیل کل، PI و Fv/Fm، نژادگان سبزوار کم‌تر از دو نژادگان دیگر تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت. بنابراین در بین سه نژادگان مورد بررسی، نژادگان سبزوار نسبت به خشکی متحمل‌تر، نژادگان رابر حد واسط و نژادگان ابرکوه تحمل کم‌تری داشتند.

**واژه‌های کلیدی:** بذر، پرولین، ظرفیت زراعی، قندهای محلول، کلروفیل.

#### مقدمه

زردآلو یکی از درختان میوه مهم است که به خاطر ویژگی‌های خاص و نیز اهمیت تجاری، کشت آن در سرتاسر دنیا گسترش دارد. ایران یکی از کشورهای مهم تولید کننده و صادرکننده این محصول به شمار می‌رود. میوه زردآلو به صورت تازه خوری، کمپوت، مربا، برگه زردآلو و... مصرف داخلی و جنبه صادراتی دارد (Ganji Moghaddam, 2011). میزان تولید زردآلو در ایران در سال ۲۰۱۸ برابر با ۳۴۲،۴۷۹ تن بوده است. سهم ایران از کل تولید جهانی ۸/۹۲٪ بوده که رتبه سوم را پس از ترکیه و ازبکستان برای کشورمان رقم زده است (FAO, 2018). با نگاه اندکی به ویژگی‌های آب و هوایی ایران از یک سو و توجه به صنعت میوه‌کاری به ویژه کشت و تولید قابل توجه زردآلو در چند دهه‌ی اخیر در کشور، از سوی دیگر، این واقعیت آشکار می‌شود که فلات ایران، یکی از قطب‌های مهم تولید این میوه در دنیا می‌باشد. بنابراین، توجه به کشت و کار این محصول و بالا بردن میزان سطح زیر کشت و تولید آن از نظر میوه‌کاری اهمیت دارد (Najafzadeh et al., 2012).

تنش خشکی مهم‌ترین عاملی است که در مراحل حساس‌تر رشد گیاهان حتی در مناطق خشکی که آبیاری صورت می‌گیرد، با ایجاد محدودیت در رشد، دستیابی به عملکرد بالا را دشوار می‌سازد. مطابق برآوردهای انجام شده در حدود ۴۰٪ از اراضی کره زمین در مناطق نیمه خشک قرار دارند (Secenji & Lendvaia, 2005). زردآلو همانند بسیاری از درختان میوه حساس به کمبود آب در تمام مراحل رشد میوه هست. در مراحل اولیه رشد میوه، آب از اهمیت زیادی برخوردار است. آب نه تنها برای اندازه میوه بلکه برای ذخیره برخی از مواد مغذی بی حرکت در آوند آبکش (به عنوان مثال کلسیم) در بافت میوه حائز اهمیت است. حدود ۸۵٪ از محتوای کلسیم میوه در زمان برداشت، در چهار هفته اول مرحله رشد میوه، به دست می‌آید. پس در مراحل اولیه رشد میوه باید خاک اطراف ریشه دارای آب کافی باشد (Montanaro *et al.*, 2010). کمبود آب در درختان زردآلو تاثیر منفی بر رشد تنه درخت می‌گذارد (Perez-Pastor *et al.*, 2009).

در زمان کمبود آب، جلوگیری از کاهش پتانسیل آب برای رشد پیوسته و یکنواخت گیاه ضروری است و این امر از طریق ساز و کارهای تنظیم اسمزی ناشی از تجمع مواد محلول سازگار مانند پرولین، گلیسین‌بتائین، اسیدهای آلی و قندهایی مانند ساکارز و مانیتول در سیتوپلاسم امکان‌پذیر می‌باشد (Strauss *et al.*, 2006). توانایی تنظیم اسمزی از طریق تجمع مواد قابل حل برای گونه‌های زیادی مثل هلو<sup>۱</sup> (Rieger *et al.*, 2003)، سیب<sup>۲</sup> (Wang and Stutte, 1992)، گیلاس<sup>۳</sup> و آلبالو<sup>۴</sup> (Ranney *et al.*, 1991) و بادام<sup>۵</sup> (Matos *et al.*, 2004) گزارش شده است. در پژوهشی که روی دانه‌های گردوی ایرانی<sup>۶</sup> انجام شد، افزایش نشت یونی، کاهش محتوای نسبی آب برگ، افزایش تخریب کلروفیل و تجمع پرولین زمانی که دانه‌ها تحت تنش خشکی قرار گرفتند، اتفاق افتاد (Parvin *et al.*, 2014). تنش خشکی در بادام باعث کاهش کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل شد و برگ‌هایی که دارای پایین‌ترین پتانسیل آب بودند بیش‌ترین تجمع پرولین و تجمع نسبتاً بالایی از قندهای محلول را داشتند (Zokai *et al.*, 2013). تنش آبی روی زردآلو باعث کاهش معنی‌دار سطح برگ کل شد که عمدتاً به خاطر ریزش برگ‌های بالغ بود (Torrecillas *et al.*, 2000). تنش خشکی در درختان زردآلو باعث افزایش میزان قندهای محلول در برگ‌ها، شاخه‌ها و ریشه‌ها شد (Tamura, 2012).

پایه‌های بذری زردآلو به طور گسترده در سرتاسر نواحی تولید زردآلو مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحقیقات انجام گرفته روی پایه‌های زردآلو و گونه‌های نزدیک نشان می‌دهند که از گذشته تا حال، استفاده از نهال‌های بذری زردآلو (ترجیحاً زردآلوهای تلخ) به عنوان پایه زردآلو رایج بوده‌اند (Radnia, 1996). استفاده از پایه بذری زردآلو برای پرورش درخت زردآلو مزایای زیادی دارد. معمولاً ارقامی که بر روی پایه‌های بذری پیوند می‌شوند دارای عمر طولانی‌تر و محصول بیش‌تری هستند. برای مثال پایه زردآلو در مقایسه با پایه میروبالان گل و میوه بیش‌تری تولید می‌کند. همچنین موفقیت و رشد در خاک‌های ضعیف، خشک و سنگلاخی، تحمل مقدار آهک بیش‌تر در خاک‌های سالم توأم با زهکشی مناسب، مقاومت به درجه حرارت بالا در تابستان در شرایط خشک، بهبود کیفیت میوه‌ها و مقاومت میوه‌ها به ضربه (حمل و نقل)، ریشه دوانی عمیق، جوش خوردن رضایت بخش پیوندگاه، مقاومت به آفت کاپنودیس و ... از مزایای دیگر استفاده از پایه‌های بذری است. باردهی ارقام زردآلوی پیوندی روی پایه‌های بذری معمولاً از سال پنجم به بعد شروع می‌شود (Ganji Moghaddam, 2011; Rahneem, 2019). خشکسالی‌های اخیر و کمبود شدید آب در ایران به ویژه در نقاطی که کشت و پرورش زردآلو در سطح تجاری رواج داشته و منبع درآمد اصلی ساکنین این مناطق می‌باشد کشت و پرورش این محصول را با مشکلات و مخاطرات شدیدی روبرو کرده است. بنابراین به منظور بهره‌وری هر چه بیش‌تر از آب‌های موجود و جلوگیری از کاهش تولید این محصول ارزشمند، لازم است که تدابیر مختلفی برای استفاده بهینه از آب اندیشیده و اجرا شود. یکی از این راه‌ها، استفاده از ارقام و پایه‌های متحمل به خشکی است. در مناطق کشت زردآلو در ایران، ازدیاد این درخت با پیوند روی پایه‌های بذری محلی صورت می‌گیرد و

۱- *Prunus persica* ۲- *Malus pumila* ۳- *Prunus avium* ۴- *Prunus cerasus* ۵- *Prunus amygdalus*  
۶- *Juglans regia*

باغداران زردآلو از نژادگان های هسته تلخ به عنوان نژادگان های برتر به این منظور استفاده می‌کنند. با توجه به اینکه یکی از مراکز اصلی تنوع زردآلو در جهان، ایران ذکر شده است (Ganji Moghaddam, 2011)، لذا امکان یافتن و انتخاب یک یا چند نژادگان متحمل تر به خشکی در بین نژادگان های موجود و معرفی آن به باغداران وجود دارد. با توجه به موارد ذکر شده، این پژوهش به منظور بررسی و مقایسه‌ی میزان تحمل به خشکی سه نژادگان هسته تلخ زردآلوی محلی ایران که در سه منطقه مختلف کشور به عنوان پایه توسط کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گیرند، اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش با هدف بررسی و مقایسه‌ی میزان تحمل به خشکی سه نژادگان زردآلوی محلی ایران در سال ۱۳۹۴ انجام شد. برای تهیه دانه‌ها، ابتدا بذرهای سه نژادگان هسته تلخ زردآلو (نژادگان محلی رابر کرمان، نژادگان محلی ابرکوه یزد و نژادگان محلی سبزواری خراسان رضوی) هر کدام از یک درخت بالغ که مورد استفاده باغداران این مناطق بود انتخاب شد. برخی صفات ظاهری بذر این سه نژادگان در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- برخی صفات ظاهری سه نژادگان محلی زردآلو.

Table 1. Some appearance traits of three local apricot genotypes.

نژادگان	وزن بذر	عرض بذر	قطر بذر	نسبت مغز به پوسته	طول بذر
Genotype	Seed weight (gr)	Seed width (mm)	Seed diameter (mm)	Seed/Endocarp Ratio	Seed length (mm)
رابر	0.46	15.66	9.98	0.48	30.96
Rabor					
ابرکوه	0.49	16.34	12.28	0.46	25.56
Abarkouh					
سبزواری	0.59	16.58	13.90	0.64	19.81
Sazvar					

بذرها به مدت سه روز در آب خیسانده و سپس به منظور برطرف شدن نیاز سرمایی، به مدت شش هفته در دمای  $4 \pm 1$  درجه سلسیوس در معرض سرمای مرطوب قرار گرفتند. پس از طی دوره چینه سرمایی، بذرها در عمق ۴-۲ سانتی‌متری در گلدان‌های پلاستیکی پنج کیلوگرمی (سه کیلو خاک، یک کیلو ماسه بادی و نیم کیلو سنگریزه) کشت شدند. این پژوهش به صورت فاکتوریل (با دو فاکتور رقم و تنش خشکی) در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با نه تیمار و چهار تکرار (هر تکرار شامل سه گلدان و هر گلدان شامل هشت نهال زردآلو در مجموع هر تکرار شامل ۲۴ عدد گیاه) اجرا شد. تیمارهای تنش پس از رسیدن گیاهان به طول حدود ۲۰-۱۵ سانتی‌متر و به روش وزنی انجام شد. سه سطح تیمار تنش خشکی شامل شاهد (۹۰٪ ظرفیت زراعی)، تنش متوسط (۶۰٪ ظرفیت زراعی) و تنش شدید (۴۰٪ ظرفیت زراعی) اعمال شدند. اندازه‌گیری شاخص‌ها ۳۰ روز بعد از اعمال تنش بود. ارتفاع دانه‌ها با استفاده از خط کش و سطح برگ با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ مدل (CI-202 ساخت کشور آمریکا) بر اساس سانتی‌متر مربع به دست آمد. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه فلوریمتر (Hansatech LTD Pocket PEA, UK) ساخت کشور انگلستان استفاده شد. روش کار به این صورت بود که از هر گلدان بسته به تعداد برگ‌های سالم دو تا چهار برگ بالغ از قسمت‌های مرکزی گیاه انتخاب و در گیره‌های مخصوص جهت ایجاد شرایط تاریکی به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت و پس از این مدت، میزان شاخص فلورسانس کلروفیل  $F_v/F_m$  و شاخص عملکرد PI ثبت شد. پس از آن میزان رنگیزه‌های کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارنتنوئیدهای برگ با نمونه‌گیری

تصادفی از برگ‌های بالغ، عصاره‌گیری با استون از آن‌ها و استفاده از روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد (Lichtenthaler, 1987). برای سنجش میزان آسیب به غشای سلولی، میزان نشت یونی با استفاده از روش کومر اندازه‌گیری شد. به این منظور ۱/۰ گرم از بافت برگ تازه گیاه، پس از شستشوی برگ (برای شستشوی یون‌های احتمالی از سطح برگ)، توزین، درون لوله‌های آزمایش دربیچ دار قرار داده و ۱۵ میلی لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه گردید. بعد از ۲۴ ساعت میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC<sub>1</sub>) با استفاده از EC متر اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در فریزر قرار داده و بعد از آن در دمای معمولی آزمایشگاه قرار گرفتند. پس از رسیدن به دمای آزمایشگاه دوباره میزان هدایت الکتریکی (EC<sub>2</sub>) آن‌ها اندازه‌گیری و ثبت گردید. در نهایت درصد نشت یونی با استفاده از فرمول ۱ محاسبه شد (Kumar, 2011).

$$\text{فرمول (۱)} = (EC_1 / EC_2) \times 100 = \text{نشت یونی}$$

برای اندازه‌گیری پرولین از روش پاکوئین و لکاسر (Paquin & Lechasser, 1979) استفاده شد. بعد از تهیه نمونه‌ها، میزان جذب با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. استانداردهای پرولین نیز با استفاده از ال-پرولین در غلظت‌های صفر، ۳۱/۲۵، ۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه و جذب آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان گلاپسین بتائین، ابتدا نمونه‌های گیاهی در دمای ۵۵ تا ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. سپس نیم گرم از برگ خشک شده را توزین و در ارلن ریخته، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس روی شیکر قرار گرفتند. یک میلی‌لیتر از عصاره گیاهی به دست آمده با یک میلی لیتر اسید سولفوریک دو نرمال مخلوط (نسبت ۱:۱) شد. سپس مقدار نیم میلی‌لیتر از ترکیب حاصله را در لوله آزمایش ریخته و در حمام آب یخ به مدت یک ساعت قرار داده و نهایتاً پس از تهیه مخلوط یخ، در ۲۰ گرم پتاسیم (۱۵/۷ گرم ید خالص بعلاوه ۲۰ گرم یدید پتاسیم) مقدار ۰/۲ میلی‌لیتر از یدید پتاسیم و ید را به لوله آزمایش اضافه کرده و آن را مخلوط کردیم. در این مرحله نمونه‌ها را به مدت ۱۶ ساعت در دمای صفر تا چهار درجه سلسیوس نگهداری کرده و بعد از آن نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای صفر درجه سلسیوس با دور ۱۰ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. در هر لوله آزمایش، فاز محلول رویی جدا و فقط کریستال موجود در کف لوله نگه‌داشته شد. این مراحل در محیط حمام آب یخ انجام شد تا خطا کاهش پیدا کند. سپس کریستال‌های موجود را در نه میلی‌لیتر از محلول یک و دو دی کلرواتان حل کرده و پس از عمل همزدن و گذشت دو تا دو و نیم ساعت مقدار جذب آن در ۳۶۵ نانومتر قرائت شد. اسید سولفوریک به عنوان بلانک دستگاه استفاده شد. استانداردهای گلاپسین بتائین نیز با استفاده از گلاپسین بتائین در غلظت‌های صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ میکروگرم در گرم تهیه و اندازه‌گیری شد (Gupta et al., 2001).

برای اندازه‌گیری قندهای محلول بعد از تهیه نمونه‌ها میزان جذب با اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت شد. استانداردها از گلوکز خالص در غلظت‌های صفر، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۱۵۰۰، ۱۷۵۰، ۲۰۰۰، ۲۲۵۰ و ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه و جذب آن‌ها اندازه‌گیری گردید. سپس با استفاده از رسم منحنی استاندارد غلظت قندهای محلول بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ به دست آمد (Irigoyen et al., 1992). برای اندازه‌گیری میزان آب نسبی برگ (RWC)، ابتدا ۱۰ برگ از قسمت میانی دانه‌ها انتخاب شد و سپس ۱۰ عدد دیسک به قطر نیم سانتی‌متر از پهنک برگ‌ها به وسیله پانچ گرفته و وزن شدند (FW). پس از توزین، دیسک‌ها داخل شیشه‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت شش ساعت در دمای صفر تا چهار درجه سلسیوس در تاریکی قرار داده شدند تا سلول‌های برگ به حالت تورژسانس کامل درآیند. در این زمان آن‌ها را بر روی کاغذ صافی قرار داده تا مقداری از رطوبت آن‌ها گرفته شود. سپس آن‌ها را وزن کرده (TW) و پس از آن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند. پس از خشک شدن، وزن دیسک‌ها (DW) اندازه‌گیری شد. RWC با استفاده از فرمول ۲ محاسبه شد (Fahimi et al., 2016).

$$\text{فرمول (۲)} = RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

تجزیه آماری داده‌های به‌دست آمده از آزمایش، با استفاده از نرم افزار SAS و ترسیم نمودارها نیز توسط نرم افزار Excel انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ انجام شد.

## نتایج و بحث

با توجه به نتایج مقایسه‌ی میانگین‌ها (جدول ۲) با کاهش درصد ظرفیت زراعی ارتفاع ساقه، سطح برگ و محتوای آب نسبی برگ کاهش یافت. همچنین اختلاف بین ارقام در عکس العمل به تنش خشکی هم معنی‌دار بود. بیش‌ترین میزان ارتفاع ساقه و سطح برگ مربوط به تیمار شاهد در نژادگان رابر و کم‌ترین میزان این صفات مربوط به سطح خشکی ۴۰٪ ظرفیت زراعی در نژادگان سبزوار مشاهده شد. بیش‌ترین محتوای آب نسبی برگ در نژادگان سبزوار و کم‌ترین آن در نژادگان ابرکوه مشاهده شد. به طور کلی تنش خشکی سبب کاهش رشد ساقه و سطح برگ دانهال‌های نژادگان‌های زردآلو شد. کاهش طول ساقه با افزایش تنش خشکی در این پژوهش به‌دلیل کاهش رشد می‌باشد که احتمالاً به علت بسته شدن روزنه‌ها در اثر کاهش پتانسیل آب خاک اتفاق می‌افتد و بسته شدن روزنه‌ها کاهش اسیمیلایون CO<sub>2</sub> را به همراه دارد (Shao *et al.*, 2008). همچنین علت دیگر کاهش طول ساقه در این پژوهش این است که پدیده رشد حاصل فعالیت‌های حیاتی در شرایطی است که گیاه باید آب کافی در اختیار داشته باشد، در صورت عدم تامین آب مورد نیاز به دلیل کاهش فشار تورژسانس سلول‌های در حال رشد و اثر بر طول سلول‌ها، رشد گیاه کم می‌شود (Ahmadi & Baker, 2000). یکی از علت‌های دیگر کاهش ارتفاع با افزایش تنش خشکی در پژوهش حاضر، احتمالاً برهم خوردن تعادل هورمونی است هر چه شدت تنش خشکی بیش تر باشد رشد اندام هوایی کاهش بیش‌تری پیدا می‌کند، که این کاهش می‌تواند مربوط به افزایش اسید آبسزیک در اندام هوایی باشد (Xing *et al.*, 2004). نتایج حاصل از اندازه گیری ارتفاع ساقه این آزمایش با نتایج پژوهش‌های انجام شده روی زردآلو (Pastor *et al.*, 2014)، هلو و گلابی (Probsting & Middleton, 1980)، گردو (Lotfi *et al.*, 2009) و Vahdati *et al.*, 2009) و انگور (Korkutal *et al.*, 2011) همخوانی داشت. تنش خشکی علاوه بر ریزش برگ باعث شد که سطح برگ کلی دانهال‌ها کاهش یابد (شکل ۱). از نظر تئوری کاهش سطح برگ یک سازگاری مهم به شمار می‌رود، زیرا کاهش سطح برگ اولین راهبردی است که گیاهان در مواجهه با محدودیت آب انتخاب می‌کنند (Bacelar *et al.*, 2006). کاهش سطح برگ با افزایش تنش خشکی در این پژوهش، احتمالاً به این دلیل است که فرآیندهای تقسیم سلولی و افزایش اندازه سلول تحت تاثیر تنش خشکی کاهش یافته و در نتیجه باعث کاهش اندازه برگ می‌شود (Hirayama *et al.*, 2006). نتایج سطح برگ این آزمایش با نتایج پژوهش‌های انجام شده روی هلو (Murkute *et al.*, 2006)، گردو (Parvin *et al.*, 2014) و پسته (Fahimi *et al.*, 2016) همخوانی داشت. کاهش محتوای آب نسبی برگ در اثر تنش خشکی در این پژوهش احتمالاً ناشی از کاهش رشد ریشه، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جذب و انتقال آب توسط ریشه می‌باشد (Reddy *et al.*, 2004). وقتی که گیاهان در معرض کم‌آبی قرار می‌گیرند، روزنه‌های برگ آن‌ها بسته می‌شوند، بنابراین گیاهانی که قادر به بستن روزنه خود باشند، می‌توانند محتوای آب برگ خود را در مقادیر بالاتری حفظ کنند (Kafi *et al.*, 2010). بالا بودن محتوای نسبی آب در شرایط کم‌آبی می‌تواند با رفتار روزنه و سیستم ریشه‌ای گیاه در ارتباط باشد (Grieve & Grattan, 1983). زیرا حفظ محتوای رطوبتی درونی یک گیاه نیاز به داشتن ریشه عمیق جهت جذب آب دارد (Hirayama *et al.*, 2006). نتایج محتوای آب نسبی برگ این آزمایش با گزارش مطالعاتی بر روی پسته (Fahimi *et al.*, 2016) و Rostami Shahraji *et al.*, 2010) و زیتون (Petridis *et al.*, 2012) مطابقت داشت.

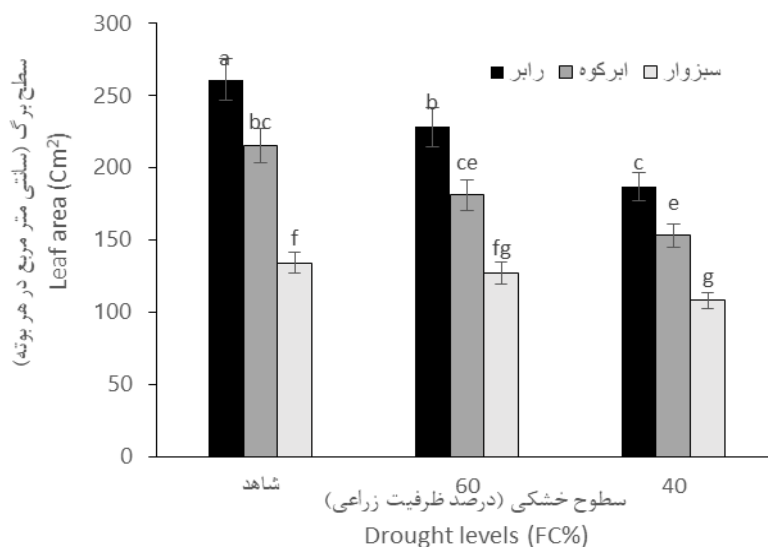
جدول ۲- اثر تنش خشکی بر محتوای نسبی آب، نشت یونی، ارتفاع ساقه، کلروفیل کل، کارتنوئید و Fv/Fm سه نژادگان زردآلو.

Table 2. Effect of drought stress on relative water content, electrolyte leakage, plant height, total chlorophyll, carotenoids and Fv/Fm three apricot genotypes.

تیمار Treatments	میانگین‌ها Averages					
تنش خشکی Drought stress نژادگان Genotype	محتوای آب نسبی برگ Leaf relative water content (%)	نشت یونی Electrolyte leakage (%)	ارتفاع ساقه Plant height (cm)	کلروفیل کل Chlorophyll Total (fw.mg/g)	کارتنوئید Carotenoid (fw.mg/g)	Fv/Fm
شاهد Control	80±6.6 <sup>a*</sup>	23.41±1.91 <sup>c</sup>	30.95±2.67 <sup>a</sup>	12.98±1.06 <sup>a</sup>	4±0.33 <sup>a</sup>	0.73±0.06 <sup>a</sup>
60/FC	66.79±5.16 <sup>b</sup>	35.53±2.78 <sup>b</sup>	29.12±2.41 <sup>b</sup>	10.08±0.84 <sup>b</sup>	3.5±0.28 <sup>b</sup>	0.67±0.05 <sup>b</sup>
40/FC	57.32±4.7 <sup>c</sup>	45.49±3.64 <sup>a</sup>	26.34±2.16 <sup>c</sup>	8.5±0.66 <sup>c</sup>	3.05±0.66 <sup>c</sup>	0.59±0.039 <sup>c</sup>
رابر Rabor	67.92±5.61 <sup>b</sup>	34.29±2.31 <sup>b</sup>	39.54±3.25 <sup>a</sup>	10.28±0.86 <sup>b</sup>	4.01±0.34 <sup>a</sup>	0.65±0.04 <sup>b</sup>
ابركوه Abarkouh	63.17±5.16 <sup>c</sup>	41.46±3.07 <sup>a</sup>	25.5±2.08 <sup>b</sup>	10.04±0.65 <sup>c</sup>	3.51±0.28 <sup>b</sup>	0.64±0.03 <sup>c</sup>
سبزوار Sabzvar	73.64±6.6 <sup>a</sup>	28.68±2.27 <sup>c</sup>	21.37±1.75 <sup>c</sup>	11.23±0.97 <sup>a</sup>	2.99±0.25 <sup>c</sup>	0.69±0.058 <sup>a</sup>

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند براساس آزمون LSD سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

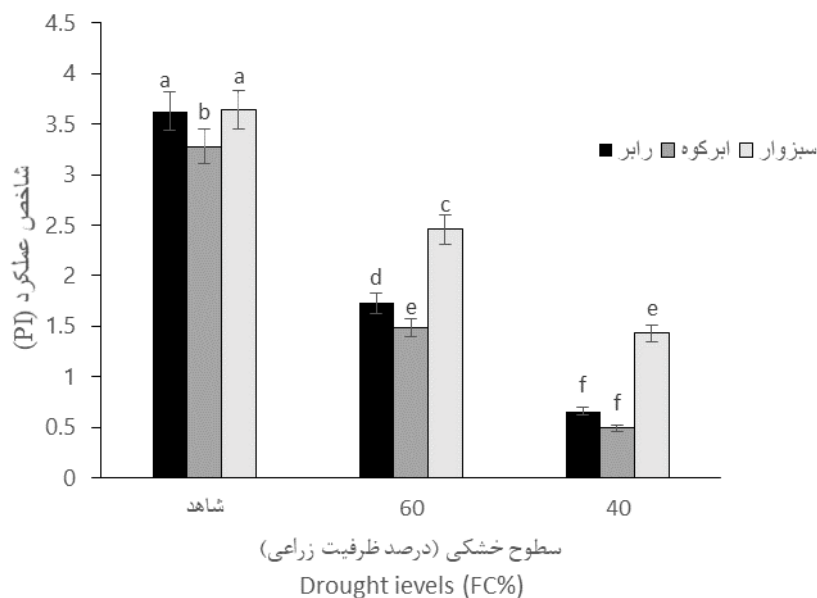
Values are means ± SE of three replicates. In each column different letters show significant differences at  $P \leq 0.05$  (LSD).



شکل ۱- اثر خشکی بر سطح برگ سه نژادگان زردآلو. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد. حرف‌های مشابه نشانه نبود اختلاف معنی‌دار در آزمون LSD است ( $P \leq 0.05$ ).

Fig. 1. The effect of drought stress on leaf area of three apricot genotypes. The vertical bars indicate standard error (±SE). Similar letters indicate non significant difference in LSD test ( $P \leq 0.05$ ).

با توجه به نتایج مقایسه‌ی میانگین‌ها (جدول ۲) با کاهش درصد ظرفیت زراعی، مقدار کلروفیل کل، کاروتنوئید، فلورسانس کلروفیل و PI کاهش یافت. بیش‌ترین میزان کلروفیل کل، فلورسانس کلروفیل و PI مربوط به تیمار شاهد در نژادگان سبزوار و کم‌ترین میزان این صفات مربوط به سطح خشکی ۴۰٪ ظرفیت زراعی در نژادگان ابرکوه مشاهده شد (شکل ۲). همچنین بیش‌ترین میزان کاروتنوئید کل مربوط به تیمار شاهد در نژادگان رابر و کم‌ترین میزان کاروتنوئید کل مربوط به سطح خشکی ۴۰٪ ظرفیت زراعی در نژادگان سبزوار مشاهده شد. کاهش کلروفیل کل با افزایش تنش خشکی در پژوهش حاضر، می‌تواند به دلیل کم بودن محتوای نسبی آب برگ و در نتیجه کاهش عوامل لازم برای ساخت کلروفیل و تخریب ساختمان آن باشد. همچنین کاتابولیسم کلروفیل در شرایط کم‌آبی افزایش می‌یابد که می‌تواند به دلیل پیری زودرس برگ‌ها در اثر اختلال هورمونی ناشی از تنش کم‌آبی باشد (Kafi & Damghani, 2001). کاهش در محتوای کلروفیل برگ ممکن است به علت از بین رفتن آنزیم‌های خاصی باشد که در بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی نقش دارند (Murkute *et al.*, 2006). از جمله این آنزیم‌ها آنزیم گلوتامات لیگاز است که نقش مهمی در سنتز کلروفیل دارد و کاهش سنتز کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی به دلیل ممانعت از فعالیت آنزیم گلوتامات لیگاز می‌باشد (Dalal & Tripathi, 2012). نتایج مقدار کلروفیل این آزمایش با نتایج مطالعات انجام شده روی گردو (Vahdati & Leslie, 2013) و بادام (Karimi, *et al.*, 2012 و Yadollahi *et al.*, 2011) همخوانی داشت. علت کاهش کاروتنوئیدها در پژوهش حاضر احتمالاً این است که تنش خشکی موجب تولید گونه‌های اکسیژن فعال در تیلاکوئیدها شده و تراکم کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها را کاهش دهد (Kiani *et al.*, 2008) که با نتایج به دست آمده روی زیتون (Boughalleb & Hajlaoui, 2011) و انار (Shaban *et al.*, 2011) مطابقت داشت. تنش‌های محیطی با آسیب به دستگاه فتوسنتزی، کارایی نظام نوری II را تحت تاثیر خود قرار داده و نسبت  $F_v/F_m$  را کاهش می‌دهند (Krause & Weis, 1991). پارامتر PI انعکاس‌دهنده کارایی جذب و استفاده نور در زنجیره انتقال الکترون دستگاه فتوسنتزی می‌باشد (Sofa *et al.*, 2004). کاهش کلروفیل فلورسانس تحت شرایط تنش خشکی، بدین صورت است که گیاه برای جلوگیری از هدر رفت آب، روزنه‌های برگ خود را بسته تا از تبخیر و تعرق آب جلوگیری کند. جذب دی‌اکسید کربن تحت شرایط تنش خشکی کاهش یافته و به دلیل متوقف شدن زنجیره انتقال الکترون در فرایند فتوسنتز و کاهش مصرف ATP و NADPH در چرخه کالوین، غلظت اکسیژن افزایش می‌یابد در نتیجه اکسیداسیون رایبیسکو اتفاق افتاده و تنفس نوری زیاد می‌شود. همچنین تحت این شرایط الکترون به مولکول اکسیژن منتقل شده و رادیکال‌های آزاد تولید می‌شوند که این رادیکال‌های آزاد سبب خسارت به پروتئین D1 که در ارتباط با مرکز واکنش فتوسیستم دو است می‌شود (Flexas & Medrano, 2002). کاهش میزان  $F_v/F_m$  تحت شرایط تنش خشکی روی توت فرنگی (Razavi *et al.*, 2008)، کاهو (Hussain & Reigosa, 2011)، زیتون (Petridis *et al.*, 2012) و پسته (Fahimi *et al.*, 2016) گزارش شده است.



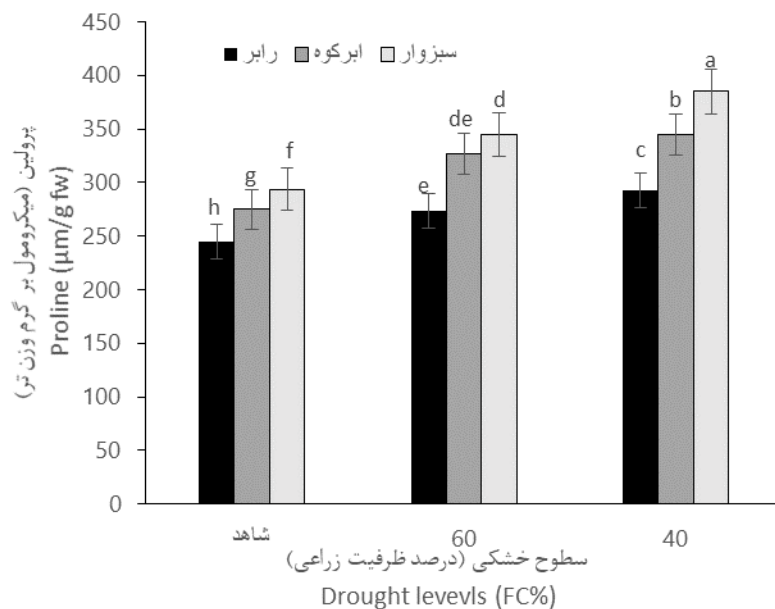
شکل ۲- اثر خشکی بر مقدار PI سه نژادگان زردآلو. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد ( $\pm$ SE) می‌باشد. حرف‌های مشابه نشانه نبود اختلاف معنی‌دار در آزمون LSD است ( $P \leq 0.05$ ).

Fig. 2. The effect of drought stress on PI of three apricot genotypes. The vertical bars indicate standard error ( $\pm$ SE). Similar letters indicate non significant difference in LSD test ( $P \leq 0.05$ ).

با توجه به نتایج مقایسه‌ی میانگین‌ها با کاهش درصد ظرفیت زراعی، مقدار پرولین، گلیاسین بتائین و قندهای محلول برگ زردآلو افزایش یافت. بیش‌ترین میزان پرولین، گلیاسین بتائین و قندهای محلول برگ در سطح خشکی ۴۰٪ ظرفیت زراعی و کم‌ترین میزان این صفات در تیمار شاهد مشاهده شد. مقدار این ترکیبات بیوشیمیایی در سه نژادگان زردآلو متفاوت بود و بیش‌ترین مقدار پرولین در نژادگان سبزوار (شکل ۳) و بیش‌ترین مقدار گلیاسین بتائین (شکل ۴) و قندهای محلول (شکل ۵) در نژادگان ابرکوه مشاهده شد (شکل ۳، ۴ و ۵). افزایش پرولین با کاهش پتانسیل آب برگ آغاز می‌شود، این افزایش منجر به حفظ تورم و کاهش خسارت غشاء در گیاهان می‌شود. به این ترتیب با روش تنظیم اسمزی تحمل به تنش کم‌آبی افزایش می‌یابد (Rahdari & Hoseini, 2012). پرولین به مقدار زیادی در گیاهان عالی وجود دارد و به صورت طبیعی در مقادیر بالا در پاسخ به تنش‌های محیطی تجمع پیدا می‌کند. علاوه بر نقش آن به عنوان اسمولیت، پرولین در پایدارسازی ساختارهای ریز سلولی مانند غشاءها و پروتئین‌ها و تخریب رادیکال‌های آزاد در شرایط تنش نقش دارد. در پاسخ به تنش خشکی تجمع پرولین در سیتوزول، به صورت طبیعی سبب تنظیم اسمزی در سیتوپلاسم می‌شود. در گیاهان، پیش‌ساز بیوسنتز پرولین، اسید گلوتامیک است. دو آنزیم پیرولین-۵-کربوکسیلات سنتتاز و پیرولین-۵-کربوکسیلات ردوکتاز نقش مهمی در بیوسنتز پرولین دارند (Unyayar *et al.*, 2004). نتایج این پژوهش با دیگر نتایج مبنی بر افزایش پرولین با افزایش تنش خشکی هم‌راستا بود (Maralian *et al.*, 2010; Johari-Pireivatlou, 2010). گلیاسین بتائین از طریق دفع رادیکال‌های آزاد، حفاظت از فتوسنتز، حفظ یکپارچگی غشاء، حفاظت از بزرگ مولکول‌ها و بعنوان یک اسمولیت سازگار غیر سمی نقش مهمی در مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی دارد (Giri, 2011). علت دیگر افزایش گلیاسین بتائین در این پژوهش احتمالاً افزایش هورمون اسید آبسزیک است. اسید آبسزیک علاوه بر سنتز پرولین در سنتز گلیاسین بتائین نیز دخیل است. هر چند مکانیسم اثر این هورمون روی تولید گلیاسین بتائین چندان هم مشخص نیست، اما از تحقیقات مختلف چنین برمی‌آید که با افزایش سطوح اسید آبسزیک سنتز این ماده نیز افزایش می‌یابد. برای نمونه این ماده در برگ‌های گلایی تحت تنش خشکی که با اسید آبسزیک تیمار شده بودند، افزایش یافت و این امر مقاومت به خشکی را در این گیاه بالا برد (Gao *et al.*, 2004). نتایج

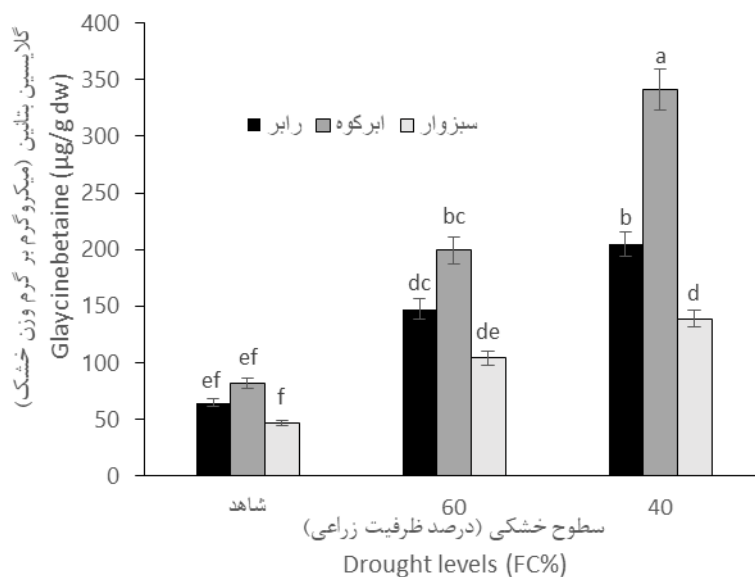
پژوهش حاضر با نتایج تنش خشکی روی دانه‌های پسته (Fahimi *et al.*, 2016) و گلابی<sup>۱</sup> (Zarrabi *et al.*, 2009) مطابقت داشت. افزایش قندهای محلول در زمان تنش را می‌توان به علت توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیر فتوسنتزی و هم چنین تجزیه قندهای نامحلول که باعث افزایش قندهای محلول نیز می‌شود، بیان کرد (Ghorbanli & Niakan, 2005) و Tamura (2012). ثابت شده است اسید آبسزیک در افزایش فعالیت و تظاهر آنزیم اینورتاز نقشی اساسی دارد. همچنین به نظر می‌رسد بیوسنتز اسید آبسزیک به طور مستقیم به وسیله گلوکز کنترل می‌شود، به این ترتیب که نسخه‌برداری تعدادی از ژن های دخیل در سنتز اسید آبسزیک به وسیله گلوکز افزایش می‌یابد و در واقع بین غلظت قندها و هورمون های گیاهی مانند اسید آبسزیک، اثر متقابلی در زمینه رشد و نمو و تنظیم اسمزی وجود دارد. غلظت بالای اسید آبسزیک و قندها در تنش شدید خشکی سبب کاهش رشد می‌شود، در حالی که غلظت پایین آن‌ها سبب افزایش رشد می‌گردد. اسمولیت‌ها در مقادیر کم از راه پایدار کردن ساختار فضایی پروتئین ها یا از راه تخریب گونه‌های فعال اکسیژنی از ماکرو مولکول‌ها محافظت می‌کنند، اما غلظت بالا و غیرعادی این مواد محلول در گیاهان تراریخته مدل می‌تواند سبب ایجاد رندهای معیوب در غیاب تنش شود (Fakhim Zarei & Zare Nahandi, 2012). نتایج ما با نتایج جلیلی مردندی و همکاران (Jalili Marandi *et al.*, 2011) و طلایی و همکاران (Talaei *et al.*, 2011) مطابقت دارد.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین با کاهش درصد ظرفیت زراعی، میزان نشت یونی افزایش یافت و بیش‌ترین میزان نشت یونی برگ مربوط به سطح خشکی ۴۰٪ ظرفیت زراعی بود. همچنین در بین نژادگان های مورد آزمایش بیش‌ترین میزان نشت یونی در نژادگان ابرکوه و کم‌ترین میزان آن در نژادگان سبزوار مشاهده شد (جدول ۲). گزارش شده است که یکی از آسیب‌های جدی تنش خشکی خسارت به غشا و رهاسازی یون‌ها از سلول به فضای بین سلولی است. این پدیده نتیجه تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که منجر به پراکسیداسیون لیپید، نفوذپذیری غشا و خسارت به سلول می‌شود (Sairam *et al.*, 2002). مشخص شده است که حفظ پایداری و سلامت غشای سلولی تحت شرایط تنش خشکی یکی از اصلی‌ترین اجزاء تحمل گیاهان به تنش خشکی می‌باشد. در پژوهشی که بر روی پسته انجام شد مشخص شد که با کاهش بیش‌تر آب آسیب بیش تری به غشای سلولی وارد می‌شود (Fahimi *et al.*, 2016). نتایج آزمایش حاضر با نتایج گزارش شده روی بادام (Karimi *et al.*, 2012)، گردو (Parvin *et al.*, 2014)، گندم (Bajji *et al.*, 2002) و جو (Krause & Weis 1991) و Kocheva *et al.*, 2004) مطابقت داشت.



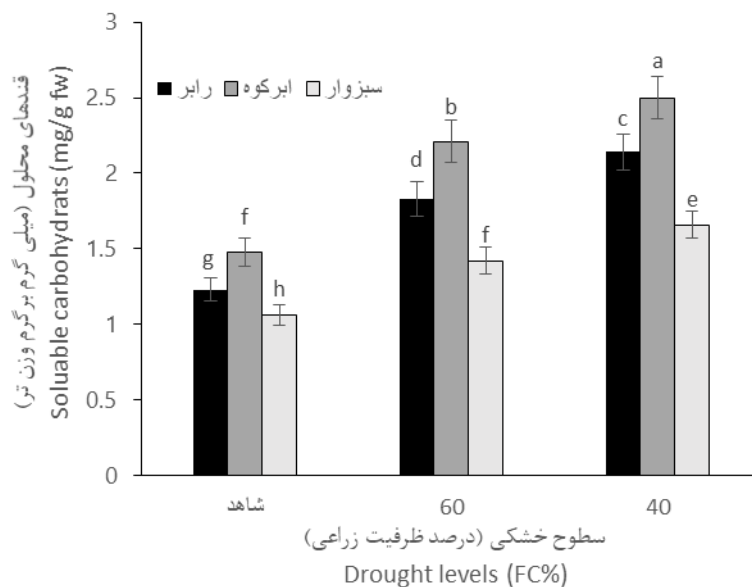
شکل ۳- اثر خشکی بر مقدار پرولین برگ سه نژادگان زردآلو. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد. حرف‌های مشابه نشانه نبود اختلاف معنی‌دار در آزمون LSD است ( $P \leq 0.05$ ).

Fig. 3. The effect of drought stress on leaf proline content of three apricot genotypes. The vertical bars indicate standard error (±SE). Similar letters indicate non significant difference in LSD test ( $P \leq 0.05$ ).



شکل ۴- اثر خشکی بر مقدار گلیسین بتائین برگ سه نژادگان زردآلو. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (±SE) می‌باشد. حرف‌های مشابه نشانه نبود اختلاف معنی‌دار در آزمون LSD است ( $P \leq 0.05$ ).

Fig. 4. The effect of drought stress on leaf Glycine Betaine content of three apricot genotypes. The vertical bars indicate standard error (±SE). Similar letters indicate non significant difference in LSD test ( $P \leq 0.05$ ).



شکل ۵- اثر خشکی بر مقدار قندهای محلول سه نژادگان زردآلو. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد ( $\pm$ SE) می‌باشد. حرف‌های مشابه نشانه نبود اختلاف معنی‌دار در آزمون LSD است ( $P \leq 0.05$ ).

Fig. 5. The effect of drought stress on leaf soluble sugars content of three apricot genotypes. The vertical bars indicate standard error ( $\pm$ SE). Similar letters indicate non significant difference in LSD test ( $P \leq 0.05$ ).

## نتیجه گیری

به طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پاسخ سه نژادگان زردآلوی مورد بررسی نسبت به شرایط تنش خشکی ایجاد شده متفاوت بود به این صورت که نژادگان ابرکوه نسبت به دو نژادگان دیگر (رابر، سبزوار) بیش‌تر تحت تاثیر تنش خشکی قرارگرفت، چرا که نژادگان ابرکوه تحت شرایط تنش خشکی کم‌ترین محتوی آب نسبی برگ، کلروفیل کل و  $F_v/F_m$  و بیش‌ترین درصد نشت یونی را نشان داد. این در حالی است که نژادگان سبزوار نسبت به دو نژادگان دیگر به تنش خشکی تحمل بالاتری را نشان داد و کم‌تر تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت.

## References

- Ahmadi, A., & Baker, D.A. (2000). Stomatal and non-stomatal limitation of photosynthesis under drought stress conditions in wheat plant. *Journal of Agricultural Science*, 31, 825-813.
- Bacelar, E. A., Santos, D. L., Moutinho-Pereira, J.M., Goncalves, B.C., Ferreira, H.F., & Correia, C.M. (2006). Immediate responses and adaptative strategies of three olive cultivars under contrasting water availability regimes: Changes on structure and chemical composition of foliage and oxidative damage. *Plant Science*, 170, 596-605.
- Bajji, M., Kinet, J.M., & Lutts, S. (2002). The use of the electrolyte leakage metod for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durume wheat. *Journal of Plant Growth Regulators*, 36, 61-70.
- Boughalleb, F., & Hajlaoui, H. (2011). Physiological and anatomical changes induced by drought in two olive cultivars (cv. Zalmati and Chemlali). *Acta Physiology Plantarum*, 33(1), 53-65.
- Dalal, V.K., & Tripathy, B.C. (2012). Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis. *Plant Cell and Environment*, 35, 1685-1703.
- Fahimi, F., Shamshiri, M.H., & Estaji, A. (2016). Changes in some physiological and osmotic parameters of several pistachio genotypes under drought stress. *Scientia Horticulture*, 198, 44-51.
- Fakhim Zarei, Sh., & Zare Nahandi, F. (2012). The interaction effect of abscisic acid and osmolytes in creating resistance to drought stress. *Zeitoun Agricultural Specialized Scientific Journal*, 32(230), 1-10. (In persian).
- FAO. 2018. FAOSTAT online database, available at link <http://faostat.fao.org/>. Accessed on December 2018.

- Flexas, J., & Medrano, H. (2002). Drought-inhibition of photosynthesis plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of Botany*, 89, 183-189.
- Ganji Moghaddam, A. (2011). Temperate zone pomology. Publications of agricultural education and promotion. Mashhad. 89 p. (In persian).
- Gao, X.Q., Pan, M., Li, L., Zhang, X., Wang, Y., Shen, Y., Lu, S., Shen, Z., & Liang, D. (2004). Abscisic acid is involved in the water stress-induced betaine accumulated in pear leaves. *Plant Cell Physiology*, 45, 742-750.
- Ghorbanli, M., & Niakan, M. (2005). Investigating the effect of drought stress on the level of soluble sugars, protein, proline, phenolic compounds and the activity of nitrate reductase enzyme in soybean plant cv. Gorgan. *Sciences Journal of Tarbiat Moallem University*, 5, 537-549. (In persian).
- Giri, J. (2011). Glycinebetaine and abiotic stress tolerance in plants. *Plant Signal Behavior*, 6, 1746-1751.
- Grieve, C.M., & Grattan, S.R. (1983). Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant Soil*, 70, 303-307.
- Gupta, N.K., Gupta, S., & Kumar, A. (2001). Effect of Water Stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages. *Journal Agronomy and Crop Science*, 186, 55-62.
- Hirayama, M., Ada, Y.W., & Nemoto, H. (2006). Estimation of drought tolerance based on leaf temperature in upland rice breeding. *Breeding Science*, 56, 47-54.
- Hsiao, T.C. (1973). Plant responses to water stress. *Journal of Plant Physiology*, 24, 519-570.
- Hussain, M.I., & Reigosa, M.J. (2011). A chlorophyll fluorescence analysis of photosynthetic efficiency, quantum yield and photon energy dissipation in PSII antennae of *Lactuca sativa* L. leaves exposed to cinnamic acid. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49, 1290-1298.
- Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changing concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiology Plantarum*, 84, 67-72.
- Jalili Marandi, R., Hassani, A., Dolati-E- Baneh, H., & haji Lu., V. (2011). The effect of different levels of soil moisture on the morphological and physiological characteristics of three grape cultivar. *Horticultural Science*, 42(1), 31-40. (In Persian).
- Johari-Pireivatlou, M. (2010). Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines. *African Journal of Biotechnology*, 9, 36-40.
- Kafi, M., & Damghani, M.M. (2001). Mechanisms of Environmental Stress Resistance in Plants. Ferdowsi University Press, 472P. (In Persian).
- Kafi, M., Borzooyi, B., Salehi, M., Kamandi, A., Massumi, A., & Nabat, J. (2010). Environmental Stress in Plant Physiology. JDM Press, 502P.
- Karimi, S., Yadollahi, A., Nazari-Moghadam, R., Imani, A., & Arzani, K. (2012). In vitro screening of almond (*Prunus dulcis* mill.) genotypes for drought tolerance. *Journal of Biology and Environment Science*, 6(18), 263-270.
- Kiani, S. P., Maury, P., Sarrafi, A., & Grieu, P. (2008). QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. *Plant Science*, 175(4), 565-573.
- Kocheva, K., Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev, V. & Karabaliev, M. (2004). Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, 63, 121-124.
- Korkutal, I., Bahar, E., & Carbonneau, A. (2011). Growth and yield responses of grapewine cv. Merlot (*Vitis vinifera* L.) to early water stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(29), 6281-6288.
- Krause, G. H., & Weis, E. (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annals Review of Plant Biology*, 42, 313-349.

- Kumar, S.P. (2011). Effect of different mulches and irrigation method on root growth, nutrient uptake, water-use efficiency and yield of strawberry. *Scientia Horticulture*, 127, 318-324.
- Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymology*, 148, 350-382.
- Lotfi, N., Vahdati, K., Kholdebarin, B. & Najafian Ashrafi, V. (2009). Germination, mineral composition and ion uptake in walnut under salinity conditions. *Horticultural Science*, 44, 5, 1352-1357.
- Maralian, H., Ebadi, A., Didar, R.T., & Haji-Eghrari, B. (2010). Influence of water deficit stress on wheat grain yield and proline accumulation rate. *African Journal of Agricultural Research*, 5, 286-289.
- Matos, M.C., Rebelo, E., Lauriano, J., Semedo, J., Marques, N., Campos, P., & Vieira-Da-Silva, J. (2004). CO<sub>2</sub> assimilation and water relations of almond tree (*Prunus amygdalus* Batsch) cultivars grown under field conditions. *Photosynthetica*, 42(3), 473-476.
- Montanaro, G., Dichio, B., & Xiloyannis, C. (2010). Significance of fruit transpiration on calcium nutrition in developing apricot fruit. *Journal of Plant Nutrition*, 173, 618-622.
- Murkute, A., Sharma, S., & Singh, S. (2006). Studies on salt stress tolerance of citrus rootstock genotypes with arbuscular mycorrhizal fungi. *Horticultural Science*, 33, 70-76.
- Najafzadeh, R., Fakharian, Z., & Hadipur, M. (2012). Practical scientific principles of apricot tree cultivation. Sarva Publications. 264 p. (In persian).
- Paquin, R., & Lechasser, P. (1979). Observations sur une method dosage de l proline libre dans les extraits de plantes. *Canadian Journal of Botany*, 57, 1851-1854.
- Parvin, P., Khezri, M., & Tavasoliyan, I. (2014). Effects of drought stress on some morphological, physiological and biochemical parameters of Persian walnut seedling. *Journal of Plant Production Research*, 21(3), 1-25. (In Persian).
- Pastor, A., Sanchez, C., & Domingo, R. (2014). Effects of timing and intensity of deficit irrigation on vegetative and fruit growth of apricot trees. *Agricultural Water Management*, 134, 110-118.
- Perez-Pastor, A., Domingo, R., Torrecillas, A., & Ruiz-Sanchez, M. (2009). Response of apricot trees to deficit irrigation strategies. *Irrigation Science*, 27, 231-242.
- Petridis, A., Therios, I., Samouris, G., Koundouras, S., & Giannakoula, A. (2012). Effect of water deficit on leaf phenolic composition, gas exchange, oxidative damage and antioxidant activity of four Greek olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, 60, 1-11.
- Probsting, E.L., & Middleton, J.E., (1980). The behavior of peach and pear trees under extreme drought stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105, 380-385.
- Radnia, H. (1996). Rootstocks for fruit crops. Agricultural Education Publication. Pp. 397-434. (In persian).
- Rahdari, P., & Hoseini, S.M. (2012). Drought Stress: A Review. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 3, 443-446.
- Rahnemoon, H. (2019). The effects of Myrobalan rootstock and Sent Julian A interstock on some growth characteristics of five commercial apricot cultivars. *Research Achievements for Field and Horticultural crops*, 8(2), 271-285. (In persian).
- Ranney, T. G., Bassuk, N.L., & Whitlow, T.H. (1991). Osmotic adjustment and solute constituents in leaves and roots of water-stressed cherry (*Prunus*) trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(4), 684-688.
- Razavi, F., Pollet, B., Steppe, K., & Van Labeke, C. (2008). Chlorophyll fluorescence as a tool for evaluation of drought stress in strawberry. *Photosynthetica*, 46, 631-633.
- Reddy, R., Chaitanya, V., & Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189-1202.
- Rieger, M., Lobianco, R., & Okie, W.R., (2003). Responses of *Prunus ferganensis*, *Prunus persica* and two interspecific hybrids to moderate drought stress. *Tree Physiology*, 23, 51-58.
- Rostami Shahraji, T., Hajimerzai, A., & Shabaian, N. (2010). Physiological responses of *Pistacia khinjuk* (stocks) seedling to water stress. *Indian Journal of Biology Techique*, 1, 44-49.

- Sairam, R.K., Rao, K.V., & Srivastava, G.C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyt concentration. *Plant Science*, 163, 1037-1046.
- Secenji, M., & Lendvaia, A. (2005). Experimental system for studying long term drought stress adaptation of wheat cultivars. *Acta Biologica*, 49(1-2), 51-52.
- Shaban, A.E., Khattab, M.M., El-Shrief, A.H., & El-Deen Mohamed, A.S. (2011). Growth and productivity of pomegranate trees under different irrigation levels. I: Vegetative growth and fruiting. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 3(2), 194-198.
- Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A., & Zhao, C.X. (2008). Water-deficient stress-induced anatomical changes in higher plants. *Journal of Biology Science*, 331, 215-225.
- Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis, C., & Masia, A. (2004). Lipoxigenase activity and proline accumulation in leaves and roots of olive trees in response to drought stress. *Physiologia Plantarum*, 121, 58-65.
- Strauss, A.J., Strasser, R.J., & Van Heerden, P.D.R. (2006). Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. *Environmental and Experimental Botany*, 56, 147-157.
- Talaei, A.R., Ghadri, N., & Lesani, H. (2011). Biochemical responses of two grape varieties, Sahani and Bidaneh-E-Sefid, to changes in soil water potential. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 42(3), 308-301. (In persian).
- Tamura, F. (2012). Recent advances in research on Japanese pear rootstocks. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 81(1), 1-10.
- Torrecillas, A., Domingo, R., Galego, R., & Ruiz-Sanchez, M.C. (2000). Apricot tree response to withholding irrigation in different phenological periods. *Scientia Horticulturae*, 85, 201-215.
- Unyayar, S.Y., Keles, E., & Unal, E. (2004). Proline and ABA levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. *Plant Physiology*, 30(3-4), 34-47.
- Vahdati, K., & Leslie, C.A. (2013). Abiotic Stress - Plant Responses and Applications in Agriculture. 410p.
- Vahdati, K., Lotfi, N., Kholdebarin, B., Hassani, D., Amiri, R., Mozaffari, M.R., & Leslie, C. (2009). Screening for drought-tolerant genotypes of persian walnuts (*Juglans regia* L.) during seed germination. *HortScience*, 44, 1815-1819.
- Wang, Z., & Stutte, G.W. (1992). The role of carbohydrates in active osmotic adjustment in apple under water stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(5), 816-823.
- Xing, H.L., Tan L., An, L., Zhao, Z., Wang, S. & Zhang, C. (2004). Evidence for the involvement of nitric oxide and reactive oxygen species in osmotic stress tolerance of wheat seedlings: inverse correlation between leaf abscisic acid accumulation and leaf water loss. *Plant Growth Regulators*, 42, 61-68.
- Yadollahi, A., Arzani, K., Ebadi, A., Wirthensohn, M., & Karimi, S. (2011). The response of different almond genotypes to moderate and severe water stress in order to screen for drought tolerance. *Scientia Horticulturae*, 129, 403-413.
- Zarrabi, M.M., Talaei, A.R., & Lesani, H. (2009). The effect of drought stress on the morphophysiological and anatomical characteristics of some olive cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences of Iran)*, 1, 117-109. (In persian).
- Zokai, M., Ershadi, A., Esna Ashari, M., & Imani, A. (2013). Physiological responses of five almond species to drought stress caused by polyethylene glycol. *Journal of Plant Production Technology*, 5(2), 73-88. (In Persian).

## **Comparison the Tolerance of Three Apricot Genotypes as Rootstock to Drought Stress**

**Nejat Shamsaddinifar, Majid Esmaeilizadeh\* and Seyyed Hossein Mirdehghan**

Horticultural Sciences, College of Agriculture, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran.

\*Corresponding Author, Email: (esmaeilizadeh@vru.ac.ir)

This research was conducted to study the effects of different levels of drought stress on some morphological and physiological parameters of three Iranian genotypes of apricots and comparison the tolerance of the seedlings to drought stress. Therefore, an experiment has been carried out as factorial based on completely randomized design in a controlled greenhouse with 9 treatments and 4 replications. In this study, 3 levels of drought stress including control (90% of field capacity), moderate drought stress (60% field capacity) and severe drought stress (40% field capacity) were applied on three apricot genotypes, Abarkouh, Rabor, Sabzvar and measurement was performed at 30 days after stress. The results of morphological, physiological and biochemical assays showed that these parameters have been affected by the drought stresses levels. Drought stress on seedling of apricot genotypes, reduced plant height, leaf relative water content, leaf area, chlorophyll, carotenoids, chlorophyll fluorescence and increased electrolyte leakage, proline, glycine betaine and soluble sugars compared to the control (90% FC). Due to the lowest decrease in height and leaf area, the lowest amount of electrolyte leakage, the highest relative water content of leaves, total chlorophyll, PI and Fv/Fm, Sabzvar genotype was less affected by drought stress than the other two genotypes. Therefore, it can be said that Sabzvar genotype is more tolerant, Rabor genotype is moderate and Abarkouh genotype have less tolerance to drought stress.

**Keywords:** Chlorophyll, Field capacity, Proline, Seed, Soluble Sugars.