

ارزیابی تحمل به خشکی در برخی ژنوتیپ‌های بومی پسته استان قزوین

مصطفی قاسمی^{۱*}، حجت هاشمی نسب^۲، شیوا قاسمی^۱، سعید کاشانی زاده^۱

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۸/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰

چکیده

در این تحقیق ۱۰ ژنوتیپ انتخابی پسته، تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفتند. تیمارهای آبیاری شامل دو سطح آبیاری کامل و قطع آبیاری به مدت دو هفته بودند که روی دانه‌های سه ماهه اعمال شدند. بعد از دوره تنش، همه گیاهان (شاهد و تحت تنش) مجدداً تا حد ظرفیت مزرعه آبیاری شدند و رطوبت آن‌ها برای دو هفته در حد ظرفیت زراعی حفظ شد و اندازه‌گیری پارامترهای مختلف انجام شد. در شرایط تنش آبی، بیشترین مقدار آب نسبی برگ (۶۰/۲۹ درصد) متعلق به ژنوتیپ P9 بود. همچنین ژنوتیپ P3 دارای کمترین نشت یونی (۴۱/۸ درصد)، کمترین غلظت مالون دی‌آلدئید (۱۸/۷۳ میکرومول بر گرم وزن تر)، بیشترین غلظت پرولین (۰/۸۶۸۳ میکرومول بر گرم وزن تر) و بیشترین غلظت قندهای محلول (۱۲/۰۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بود. در شرایط تنش آبی، کمترین مقدار آب نسبی برگ (۵۴/۳۲ درصد)،

بیشترین نشت یونی (۵۸/۸۴ درصد)، بیشترین غلظت مالون دی‌آلدئید (۲۷/۱۹ میکرومول بر گرم وزن تر)، کمترین مقدار پرولین (۰/۵۳ میکرومول بر گرم وزن تر) و کمترین مقدار قندهای محلول (۶/۶۹۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) نیز متعلق به ژنوتیپ P8 بود. از نظر پارامترهای رشدی نیز نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های P1، P3 و P9 در تیمارهای تنش آبی، کاهش کمتری نسبت به شاهد در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها نشان دادند. به طور کلی نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های P3 و P9 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها خشکی را بهتر تحمل کردند و ژنوتیپ P8 حساسیت بیشتری را نسبت به خشکی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: رشد رویشی، مالون دی‌آلدئید، محتوای آب نسبی برگ، نشت یونی

مقدمه

سطح زیرکشت باغات بارور پسته کشور بالغ بر ۴۲۰ هزار هکتار می‌باشد که بیش از ۳۸۶ هزار تن

^۱ عضو هیأت علمی بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، قزوین ایران

* نویسنده مسئول: mostafaghaseemi1417@gmail.com

^۲ عضو هیأت علمی پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران

اسمزی مانند قندهای محلول برگ پسته به میزان زیادی افزایش یافت و حتی این افزایش در دوره بازیابی (آبیاری مجدد) نیز وجود داشت. نتایج بررسی اثر تنش خشکی روی چند رقم پسته نشان داد که از نظر کارایی مصرف آب فیزیولوژیک نیز ارقام اکبری، اوحدی، کله‌قوچی، احمدآقایی، هراتی و رضایی زودرس بیشترین تا کمترین مقدار را دارا بودند (Sajjadinia *et al.*, 2010). در انگور گزارش شده بخشی از تحمل به خشکی به دلیل آوندهای چوبی نسبتاً بزرگ آن می‌باشد که اجازه بازیابی سریع آن را بعد از تنش می‌دهد (Lovisolo *et al.*, 2008). به دلیل پیچیدگی برنامه‌های اصلاحی در درختان میوه، در طی دو دهه اخیر پژوهشگران به دنبال یافتن شاخص‌هایی برای غربال ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های انتخاب ارقام و پایه‌ها بوده‌اند. در این راستا یافتن مکانیسم‌های مقاومت به خشکی در ژنوتیپ‌های بومی جهت برنامه‌های غربال‌گری ارقام بسیار مفید است. در مناطق مختلف ایران از جمله استان قزوین باغات سنتی پسته و درختان مسن زیادی یافت می‌شوند. وجود این درختان مسن حاکی از حضور ژن‌های با ارزش مقاومت به تنش‌های مختلف در آن‌ها است که سبب شده با وجود شرایط نامساعد محیطی بتوانند سالیان درازی را سپری کنند. لذا به نظر می‌رسد بتوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی را در جمعیت‌های موجود شناسایی کرد. با توجه به اهمیت محصول پسته در کشور به‌عنوان یک محصول مهم استراتژیک و

محصول در این باغات تولید می‌شود. میزان عملکرد پسته کشور نیز حدود ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۹). محدودیت آب یکی از مهم‌ترین دلایل پایین بودن عملکرد پسته در کشور می‌باشد. تولید و معرفی پایه و ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی یکی از اهداف مهم اصلاح گیاهان برای غلبه بر بحران کم آبی می‌باشد. کمبود احتمالی آب در آینده نزدیک علاقه به دستیابی به تحمل به خشکی را که توسط پایه فراهم می‌شود افزایش می‌دهد. پایه روی تحمل به خشکی و رشد پیوندک نیز تاثیرگذار است (Gijon *et al.*, 2010). پیوند پسته روی پایه هیبرید UCB1 و *Pistacia terebinthus* منجر به رشد بالاتری در مقایسه با پایه آتلانتیکا در شرایط تنش خشکی شد (Gijon *et al.*, 2010). در سیب، هلو و گیلان، اثر پایه روی رشد پیوندک در ارتباط با تاثیر روی ظرفیت هدایت هیدرولیکی پیوندک بود (Atkinson *et al.*, 2003; Tombesi *et al.*, 2010; Zoric *et al.*, 2012). مکانیسم‌های متعددی در گیاهان برای زنده ماندن در محیط‌های مستعد خشکی وجود دارد. در پسته در مراحل مختلف فنولوژیکی مکانیسم‌های مقاومت به خشکی متفاوت هستند. یکی از مکانیسم‌ها، داشتن سیستم ریشه ای عمیق و داشتن واکس در ساختار برگ و مکانیسم دیگر تنظیم اسمزی می‌باشد که به حفظ تورگور در سلول کمک می‌کند. (Esmailpour *et al.*, 2016) بیان کردند در اثر تنش آبی غلظت ترکیبات

همچنین قرار گرفتن ایران در شرایط خشک و نیمه‌خشک، تحقیقات به منظور یافتن پایه‌ها و ارقام متحمل به خشکی ضروری می‌باشد. بنابراین هدف اصلی این تحقیق بررسی تحمل به خشکی برخی ژنوتیپ‌های پسته موجود در باغستان سنتی قزوین و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی پسته به منظور معرفی به‌عنوان پایه مقاوم به خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۹ با هدف بررسی تحمل به خشکی برخی ژنوتیپ‌های بومی پسته موجود در باغستان سنتی شهرستان قزوین و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی پسته به منظور معرفی به عنوان پایه مقاوم به خشکی در گلخانه آزمایشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین انجام گرفت. در این تحقیق، اثر تیمارهای آبیاری بر ۱۰ ژنوتیپ بومی پسته استان قزوین مورد بررسی قرار گرفت. بذور ژنوتیپ‌های پسته از باغات سنتی پسته قزوین جمع‌آوری شدند و در اوایل فروردین‌ماه در کیسه‌های پلاستیکی هفت لیتری کشت شدند و سپس به مدت سه ماه، هر سه‌بار در هفته تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند. طرح مورد استفاده به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار (هر تکرار به عنوان یک واحد آزمایشی) و چهار گلدان در هر واحد آزمایشی بود. به‌طوری که برای هر ژنوتیپ ۱۶ گلدان

در معرض آبیاری کامل و ۱۶ گلدان در معرض تنش قرار گرفت. فاکتورها شامل ۱۰ ژنوتیپ پسته (با نام‌های P1، P2، P3، P4، P5، P6، P7، P8، P9 و P10) و دو سطح آبیاری (تنش و عدم تنش) بودند. تیمارهای آبیاری روی دانه‌های سه ماهه اعمال شدند. برای این منظور رطوبت گیاهان در آبیاری شاهد در طی کل دوره آزمایش در حد ظرفیت زراعی نگه داشته شد (عدم تنش). در حالی که گیاهان تحت تنش با شروع تنش (سه ماه پس از جوانه زنی)، حدود دو هفته در معرض قطع آبیاری قرار گرفتند تا کاهش شدید تورژسانس نشان دادند و اغلب برگ‌ها خشک و بی‌رنگ شدند (Gijon *et al.*, 2010). بعد از دوره تنش، همه گیاهان (شاهد و تحت تنش) مجدداً تا حد ظرفیت مزرعه آبیاری شدند و رطوبت آن‌ها برای دو هفته در حد ظرفیت زراعی حفظ شد و اندازه‌گیری پارامترهای محتوای آب نسبی برگ، نشت یونی، میزان مالون دی‌آلدئید، میزان پرولین، کل قندهای محلول، میزان کلروفیل و پارامترهای رشدی انجام شد.

الف- محتوای آب نسبی برگ (Relative Water Content, RWC)

برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ، دو برگ بالغ کاملاً توسعه‌یافته یکنواخت از قسمت وسط ساقه (از برگ‌های میانی شاخه) هر دانه‌ال انتخاب و در پاکت پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن تر برگ‌ها اندازه‌گیری شد. سپس

$$\text{هدایت الکتریکی اولیه} \\ \text{هدایت الکتریکی ثانویه} \times 100 = \text{نشت یونی}$$

ج- مالون دی آلدئید (Malondialdehyde, MDA)

مالون دی آلدئید، محصول نهایی اکسیدشدن اسیدهای چرب غیراشباع است که با تیوباربیتوریک اسید واکنش داده و تشکیل کمپلکس رنگی می‌دهد. به ۰/۲ گرم نمونه برگ پودر شده در ازت مایع، پنج میلی لیتر تری کلرو استیک اسید ۰/۱ درصد اضافه شد. ترکیب حاصل یک شب در محیط آزمایشگاه نگه داشته شد. روز بعد نمونه‌ها ورتکس شدید و سپس سانتریفیوژ (۳ دقیقه در ۱۴۰۰۰ دور) شدند. یک میلی لیتر از عصاره رویی را برداشته و به آن چهار میلی لیتر تری کلرو استیک اسید ۲۰ درصد محتوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید اضافه شد و نمونه‌ها ۳۰ دقیقه در بن ماری ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس بلافاصله به ظرف حاوی یخ منتقل شدند. پس از سرد شدن نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور سانتریفیوژ و در نهایت شدت جذب این کمپلکس با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. برای حذف اثر ترکیبات مزاحم، جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۰۰ نانومتر، از جذب نمونه در طول موج ۵۳۲ نانومتر کسر و غلظت کمپلکس محاسبه شد (Heath & Packer, 1968). بلانک هم شامل همه ترکیبات به جز ماده گیاهی بود و همه اعمال همزمان روی آن انجام گرفت.

$$\text{MDA } (\mu\text{mol g}^{-1} \text{ Fw}) = [\text{A}532 - \text{A}600/155] \times 1000$$

برگ‌ها درون یک بشر محتوی آب مقطر و در محیط تاریک به مدت یک شبانه‌روز قرار گرفتند و وزن اشباع یا آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها درون آون ۸۰ درجه سانی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید (Ritchie *et al.*, 1990). محتوای نسبی آب برگ به صورت زیر بیان شد:

$$\text{RWC} = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن خشک} - \text{وزن تورگور}} \times 100$$

ب- نشت یونی (Electrolyte Leakage, EL)

برای تعیین نشت یونی یا پایداری نسبی غشای سلولی، دو برگ بالغ کاملاً توسعه‌یافته یکنواخت از قسمت وسط ساقه انتخاب و در پاکت پلاستیکی قرار گرفت و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس سه مرتبه با آب مقطر و هر بار به مدت ۱۰ دقیقه شستشو و در محیط آزمایشگاه خشک شدند. از هر برگ، چهار قطعه یکسان، هر کدام به قطر تقریبی یک سانتی‌متر از دو طرف رگبرگ اصلی جدا و در لوله آزمایش درپوش‌دار محتوی ۱۵ میلی لیتر آب مقطر قرار داده شد. نشت یونی اولیه پس از ۲۴ ساعت تکان تدریجی در دمای آزمایشگاه روی شیکر توسط EC متر اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آبی قرار داده شدند. نشت یونی ثانویه پس از خنک شدن و رسیدن به دمای آزمایشگاه تعیین شد (Whitlow *et al.*, 1992). درصد نشت یونی از فرمول زیر محاسبه گردید:

$\text{mm}^{-1} 155$ = ضریب خاموشی

د- پرولین و قند کل محلول

برای این منظور ۰/۵ گرم نمونه برگی منجمد شده وزن و در هاون چینی له شد. سپس مقدار ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد به آن اضافه شد. قسمت بالای محلول (رو شناور) جدا و با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد مجدداً استخراج عصاره روی رسوبات باقی‌مانده ادامه یافت. عصاره استخراج‌شده به مدت ۱۵ دقیقه در ۴۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و سپس تا زمان اندازه‌گیری میزان پرولین و قند محلول کل در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد در فریزر نگهداری شد.

به منظور تعیین میزان پرولین برگ، دو میلی‌لیتر از عصاره الکلی یا استانداردها را در لوله‌های آزمایش درپوش‌دار ۱۵ میلی‌لیتری ریخته و به آن دو میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین (۱/۲۵ گرم پودر ناین‌هیدرین به کمک گرما و هم‌زدن در ۳۰ میلی‌لیتر اسیداستیک‌گلاسیال حل شد و به محلول حاصل ۲۰ میلی‌لیتر فسفریک اسید ۶ مولار افزوده شد) و دو میلی‌لیتر اسیداستیک‌گلاسیال اضافه گردید. مخلوط حاصل پس از هم‌زدن به مدت ۶۰ دقیقه در حمام آب جوش (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) گرم شد تا واکنش ایمینواسید با ناین‌هیدرین انجام شود. سپس محلول در ظرف آب یخ قرار داده شد تا واکنش متوقف گردد. بعد از خنک شدن چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه شد و به مدت ۱۵ الی ۲۰ ثانیه با ورتکس کامل به هم

زده شد. این کار باعث جدا شدن فازهای آلی و معدنی از هم و تشکیل ماده رنگی در فاز بالایی که دارای تولوئن است می‌شود. بعد از شیکر نمودن نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حالت ساکن نگهداری شدند. سپس شدت جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر با اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد (Bates et al., 1973). معرف ناین‌هیدرین اکسیدکننده قدرتمندی است و با اسید آمینه پرولین واکنش می‌دهد.

به منظور تعیین میزان کل قندهای محلول، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره الکلی یا استانداردها را برداشته و به آن سه میلی‌لیتر معرف آنترون (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون خالص در ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۷۲ درصد به آرامی و در گرمای ملایم حل گردید) تازه اضافه شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شدند تا واکنش انجام شود. قندها در شرایط اسیدی با معرف آنترون واکنش می‌دهند و به رنگ سبز مایل به آبی در می‌آیند. پس از خنک شدن نمونه‌ها، جذب آن‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت گردید. در این روش به دلیل اینکه سولفوریک اسید، اکسیدکننده فوق‌العاده قدرتمندی است، هم قندهای احیایی و هم غیراحیایی تعیین می‌شوند. جهت رسم منحنی استاندارد از دی-گلوکز خالص استفاده گردید. غلظت‌های ۰، ۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر (ppm) تهیه شد (Irigoyen et al., 1992).

ه- کلروفیل

به‌منظور تعیین میزان کلروفیل برگ، ۰/۵ گرم برگ تازه در هاون چینی له و به وسیله‌ی ۲۰ ml استون ۸۰ درصد عصاره‌گیری شد. عصاره به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و جذب در طول موج ۶۶۳ برای کلروفیل a و ۶۴۵ برای کلروفیل b با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. برای محاسبه مقادیر کلروفیل a و b (میلی‌گرم در هر گرم برگ تازه) از معادلات زیر استفاده شد (Arnon, 1967).

$$\text{Chlorophyll } a = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) / 100W$$

$$\text{Chlorophyll } b = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) / 100W$$

V = حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A = جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر

W = وزن تر نمونه بر حسب گرم

و- پارامترهای رشدی

در انتهای آزمایش گیاهان چهارماهه از گلدان‌ها خارج و اقدام به شستن ریشه‌های آن‌ها گردید. به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام‌ها، گیاهان به اندام‌های ریشه، شاخه و برگ تقسیم شدند. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. طول ساقه نیز با استفاده از متر نواری اندازه‌گیری گردید.

ز- آنالیز آماری

برای تجزیه آماری از نرم افزار MSTATC 2.10 و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2019 استفاده گردید.

نتایج و بحث

الف- پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در مورد پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در ژنوتیپ‌های پسته در جدول ۱ آورده شده است.

۱- محتوای نسبی آب برگ

نتیجه تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری و اثر ساده ژنوتیپ بر محتوای نسبی آب برگ در سطح ۱ درصد و اثر متقابل سطوح آبیاری و ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت. در شرایط تنش، بیشترین آب نسبی برگ (۶۰/۲۹ درصد) متعلق به ژنوتیپ P9 بود. ژنوتیپ P9 با ژنوتیپ‌های P3 و P1 تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین مقدار نیز در شرایط تنش (۵۴/۳۲ درصد) متعلق به ژنوتیپ P8 بود که اختلاف معنی‌داری با سایر

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها بر پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های پسته.

| منبع تغییرات | درجه آزادی | محتوای نسبی آب | نشت یونی | مالون دی آلدئید | پرولین | قند محلول | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | نسبت کلروفیل a/b |
|-----------------|------------|----------------|-----------|-----------------|---------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| سطح آبیاری | ۱ | ۴۵۲۵/۴۴** | ۱۱۷۹/۴۹** | ۴۱۴۹/۵۱** | ۳/۵۴** | ۱۰۰۹/۴۲** | ۵/۱۶۵** | ۲۵/۸۶** | ۱۴۴/۰۸** | ۱۰۸/۱۲** |
| ژنوتیپ | ۹ | ۱۱/۱۴** | ۶۰/۴۷** | ۱۴/۱۴** | ۰/۰۲۵** | ۵/۴۳** | ۰/۰۳۷ ^{ns} | ۰/۰۱۱ ^{ns} | ۰/۰۶۴ ^{ns} | ۰/۰۲۰ ^{ns} |
| آبیاری × ژنوتیپ | ۹ | ۷/۴۵* | ۷۳/۱۳** | ۱۵/۶۳** | ۰/۰۲۰** | ۵/۵۷** | ۰/۰۲۵ ^{ns} | ۰/۰۱۱ ^{ns} | ۰/۰۲۶ ^{ns} | ۰/۰۱۳ ^{ns} |
| خطا | ۶۰ | ۳/۱۹۴ | ۱/۶۳ | ۰/۹۶ | ۰/۰۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۰۳۶ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۲۶ |

^{ns}، * و ** به ترتیب بی‌معنی و معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱.



شکل ۱- اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر محتوای آب نسبی برگ ژنوتیپ‌های پسته.

ژنوتیپ‌ها داشت. در شرایط آبیاری نرمال، تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. بالا بودن محتوای نسبی آب برگ، در ژنوتیپ P1 و P3، P9 را در شرایط تنش می‌توان به بالاتر بودن هدایت روزنه‌ای و وجود مکانیسم‌هایی چون تنظیم اسمزی یا قابلیت بالای ریشه در فراهم کردن آب نسبت داد. در حقیقت حفظ پتانسیل فشاری در این ژنوتیپ‌ها می‌تواند مکانیسمی برای مقاومت به خشکی باشد.

Balaguer *et al.* (۲۰۰۲) بیان کردند هرچه گیاهی بتواند در شرایط تنش در مقابل کاهش میزان نسبی آب برگ مقاومت کند یک گیاه مقاوم به شوری و خشکی است. ژنوتیپ P8 کمترین محتوای آب نسبی برگ را در شرایط تنش نشان داد، بنابراین به عنوان ژنوتیپ حساس می‌باشد.

عواملی مانند میزان دسترسی گیاه به آب (آبیاری) و توانایی گیاه در تنظیم حرکات روزنه‌ای و

نشت یونی مشاهده نشد اما در شرایط تنش، بیشترین نشت یونی (۵۸/۸۴ درصد) متعلق به ژنوتیپ P8 بود که اختلاف معنی‌داری با سایر ژنوتیپ‌ها نشان داد. کمترین مقدار نیز در شرایط تنش (۴۱/۸ درصد) متعلق به ژنوتیپ P3 بود که اختلاف معنی‌داری با سایر ژنوتیپ‌ها اختلاف (۴۲/۴ درصد) نداشت ولی با سایر ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲).

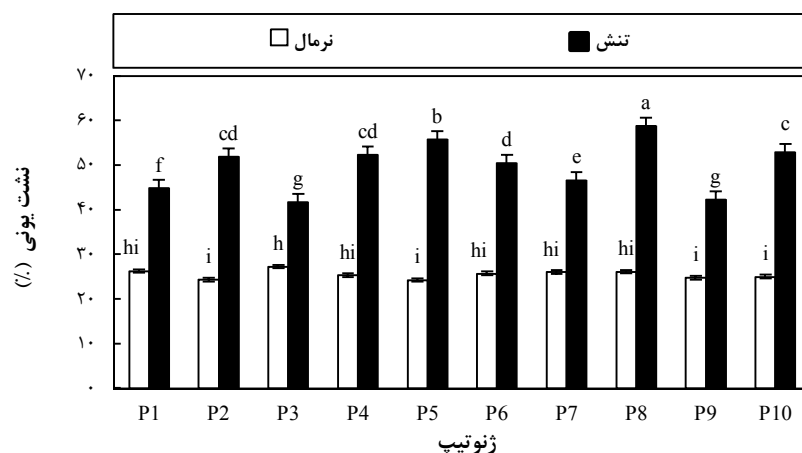
نشت یونی کمتر در ژنوتیپ P3 و سپس P9 نشان از پایداری بیشتر غشای این دو ژنوتیپ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها و مقاومت به خشکی آن‌ها باشد. پایه P8 نیز با بیش‌ترین میزان نشت یونی، حساسیت بیشتری به تنش خشکی نشان داد.

اولین بخش از سلول که در برابر تنش خشکی آسیب می‌بیند غشاء سلول است. تنش خشکی با شروع یک تنش اکسیداتیو همراه می‌باشد، بنابراین در طی آن تولید و ذخیره گروه‌های سمی و مخرب رادیکال‌های

تنظیم اسمزی بر محتوای نسبی آب تأثیر می‌گذارند. همچنین کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق از جامعه گیاهی از عوامل دخیل در کاهش محتوای آب نسبی هستند (Hall, & Twidwell, 2002). گیاهان با مکانیسم تنظیم اسمزی، پتانسیل اسمزی را کاهش و محتوای آب نسبی برگ را بالا نگه می‌دارند. افزایش در میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC) می‌تواند آماس سلول‌های محافظ را حفظ و لذا هدایت روزنه‌ای و در نتیجه فتوسنتز انجام گیرد (Lopez et al., 1988).

۲- نشت یونی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری و ژنوتیپ و اثر متقابل سطوح آبیاری و ژنوتیپ بر نشت یونی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در شرایط آبیاری نرمال تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر



شکل ۲- اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر نشت یونی برگ ژنوتیپ‌های پسته.

می‌شود (Jesus *et al.*, 2015; Sedaghat *et al.*, 2017). اسیدهای چرب غیر اشباع حساسترین بخش غشا به اکسید شدن و تخریب از طریق تنش آکسایشی هستند. پراکسیداسیون چربی هم در غشای سلول و هم در غشای اندامک‌ها، وقتی رخ می‌دهد که سطوح گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن به بیش از حد آستانه برسد و سبب تنش آکسایشی شود (Gill & Tuteja, 2010; حبیبی و امیری، ۱۳۹۲). پراکسیداسیون لیپید به پروتئین‌های غشا صدمه وارد کرده و گیرنده‌ها، آنزیم‌ها و کانال‌های یونی را غیرفعال می‌کند (Arbona *et al.*, 2003).

بر اثر تجزیه اسیدهای چرب غیراشباع به کمک اکسیژن واکنش‌گر، ترکیباتی مثل مالون دی آلدئید به‌عنوان محصول نهایی پراکسیداسیون چربی تولید می‌شود که تجمع آن سبب افزایش نفوذپذیری غشای پلاسمایی می‌شود و نشت یونی را افزایش می‌دهد (Gulen *et al.*, 2008).

در این تحقیق در شرایط تنش خشکی میزان مالون دی آلدئید در همه ژنوتیپ‌ها نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. ژنوتیپ P8 میزان MDA بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در بافت خود نشان داد. این امر می‌تواند دلالت بر حساسیت بیشتر آن به تنش آکسایشی داشته باشد.

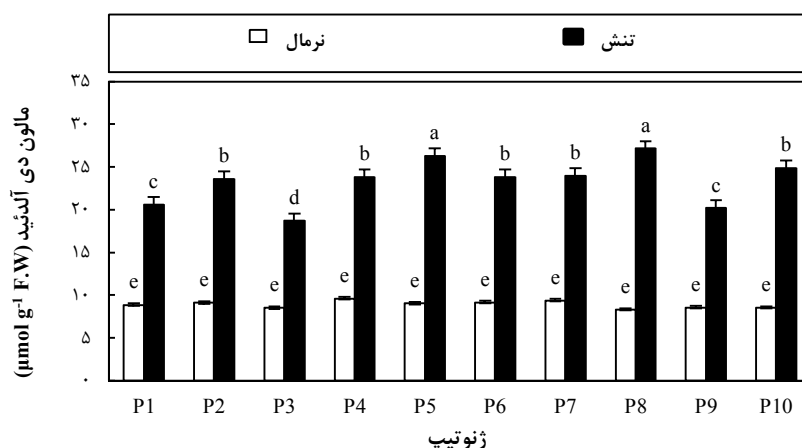
پایین‌تر بودن مقدار مالون دی آلدئید در ژنوتیپ P3، می‌تواند به‌دلیل فعالیت بیشتر آنزیم‌های

اکسیژن آزاد افزایش می‌یابد. نفوذپذیری بیشتر غشاء سلولی منجر به افزایش نشت محلول‌های سلولی مانند پتاسیم، آمینواسیدها، کربوهیدرات‌ها و در مجموع الکترولیت‌های مختلف به خارج از سلول می‌شود (Mandhanis *et al.*, 2006; Qinghua *et al.*, 2006). مطالعه تنش خشکی در ارقام سیب نشان داد که با افزایش سطوح تنش آبی، درصد نشت یونی در پایه‌های مورد مطالعه افزایش داشت (Bollat *et al.*, 2014).

۳- مالون دی آلدئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل سطوح آبیاری و ژنوتیپ بر مالون دی آلدئید برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد مالون دی آلدئید تحت تأثیر تنش خشکی افزایش یافت. در شرایط آبیاری نرمال، تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر مالون دی آلدئید مشاهده نشد اما در شرایط تنش، بیشترین غلظت مالون دی آلدئید (۲۷/۱۹ میکرومول بر گرم وزن تر) متعلق به ژنوتیپ P8 بود. تفاوت بین ژنوتیپ P8 و ژنوتیپ P5 از نظر آماری معنی‌دار نبود. در شرایط تنش خشکی، کمترین غلظت مالون دی آلدئید (۱۸/۷۳ میکرومول بر گرم وزن تر) نیز متعلق به ژنوتیپ P3 بود که اختلاف معنی‌داری با سایر ژنوتیپ‌ها داشت (شکل ۳).

افزایش مالون دی آلدئید نشانه میزان آسیب غشایی به اندامک و سلول است که منجر به مرگ سلول



شکل ۳- اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر مالون دی آلدئید برگ ژنوتیپ‌های مختلف پسته.

وزن تر) بود که اختلاف معنی‌داری با سایر ژنوتیپ‌ها داشت (شکل ۴).

در سطح سلولی، گیاهان با تجمع اسمولیت‌ها

تا حدودی خشکی را تحمل می‌کنند (Bartels &

Nelson, 1994; Bohnert *et al.*, 1995). اغلب این

اسمولیت‌ها ترکیبات نیتروژنی هستند و بنابراین

متابولیسم نیتروژن در شرایط تنش‌زا از اهمیت اصلی

برخوردار است. افزایش میزان اسید آمینه نیز در انواع

گونه‌های گیاهی به‌منظور تنظیم اسمزی به‌عنوان

پاسخی به تنش آبی مشخص شده است (Dubey,

1994). گزارش شده که در شرایط تنش، تجمع پرولین

سریع‌تر از اسید آمینه‌های دیگر رخ می‌دهد. تجمع

پرولین در اثر تنش آبی و شوری در نتیجه سنتز پرولین

در بافت‌های مختلف، ممانعت از اکسیداسیون پرولین و

جلوگیری از شرکت پرولین در ساخت پروتئین‌ها

آنتی‌اکسیدان و یا تجمع بیشتر پرولین باشد که نشان‌دهنده اکسیداتیو کمتر در بافت این ژنوتیپ در اثر تنش خشکی می‌باشد.

۴- پرولین

نتیجه تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده

آبیاری و ژنوتیپ و اثر متقابل سطوح آبیاری و ژنوتیپ

بر پرولین برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار

شد (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد

پرولین تحت تأثیر تنش خشکی افزایش یافت. در

شرایط تنش آبی، بیشترین غلظت پرولین به

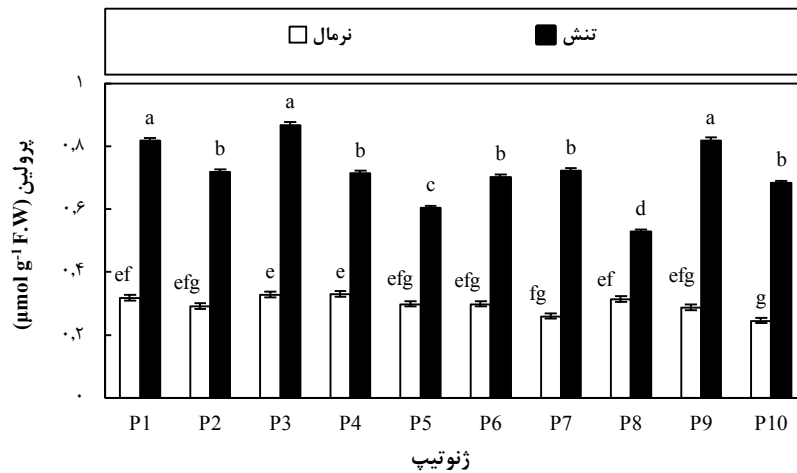
ژنوتیپ‌های P3 (۰/۸۶۸۳ میکرومول بر گرم وزن تر)،

P9 (۰/۸۲۰ میکرومول بر گرم وزن تر) و P1 (۰/۸۱۹

میکرومول بر گرم وزن تر) تعلق داشتند. تفاوت بین این

سه ژنوتیپ معنی‌دار نبود. کمترین مقدار نیز در شرایط

تنش، متعلق به ژنوتیپ P8 (۰/۵۳ میکرومول بر گرم



شکل ۴- اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر پرولین برگ ژنوتیپ‌های مختلف پسته.

متعلق به گیاهان تحت تیمارهای آبیاری نرمال و تنش خشکی بودند. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌دار نبود اما در شرایط تنش کمترین مقدار کربوهیدرات (۶/۶۹۷ میلی در گرم وزن تر) متعلق به ژنوتیپ P8 بود و بیشترین مقدار (۱۲/۰۳ میلی در گرم وزن تر) به ژنوتیپ P3 تعلق داشت که تفاوت معنی‌داری با سایر ژنوتیپ‌ها نشان داد (شکل ۵).

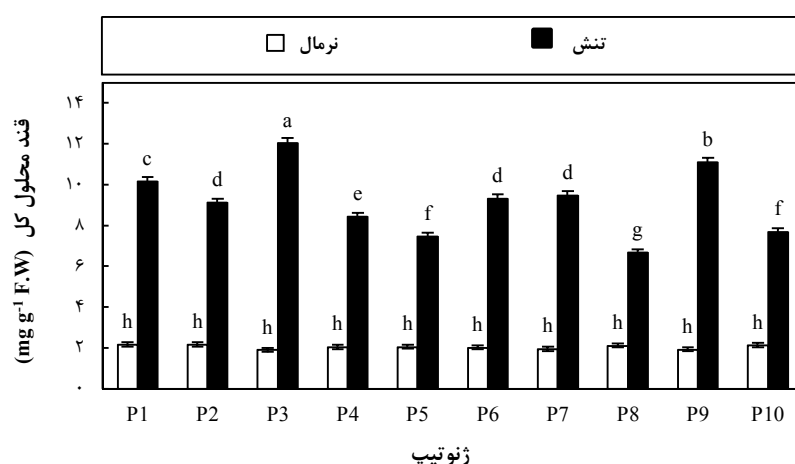
۵- قندهای محلول کل

Hsiao (۱۹۷۳) افزایش قندهای محلول در طی تنش آبی را به دلایلی از جمله، متوقف شدن رشد، تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول و همچنین سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیر فتوسنتزی دانست. افزایش تجمع قندهای محلول به علت تنش خشکی، نشان‌دهنده نقش این ترکیبات در مقاومت به خشکی دارد و می‌توان گفت پایه‌های پسته برای مقابله با اثرات

می‌باشد. بیشتر تجمع اسیدآمینو آزاد پرولین بر اثر تنش خشکی ناشی از تجزیه پروتئین می‌باشد و مسیر پیشنهادی تولید آن از گلوتامیک اسید گزارش شده است (Dierks-Ventling, & Tonelli, 1982). تجمع پرولین در پاسخ به تنش آبی و نقش آن در تنظیم اسمزی در برنج توسط Morsy *et al.* (۲۰۰۷)، در چغندر قند توسط Monreal *et al.* (۲۰۰۷) و در پسته توسط بشارت (۱۳۸۸) و تاج‌آبادی‌پور (۱۳۸۳) گزارش شده است.

۵- قندهای محلول کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل سطوح آبیاری و ژنوتیپ بر قندهای محلول برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). از نظر میزان تجمع قندهای محلول، کمترین (۲/۰۵۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و بیشترین (۹/۱۵۷ میلی در گرم وزن تر) مقدار به ترتیب



شکل ۵- اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر قندهای محلول برگ ژنوتیپ‌های مختلف پسته.

بیشتر از پایه بادامی زرنند و در این پایه نیز بیشتر از پایه سرخس بود (Hokmabadi *et al.*, 2005).

۶- کلروفیل برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنها اثر ساده آبیاری بر میزان کلروفیل برگ (کلروفیل a، b، کل و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b) معنی‌دار شد ($p \leq 0.01$) و اثر ساده ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ معنی‌دار نبود (جدول ۱). براساس نتایج بیشترین مقدار کلروفیل (کلروفیل a، b، کل و نسبت کلروفیل a به کلروفیل b) نیز متعلق به تیمار شاهد و کمترین آن متعلق به تنش آبی بود که نشان از کاهش این پارامترها در اثر تنش خشکی داشت (شکل ۶). از نظر مقدار کلروفیل، تفاوت بین ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نبود و ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری نرمال و تنش تفاوت معنی‌داری نشان ندادند.

منفی تنش خشکی از مکانیسم تنظیم اسمزی استفاده می‌کنند. تجمع بیشتر مواد و املاح محلول یا تنظیم اسمزی، یکی از مکانیسم‌های خاص دفاع سلول در برابر از دست دادن آب یا پژمردگی ناشی از تنش سلول می‌باشد. در این حالت سلول قادر است فعالیت آنزیمی خود را در حضور سطح بالای مواد محلول حفظ کند (Levitt, 1980). تجمع ترکیبات اسمزی ممکن است به صورت تغییر در قندها و اسیدهای آمینه مثل پرولین صورت گیرد. گرچه در برخی موارد ممکن است این تغییرات همگام نباشد (Morgan, 1984).

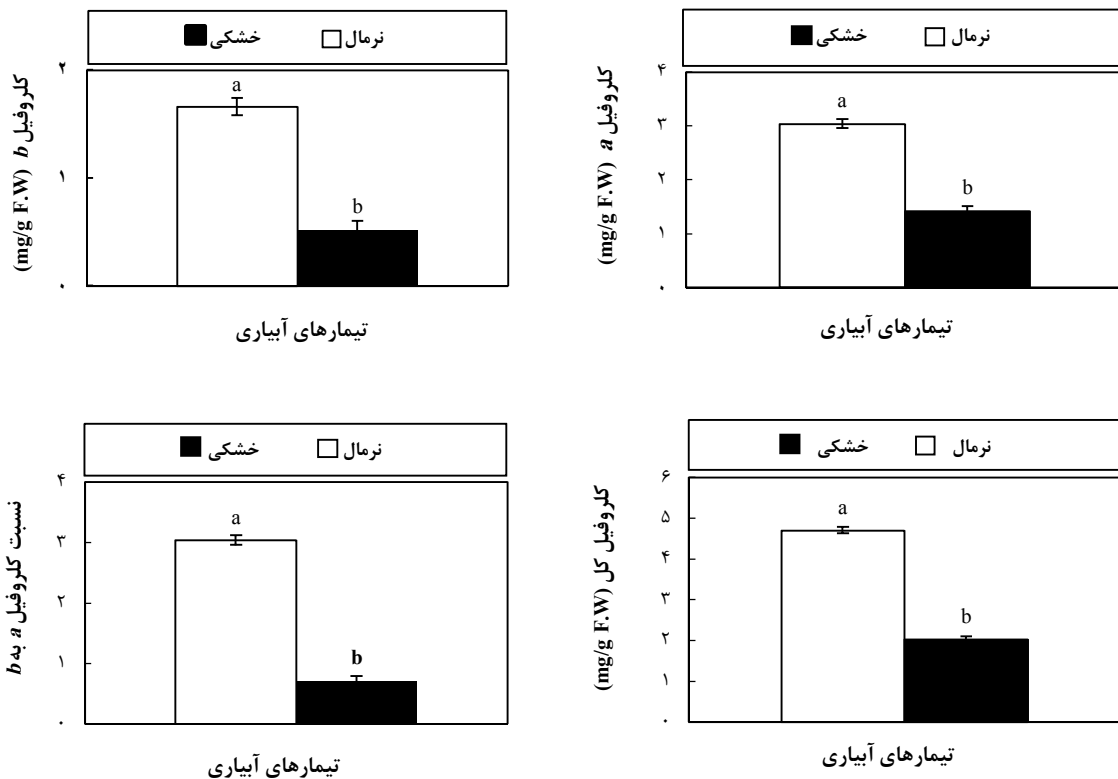
اعمال تنش خشکی روی نهال‌های گلابی آسیایی نیز به تجمع قندهای محلول در آنها انجامید (جوادی و همکاران، ۱۳۸۳). در شرایط تنش شوری نیز قندهای محلول در برگ ارقام پسته افزایش یافت و میزان کل قندهای محلول موجود در برگ پایه قزوینی

کردند که تنش خشکی کلروفیل a را بیشتر از کلروفیل b تحت تاثیر قرار می‌دهد. از آنجا که تمامی رنگیزه‌های برگ به جز کلروفیل a، نقش کمکی (آنتن و حفاظتی) دارند، لذا میزان تغییرات در آن‌ها از شدت کمتری نسبت به کلروفیل a برخوردار هستند. لذا نسبت این کلروفیل به کلروفیل b در شرایط تنش کاهش می‌یابد (Shu et al., 2012).

ب- اثر خشکی بر پارامترهای رشدی

نتایج تجزیه واریانس اثر آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر پارامترهای وزن خشک ساقه، ریشه، برگ، و طول ساقه در جدول ۲ نشان داده

کاهش مقدار کلروفیل تحت شرایط تنش می‌تواند به علت تخریب کلروفیل یا ممانعت از سنتز کلروفیل باشد و می‌تواند فتوسنتز خالص را نیز کاهش دهد (مظاهری تیرانی و منوچهری کلانتری، ۱۳۸۵). تخریب کلروفیل‌ها در اثر تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول است که این رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و تجزیه رنگدانه‌ها می‌شوند (Schutz & Fangmier, 2001). نسبت کلروفیل a به کلروفیل b با افزایش خشکی، نشان از حساسیت بیشتر کلروفیل a در مقایسه با کلروفیل b به تنش خشکی دارد. Ashraf & Karim (۱۹۹۱) گزارش



شکل ۶- کلروفیل a، b، کل و نسبت کلروفیل a/b در برگ ژنوتیپ‌های مختلف پسته در سطوح آبیاری.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها بر پارامترهای رشدی و ظاهر گیاهان مورد بررسی.

| منبع تغییرات | درجه آزادی | وزن خشک ریشه | وزن خشک ساقه | وزن خشک برگ | طول ساقه |
|-----------------|------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| سطح آبیاری | ۱ | ۱۰۱/۴۵ ** | ۲۷۵/۲۸۲ ** | ۲۰۳/۵۴۴ ** | ۳۸۳۲/۲۹۶ ** |
| ژنوتیپ | ۹ | ۰/۱۹۱ ns | ۰/۴۵ ns | ۰/۳۷۸ * | ۲۵/۶۱۱ ** |
| آبیاری × ژنوتیپ | ۹ | ۰/۳۸۵ ** | ۰/۶۶۴ ** | ۰/۶۲۱ ** | ۲۵/۵۸۶ ** |
| خطا | ۶۰ | ۰/۱۲۹ | ۰/۲۳۸ | ۰/۱۵۴ | ۶/۴۵۳ |

ns، * و ** به ترتیب بی‌معنی و معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری و اثر متقابل سطوح آبیاری و ژنوتیپ بر وزن خشک ریشه، ساقه، برگ و طول ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. در حالی‌که اثر ژنوتیپ بر پارامترهای طول ساقه و وزن خشک برگ به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود و بر وزن خشک ریشه و ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۲).

اثر متقابل تنش آبی و ژنوتیپ نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال، از نظر وزن خشک ریشه، ساقه و برگ، تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها وجود نداشت. اما در شرایط تنش خشکی بیشترین وزن خشک ریشه (۲/۰۶۳ گرم) متعلق به ژنوتیپ P1 بود که اختلاف معنی‌داری با سایر ژنوتیپ‌ها نشان داد. کمترین وزن خشک ریشه (۱/۰۸ گرم) متعلق به ژنوتیپ P7 بود که اختلاف معنی‌داری با بقیه نشان داد. از نظر وزن خشک برگ، کمترین مقدار در شرایط تنش خشکی (۰/۳۴۲ گرم) مربوط به ژنوتیپ P8 و بیشترین مقدار (۱/۶ گرم) نیز متعلق به ژنوتیپ‌های P1 و P9 بود. از نظر وزن خشک ساقه نیز در شرایط تنش خشکی، کمترین مقدار

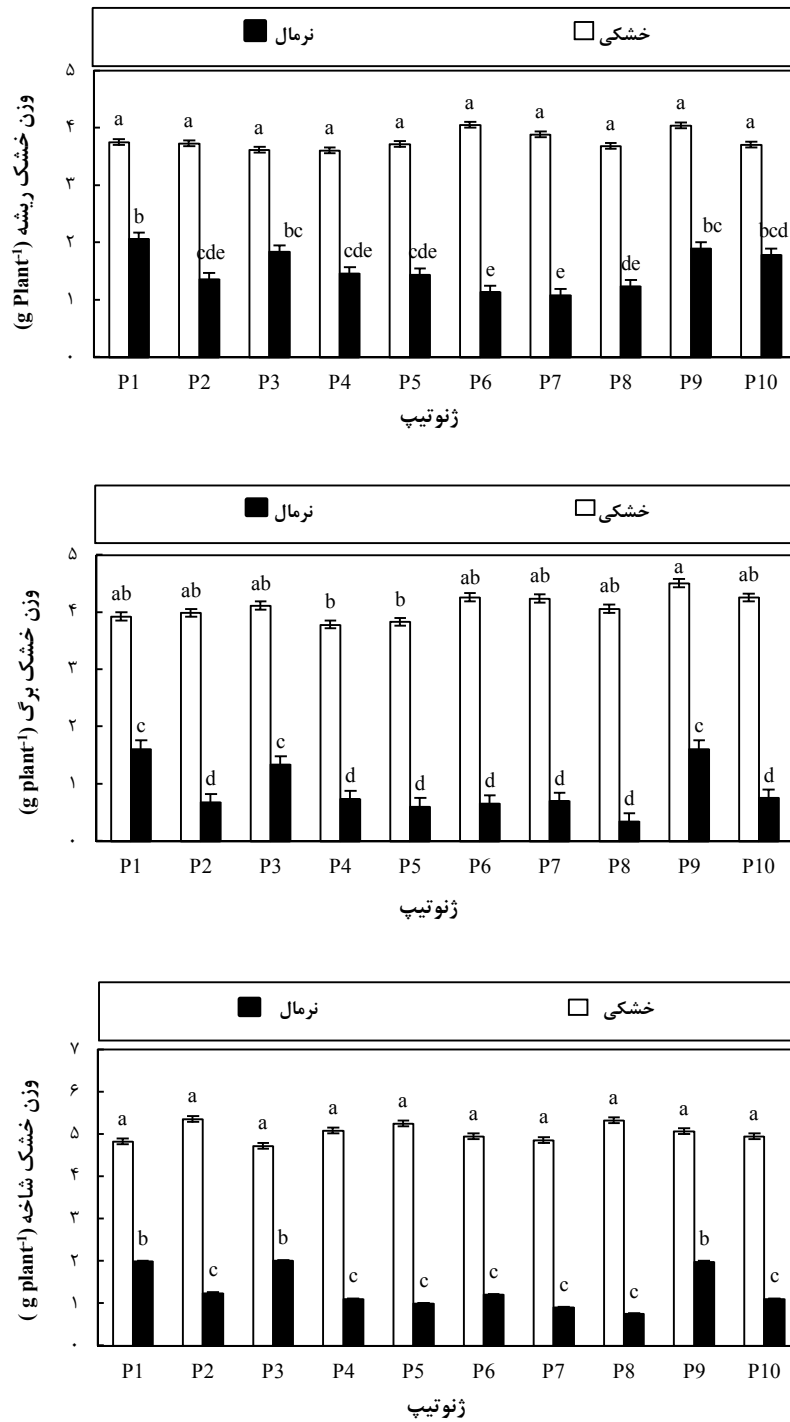
۰/۷۴۹ گرم) متعلق به ژنوتیپ P8 بود و بیشترین وزن خشک ساقه در شرایط تنش نیز به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های P3 (۲ گرم)، P1 (۱/۹۹ گرم) و P9 (۱/۹۸ گرم) بود (شکل ۷). براساس نتایج ژنوتیپ‌های P1، P3 و P9 کمتر از سایر ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند و وزن خشک ساقه و برگ این ژنوتیپ‌ها در تیمارهای تنش آبی، کاهش کمتری نسبت به شاهد در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها نشان داد. ژنوتیپ‌های P7 و P8 بیشتر از سایر پایه‌ها تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند.

طول ساقه نیز تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و کاهش یافت. میزان کاهش در طول ساقه نسبت به شاهد ۴۲/۴۲ درصد بود. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ نشان داد که در آبیاری نرمال تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها وجود نداشت اما در شرایط تنش، بیشترین طول ساقه (۲۵ سانتی‌متر) متعلق به ژنوتیپ P3 و سپس ژنوتیپ P9 (۲۳/۳۷ سانتی‌متر) بود. کمترین طول ساقه نیز در شرایط تنش (۱۳/۷۵ سانتی‌متر) متعلق به ژنوتیپ P8 بود. بیش‌ترین کاهش

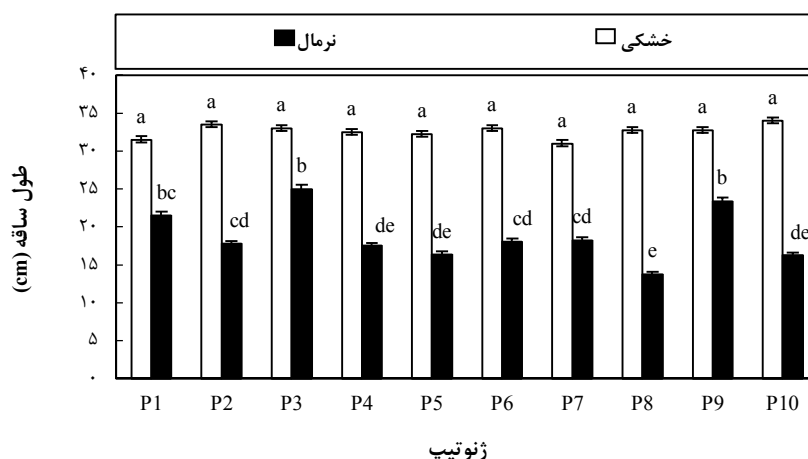
۱۱۵

در طول ساقه در شرایط تنش آبی در ژنوتیپ P8

مشاهده شد (شکل ۸).



شکل ۷- اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر وزن خشک ریشه، برگ و شاخه گیاهان پسته.



شکل ۸- اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر نسبت طول ساقه گیاهان پسته.

پایین بودن نشت یونی و غلظت مالون دی آلدئید و بالا بودن محتوای نسبی آب برگ، پرولین، کربوهیدرات و بیومس در ژنوتیپ‌های P3 و P9 در شرایط تنش آبی، نشان‌دهنده تحمل بیشتر این ژنوتیپ‌ها به خشکی می‌باشد. ژنوتیپ P8 حساسیت بیشتری را نسبت به خشکی نشان داد و کمترین محتوای نسبی آب برگ، پرولین، کربوهیدرات و بیومس در این ژنوتیپ مشاهده شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های P3 و P9 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها خشکی را بهتر تحمل کردند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند. ژنوتیپ‌های برتر متحمل به خشکی می‌توانند در آزمایشات تکمیلی در قالب پایه و پیوندک مورد بررسی قرار گیرند.

منابع

۱. ارجی، ع. و ارزانی، ک. (۱۳۸۲). بررسی پاسخ‌های رشدی و تجمع پرولین در سه رقم زیتون بومی

دلایل متعددی برای کاهش رشد در شرایط تنش کم آبی گزارش شده است. از آن جمله می‌توان به کاهش فتوسنتز، کاهش تورژسانس، کاهش سطح برگ، صرف ATP بیشتر جهت هیدرولیز ترکیبات اسمزی و سنتز هورمون‌هایی مانند آبسایسیک‌اسید اشاره کرد (Chartzoulakis *et al.*, 1993; Dubey, 1994). نتایج نشان داد که اگرچه وزن خشک ساقه و ریشه تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافتند، اما از آنجا که با افزایش سطح تنش، ساقه بیشتر از ریشه تحت تأثیر خشکی قرار گرفت بنابراین نسبت وزن خشک ریشه به ساقه افزایش یافت. کاهش وزن خشک ریشه‌ها و اندام هوایی در پاسخ به سطوح مختلف تنش خشکی، قبلاً در زیتون که گونه‌ای مقاوم به خشکی است نیز گزارش شده است (ارجی و ارزانی، ۱۳۸۲).

نتیجه‌گیری کلی

- جوانه‌زنی بذر کلزا (*Brassica napus* L.) مجله زیست‌شناسی ایران، ۱۹(۴): ۴۱۸-۴۰۸.
8. Arbona, V, Flors, V, Jacas J, Garcia-Agustin, P, & Gomez-Cadenas, A. (2003). Enzymatic and non-enzymatic antioxidant responses of *Carrizo citrange*, a salt-sensitive citrus rootstock, to different levels of salinity. *Plant and Cell Physiology*, 44(4), 388-394.
 9. Arnon, AN. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
 10. Ashraf, M, & Karim, F. (1991). Screening of some cultivars/ lines of black gram for resistance to water stress. *Tropical Agriculture*, 68(1), 57-62.
 11. Atkinson, CJ, Else, MA, Taylor, L, & Dover, CJ. (2003). Root and stem hydraulic conductivity as determinants of growth potential in grafted trees of apple (*Malus pumila* Mill.). *Journal of Experimental Botany*, 54(385), 1221-1229
 12. Balaguer, L, Pugnaire, FI, Martinez-Ferri, E, Armas, C, Valladares, F, & Manrique, E. (2002). Ecophysiological significance of chlorophyll loss and reduced photochemical efficiency under extreme aridity in *Stipa tenacissima* L. *Plant and Soil*, 240(2), 343-352.
 13. Bartels, D, & Nelson, D. (1994). Approaches to improve stress tolerance using molecular genetics. *Plant, Cell and Environment*, 17(5), 659-667.
 14. Bates, LS, Waldren, RP, & Teare, ID. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- ایران به تنش خشکی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰(۲): ۹۱-۱۰۱.
۲. آمارنامه کشاورزی. (۱۳۹۹). محصولات باغی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.
 ۳. بشارت، ن. (۱۳۸۸). تأثیر کاربرد فسفر بر مقاومت نسبی دو رقم پسته به تنش آبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان.
 ۴. تاج‌آبادی‌پور، ا. (۱۳۸۳). تأثیر کاربرد خاکی پتاسیم بر مقاومت نسبی سه رقم پسته به تنش آبی و شوری. رساله دکتری، بخش خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
 ۵. جوادی، ت، ارزانی، ک، و ابراهیم‌زاده، ح. (۱۳۸۳). بررسی میزان کربوهیدرات‌های محلول و پرولین در نه ژنوتیپ گلایی آسیایی (*Pyrus serotina* Rehd.) تحت تنش خشکی. مجله زیست‌شناسی ایران، ۱۷: ۴۰-۲۰.
 ۶. حبیبی، ف، و امیری، م. ا. (۱۳۹۲). بررسی فعالیت آنزیمی و واکنش‌های بیوشیمیایی دو پایه مرکبات به تنش شوری درون شیشه‌ای. مجله به‌زراعی کشاورزی، ۱۵(۴): ۱۶۵-۱۷۷.
 ۷. مظاهری تیرانی، م، و منوچهری کلانتری، خ. (۱۳۸۵). بررسی سه فاکتور سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و اتیلن و اثر متقابل آن‌ها بر

22. Gill, SS, & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerant in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909-930.
23. Gulen, H, Cetinkaya, C, Kadlonglu, M, kesici, M, Cansev, A, & Eris, A. (2008). Peroxidase activity and lipid peroxidation in strawberry (*Fragaria ananassa*) plants under low temperature. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 2(6), 95-100.
24. Hall, RC, & Twidwell, EK. (2002). Effects of drought stress on soybean production. *Extension Extra*. pp 254.
25. Heath, RL, & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189-198.
26. Hokmabadi, H, Arzani, K, & Grierson, PF. (2005). Growth, chemical composition, and carbon isotope discrimination of pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstock seedlings in response to salinity. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(2), 135-144.
27. Hsiao, TC. (1973). Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 24(1), 519-570.
28. Irigoyen, JH, Emerich, DW, & Sanchez Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1), 55-66.
29. Jesus, C, Meijón, M, Monteiro, P, Correia, B, Amaral, J, Escandon, M, Jesus Canal, M, & Pinto, G. (2015). Salicylic acid application modulates physiological and
15. Bohnert, HJ, Nelson, DE, & Jensen, RG. (1995). Adaptations to environmental stresses. *Plant Cell*, 7(7), 1099-1111.
16. Bollat, I, Dikilitas, M, Ercisli, S, Ikinici, A, & Tonkaz, T. (2014). The effect of water stress on some morphological, physiological and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks. *Scientific World Journal*, 769732.
17. Chartzoulakis, K, Noitsakis, B, & Therios, I. (1993). Photosynthesis, plant growth and dry matter distribution in kiwifruit as influenced by water deficits. *Irrigation Science*, 14(1), 1-5.
18. Dierks-Ventling, C, & Tonelli, C. (1982). Metabolism of proline, glutamate, and ornithine in proline mutant root tips of *Zea mays* (L.). *Plant Physiology*, 69(1), 130-134.
19. Dubey, RS. (1994). Protein synthesis by plants under stressful conditions. In: Pessaraki, M., Ed., *Handbook of Plant and Crop Stress*, Marcel Dekker Press Inc., New York, 365-397.
20. Esmaeilpour, A, Van Labeke, MC, Samsonc, R, Boeckxa, P, & Van Dammea, P. (2016). Variation in biochemical characteristics, water status, stomata features, leaf carbon isotope composition and its relationship to water use efficiency in pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars under drought stress condition. *Scientia Horticulturae*, 211(2016), 158-166.
21. Gijon, MC, Gimenez, C, Gurrero, DPL, Couceiro, JF, & Moriana, A. (2010). Rootstock influences the response of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Kerman) to water stress and rehydration. *Scientia Horticulturae*, 125(4), 666-671.

- chilling tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 164(2), 157-167.
37. Qinghua, S, Zhiyi, B, Zhujun, Z, Quansheng, Y, & Qiong, Q. (2006). Effect of different treatment of salicylic acid on heat tolerance chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedling of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Regulation*, 48(2), 127-135.
 38. Ritchie, SW, Nguyen, HT, & Halody, AS. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sciences*, 30(1), 105-111.
 39. Sajjadinia, A, Ershadi, A, Hokmabadi, H, Khayyat, M, & Gholami, M. (2010). Gas exchange activities and relative water content at different fruit growth and developmental stages of on and off cultivated pistachio trees. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 1(1), 1-6.
 40. Schutz, H, & Fangmier, E. (2001). Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution*, 114(2), 187-194.
 41. Sedaghat, M, Tahmasebi-Sarvestani Z, Emam, Y, & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017). Physiological and antioxidant responses of winter wheat cultivars to strigolactone and salicylic acid in drought. *Plant Physiology and Biochemistry*, 119, 59-69.
 42. Shu, S, Guo, SR, Sun, J, & Yuan, LY. (2012). Effects of salt stress on the structure and function of the photosynthetic apparatus in *Cucumis sativus* and its protection by exogenous putrescine. *Physiologia Plantarum*, 146(3), 285-296.
 - hormonal changes in *Eucalyptus globulus* under water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 118, 56-66. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.004>.
 30. Levitt, J. (1980). Response of plant to environmental stresses. Academic Press Inc. vol. 2.
 31. Lopez, FB, Setter, TL, & McDavid, CR. (1988). Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in response to water deficit and recovery. *Crop Science*, 28(1), 141-145.
 32. Lovisolo, C, Perrone, I, Hartung, W, & Schubert, A. (2008). An abscisic acid-related reduced transpiration promotes gradual embolism repair when grapevines are rehydrated after drought. *New Phytologist*, 180(3), 642-651.
 33. Mandhanis, S, Madan, S, & Whney, V. (2006). Antioxidant defence mechanism under salt stress in wheat seedling. *Journal of Biologia Plantarum*, 50(2), 227-231.
 34. Monreal, JA, Jimenez, ET, Remesal, E, Morillo-Velarde, R, Garcia-Maurino, S, & Echevarria, C. (2007). Proline content of sugar beet storage roots: Response to water deficit and nitrogen fertilization at field conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 60(2), 257-267.
 35. Morgan, JM. (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35(4), 299-319.
 36. Morsy, MR, Jouve, L, Hausman, JF, Hoffmann, L, & Stewart, JMCD. (2007). Alteration of oxidative and carbohydrate metabolism under abiotic stress in two rice (*Oryza sativa* L.) genotypes contrasting in

- membrane competence in plant tissues. *Plant Physiology*, 98(1), 198-205.
45. Zoric', L, Ljubojevic', M, Merkulov, LJ, Lukovic', J, & Ognjanov, V. (2012). Anatomical characteristics of cherry rootstocks as possible preselecting tools for prediction of tree vigor. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31(3), 320-331.
43. Tombesi, S, Johnson, RS, Day, KR, & DeJong, TM. (2010). Relationships between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size-controlling capacity of peach rootstocks. *Annals of Botany*, 105(2), 327-331.
44. Whitlow, TH, Bassuk, NL, Ranney, TG, & Reichert, LD. (1992). An improved method for using electrolyte leakage to assess

Evaluation of Drought Tolerance of Some Native Pistachio Genotypes of Qazvin Province

Abstract

In this study, 10 selected pistachio genotypes were affected by irrigation treatments. Irrigation treatments included two levels of full irrigation and withholding of irrigation for two weeks, which were applied on three months seedlings. After the stress period, all plants (control and under stress) were irrigated again to the field capacity and their moisture was maintained at the field capacity for two weeks and different parameters were measured. Under water stress conditions, the highest relative water content of leaves (60.29%) belonged to P9 genotype. The P3 genotype also had the lowest ion leakage (41.8%), the lowest malondialdehyde concentration (18.73 $\mu\text{mol/g}$ fresh weight), the highest proline concentration (0.8683 $\mu\text{mol/g}$ fresh weight), and the highest

concentration of soluble sugars (12.03 mg/g fresh weight). Under water stress conditions, the lowest relative water content of leaves (54.32%), the highest ion leakage (58.84%), the highest concentration of malondialdehyde (27.19 $\mu\text{mol/g}$ fresh weight), the lowest amount of proline (0.53 $\mu\text{mol/g}$ fresh weight) and the lowest amount of soluble sugars (6.697 mg/g fresh weight) also belonged to P8 genotype. In terms of growth parameters, the results showed that P1, P3 and P9 genotypes under water stress treatments showed less reduction than the control compared to other genotypes. In general, the results showed that P3, and P9 genotypes tolerated drought better than other genotypes and the P8 genotype showed more sensitivity to drought.

Keywords: Ion leakage, Leaf relative water content, Malondialdehyde, Vegetative growth