

تأثیر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک، فعالیت آنزیم پراکسیداز و عملکرد دانه پنج جمعیت گیاه دارویی بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana* Benth.)

خدیدجه احمدی^۱ و حشمت امیدی^{۲*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

پست الکترونیک: omidi@shahed.ac.ir

تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۷

تاریخ اصلاح نهایی: اردیبهشت ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۶

چکیده

خشکی خصوصیات مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و اثرات عمده‌ای بر تولیدات کشاورزی می‌گذارد. به همین منظور مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی اثر خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه جمعیت‌های گیاه دارویی بالنگو (*Lallemantia royleana* Benth.)، در مزرعه پژوهشی گیاهان دارویی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح خشکی از مرحله گلدهی به عنوان فاکتور اصلی (قابلیت رطوبت خاک ۰/۵-، ۶/۵- و ۹/۵- اتمسفر) و جمعیت‌های بالنگو شامل یک جمعیت از استان کردستان و چهار جمعیت از استان اصفهان (اصفهان ۳، اصفهان ۵، اصفهان ۶، اصفهان ۷) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد دانه، وزن هزاردانه، رنگ‌رزه‌های فتوسنتزی، محتوای پرولین، محتوای فنل برگ، محتوای مالون‌دی‌آلدئید، شاخص پایداری غشاء و فعالیت آنزیم پراکسیداز بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی بر صفات مورد مطالعه بجز محتوای کلروفیل b و نسبت کلروفیل a/b معنی‌دار بود. جمعیت و اثر متقابل آن بر تمامی صفات مورد ارزیابی بجز محتوای آنتوسیانین تأثیر معنی‌داری داشت. خشکی باعث کاهش محتوای رنگ‌رزه‌های فتوسنتزی، شاخص پایداری غشاء، وزن هزاردانه و عملکرد دانه شد. با افزایش تنش خشکی فعالیت آنزیم پراکسیداز و محتوای یادکسایش‌های غیر آنزیمی مانند ترکیب‌های فنلی، کاروتنوئید، آنتوسیانین و محتوای پرولین برای القاء تحمل به خشکی افزایش یافت. جمعیت اصفهان ۳ در تنش نسبتاً شدید بیشترین عملکرد دانه را با میانگین ۳۱۲/۷۷ کیلوگرم در هکتار و محتوای پرولین را با میانگین ۱۴/۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ داشت.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، پرولین، شاخص پایداری غشاء، عملکرد دانه، مالون‌دی‌آلدئید.

مقدمه

کرده‌است (Davazdah Emami & Majnon Hosseini, 2007).

به همین منظور استفاده از گیاهان دارویی، روغنی و موسیلاژی همانند بالنگو با نیاز زراعی پایین و سازگار به

امروزه رویکرد استفاده روزافزون از گیاهان دارویی در سطح جهان، اهمیت کشت و تولید این گیاهان را بیشتر

مناطق خشک که به طور گسترده در اروپا و غرب آسیا رشد می‌کند و بومی ایران، ترکیه و هند است، در سطح جهانی مورد توجه قرار گرفته است (Barati et al., 2012). گیاه دارویی بالنگو (*Lallemantia*) متعلق به خانواده Lamiaceae بوده و دارای پنج گونه در دنیا است *L. baldshuanica* L. *iberrica* L. *royleana* *L. peltata* و *L. canescens* که بیشتر آنها گیاهان یک‌ساله بوده و در فصل بهار رویده و تا اوایل فصل تابستان دوام می‌آورند (Amanzadeh et al., 2010). گونه‌های مذکور اهمیت دارویی و اقتصادی داشته و در سراسر ایران (در استان‌های اصفهان، فارس، خراسان، سمنان، تهران، کرمان، کردستان، سیستان و بلوچستان و آذربایجان شرقی) به صورت محدود پراکنش دارند. گیاه دارویی بالنگو شیرازی ارزش دارویی و صنعتی دارد، دانه‌های بالنگو منبع خوبی از فیبر، روغن (۲۸-۲۰٪) و پروتئین (۱۸٪) بوده و اثرات دارویی و تغذیه‌ای زیادی دارند (Amanzadeh et al., 2010). آب یکی از منابع کمیاب در ایران است که تحت تأثیر میزان بارندگی است و اثر تنش خشکی به ژنوتیپ گیاه، مدت زمان و دوام آن بستگی دارد (Bannayan et al., 2008); (Pandey et al., 2001). یکی از صدمات اکسیداتیو مهمی که در شرایط کمبود آب ایجاد می‌شود تخریب مولکول کلروفیل است. به دنبال این تخریب، گیاه رنگی به نظر می‌رسد که دلیل آن افزایش و قابل رؤیت شدن رنگریزه‌های محافظ مانند کاروتنوئیدها (گزانتوفیل، کاروتن و لیکوپن) است (Chalker-Scott, 2002). گیاهان قادرند با تولید ترکیب‌های پاداکسایشی مانند ترکیب‌های فنلی و کاروتنوئیدها از ساختارهای سلولی خود در برابر رادیکال‌های فعال تولید شده در شرایط تنش محافظت کنند (Dunford & Vazquez, 2005). آنتوسیانین موجود در گیاه نیز به عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل می‌کند و گیاهان را در برابر تنش‌های اکسیداتیو محافظت می‌کند (Lin-Wang et al., 2010). پرولین اسید آمینه‌ای است که افزایش غلظت آن فراوان‌ترین و عمومی‌ترین پاسخی است که به محض ایجاد تنش شوری و خشکی مشاهده می‌شود

(Suriyan & Chalernpol, 2009). بررسی تنش خشکی روی گیاه فلفل نشان داد که مقدار پرولین در گیاه افزایش یافت (Koc et al., 2010). مالون‌دی‌آلدئید (MDA) محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غیراشباع سلول است. از این رو به عنوان یکی از نشانگرهای زیستی مناسب، برای تعیین میزان پراکسیداسیون لیپیدی ناشی از تنش اکسید کننده در سلول بکار برده می‌شود (Schwambach et al., 2008). یکی از راهبردهای مهم در اصلاح و بهبود مقاومت به خشکی در گیاهان این است که غشاء سلول پس از مواجه شدن با تنش خشکی، انسجام و سیالیت خود را حفظ نماید. آزمایش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری پایداری غشاء سلولی مورد استفاده قرار می‌گیرد، که می‌توانند تا حدودی تحمل به خشکی را در گیاهان مشخص نمایند (Bandurska, 2000). گیاه با استفاده از مکانیسم‌های آنزیمی و غیر آنزیمی می‌تواند غلظت گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن را کاهش دهد و از این طریق از اثرات مخرب آن بکاهد. البته موفقیت کامل گیاه در این راستا به میزان فعالیت دستگاه پاداکسایشی گیاه و غلظت گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن بستگی دارد. دستگاه دفاعی پاداکسایشی شامل آنزیم‌های مختلف و پاداکسایش‌های غیر آنزیمی شامل فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و سایر ترکیب‌های فنلی، آسکوربات، آلفا-توکوفرول و بتا-کاروتن است (Khanpour et al., 2013). تنش خشکی در گیاه دارویی بالنگو شیرازی باعث کاهش عملکرد دانه و وزن هزاردانه می‌شود (Rasti et al., 2012). تاکنون پژوهشی در مورد اثر خشکی بر محتوای ترکیب‌های محلول و فعالیت آنزیم پراکسیداز جمعیت‌های بالنگو شیرازی انجام نشده است، بنابراین بررسی عملکرد دانه و خصوصیات بیوشیمیایی این گیاه ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شاهد طی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. مزرعه پژوهشی گیاهان دارویی دانشگاه شاهد دارای طول جغرافیایی

۵۱ درجه و هشت دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۱۹۰ متر، میانگین بارندگی ۲۱۶ میلی‌متر و میانگین دما ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد بود. خصوصیات خاک و وضعیت آب و هوای مزرعه تحقیقاتی در جدول های ۱ و ۲ ارائه شده است.

۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۱۹۰ متر، میانگین بارندگی ۲۱۶ میلی‌متر و میانگین دما

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

شوری (dS/m)	اسیدیته (pH)	O.C (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Texture			بافت خاک
						Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	
۳/۷۵	۷/۷۱	۰/۵۷	۰/۰۵	۷/۶	۲۷۰	۴۴/۰	۳۶/۰	۲۰/۰	لومی

جدول ۲- آمار هواشناسی ماهانه منطقه مورد مطالعه

آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	
۱۶/۸	۱۸/۸	۳۴/۴	۳۷/۸	۴۳	۴۴	۳۱/۴	۳۵/۴	۳۱/۴	۲۴/۲	۹/۱۸	۱۷	بیشینه دما (°C)
-۲/۹	-۰/۲	۵/۴	۱۵/۸	۱۹	۱۹	۰	۱۳/۸	۰	۰/۵	-۱۱	-۵/۶	کمینه دما (°C)
۶/۲	۸/۹	۱۷/۳	۲۷	۳۱	۳۲	۱۸/۳	۲۴/۶	۱۸/۳	۱۲/۲	۴/۶	۴/۶	میانگین دما (°C)
۸/۴	۱۵/۲	۷/۴	۰	۰	۰/۸	۶	۶	۶	۱۴/۸	۱۰/۵	۲/۵	مجموع بارش ماهانه (mm)

منبع: هواشناسی کشور؛ داده‌های هواشناسی استان تهران ۱۳۹۳

گرفته شد. برای انتخاب بذرهای بالنگو، ابتدا توده های بومی (وحشی) هر منطقه جمع‌آوری و طی چند سال کشت شدند. بذر جمعیت‌های بالنگو استان‌های اصفهان (شهرهای نائین، اردستان، نجف‌آباد و خوانسار) و کردستان (شهر سنندج) برای کشت در این مطالعه انتخاب شدند (جدول ۳). این پژوهش قسمتی از یک طرح ملی با شماره ۹۰۰۰۳۳۵ می‌باشد.

اعمال تنش خشکی در مرحله ۱۰٪ گلدهی مزرعه گیاه دارویی بالنگو انجام شد. دو ماه قبل از اعمال تنش خشکی، به منظور ثبت قابلیت خاک دستگاه اکویتنسیومتر ساخت کشور آلمان شرکت اکوماتیک مدل (EQ15) (SN:02385) در منطقه ریشه گیاه در خاک قرار داده شد.

آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح خشکی از مرحله گلدهی به بعد به عنوان فاکتور اصلی (۱- متوسط قابلیت رطوبت خاک در حد ۰/۵- اتمسفر به عنوان شاهد، ۲- قابلیت رطوبت خاک حدود ۶/۵- اتمسفر به عنوان تنش ملایم، ۳- قابلیت رطوبت خاک حدود ۹/۵- اتمسفر به عنوان تنش نسبتاً شدید) بود. پنج جمعیت بالنگو شامل چهار جمعیت از استان اصفهان (اصفهان ۳ نائین)، اصفهان ۵ (اردستان)، اصفهان ۶ (نجف‌آباد) و اصفهان ۷ (خوانسار)) و یک جمعیت از استان کردستان (سنندج) به عنوان فاکتور فرعی در نظر

جدول ۳- مشخصات رویشگاهی مناطق جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی

ردیف	منطقه	طول جغرافیایی (درجه-دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه-دقیقه)	آب و هوا	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	نائین (اصفهان ۳)	۵۳°۰۴'	۳۲°۵۱'	نیمه‌خشک با تابستان گرم	۱۴۰۰
۲	اردستان (اصفهان ۵)	۵۲°۳۶'	۳۳°۳۷'	نیمه‌خشک با تابستان گرم	۱۲۳۸
۳	نجف‌آباد (اصفهان ۶)	۵۱°۲۴'	۳۲°۳۸'	نیمه‌خشک زمستان نسبتاً سرد	۱۶۵۰
۴	خوانسار (اصفهان ۷)	۵۰°۲۱'	۳۳°۱۰'	آب و هوای مدیترانه‌ای با زمستان سرد	۲۸۴۸
۵	کردستان (سنندج)	۴۶°۹۹'	۳۵°۳۱'	آب و هوای سرد و نیمه‌خشک	۱۵۳۸

اردیبهشت‌ماه شروع گلدهی مزرعه بالنگو بود. نمونه‌گیری برگ از گیاه بالنگو در مرحله پر شدن دانه بود. از هر کرت با در نظر گرفتن اثرات حاشیه حدود ۵ گرم از برگ‌های وسط بوته برداشت شد و در هفت تیر ۱۳۹۴ برداشت کل بوته انجام گردید.

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل (a, b و کل) و کاروتنوئید بافت برگ

محتوای کلروفیل با استفاده از روش Arnon (۱۹۴۹) و محتوای کاروتنوئید با استفاده از روش Gu و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد. به این ترتیب که ۰/۵ گرم بافت تازه برگ را با ۲۰CC استن ۸۰٪ به‌طور کامل عصاره‌گیری نموده، سپس به‌وسیله اسپکتروفوتومتر میزان کلروفیل در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و میزان کاروتنوئید در طول موج ۴۸۰ نانومتر قرائت شد. محتوای کلروفیل‌های a, b, کل و کاروتنوئید از فرمول‌های زیر بدست می‌آید:

$$C_a = 12.7 (A_{663}) - 2.69 (A_{645}) \times V/1000W$$

$$C_b = 22.9 (A_{645}) - 2.69 (A_{663}) \times V/1000W$$

$$C_T = 20.2 (A_{645}) + 8.02 (A_{663}) \times V/1000W$$

$$\text{Carotenoid} = 7.6 (A_{480}) - 14.9 (A_{510}) \times VD/1000W$$

A میزان جذب نوری، C میزان غلظت، V حجم عصاره، D نسبت رقت و W وزن نمونه است.

پس از نصب دستگاه، خاک به‌طور کامل اشباع شده و روند تغییرات مکش خاک (و محتوای رطوبت خاک) تا پایان اعمال تنش‌ها ثبت شد. داده‌ها از حسگر دستگاه به رایانه منتقل و ضمن تجزیه و تحلیل اطلاعات نمودار رسم شد. براساس قرائت داده‌های میکروپروسسور و تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط رایانه و رسیدن به قابلیت آبی مورد نظر دور آبیاری و زمان اعمال تنش مشخص شد. پس از محاسبه قابلیت‌های رطوبتی خاک، اعمال سطوح تنش بعد از مرحله گلدهی به روش آبیاری نشتی (جوی و پشته‌ای) در زمان‌های ۳، ۱۱ و ۲۰ روز به‌ترتیب برای قابلیت‌های رطوبتی ۰/۵-، ۶/۵- و ۹/۵- اتمسفر انجام شد. تاریخ کشت در ۲۶ اسفندماه ۱۳۹۳، در کرت‌هایی به مساحت ۹ مترمربع، با آرایش کاشت ۵×۳۰، جمعیت‌های گیاه بالنگو به‌طور همزمان کشت شدند. فاصله هر کرت با کرت مجاور یک متر در نظر گرفته شد. فاصله ردیف‌ها ۳۰ سانتی متر و بذرها در شیارهای به عمق ۱ تا ۱/۵ سانتی متر در ۱۰ ردیف در هر کرت کشت و روی بذرها تا ارتفاع ۳ سانتی متر با خاک سبک یا ماسه بادی پوشانده شد. هنگام نمونه‌برداری، از ابتدا و انتهای هر کرت یک متر به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. برای تعیین عملکرد دانه، بوته‌هایی به مساحت ۴ مترمربع از هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک به‌طور تصادفی برداشت و داده‌های مربوط به عملکرد بذر یادداشت گردید. برای اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی با توجه به تیمارهای تنش، نمونه‌گیری قبل از اعمال آخرین دور تنش خشکی بود. اوایل

گردید. اسید گالیک به عنوان استاندارد برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. محتوای فنل کل عصاره‌ها براساس میلی‌گرم برابر اسید گالیک بر گرم وزن خشک گیاه گزارش شد.

اندازه‌گیری مالون دی‌آلدئید بافت برگ

سنجش پراکسیداسیون لیپید با استفاده از روش Heath و Packer (۱۹۷۶) توسط واکنش با تیوباریتوریک اسید (TBA) اندازه‌گیری شد. ۰/۱ گرم از بافت برگ تازه در پنج میلی‌لیتر محلول تری کلرواستیک اسید (TCA) ۰/۱٪ کاملاً هموژنیزه گردید، سپس همگن حاصل در ۱۰۰۰۰×g در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی با دو میلی‌لیتر از محلول ۲۰٪ TCA به همراه TBA ۰/۵٪ اضافه شد. سپس مخلوط به حمام آب گرم در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه منتقل و بعد از طی این زمان بلافاصله به درون یخ انتقال داده شد. پس از سرد شدن مخلوط، به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰×g در دقیقه سانتریفوژ شد و میزان جذب نوری توسط دستگاه نانودراپ (Denovix Spectrophotometer DS-11) در طول موج ۵۳۲ نانومتر و برای اصلاح کدورت نامشخص در محلول، جذب در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و از عدد جذب در طول موج ۵۳۲ نانومتر کم شد. محتوای مالون دی‌آلدئید با استفاده از ضریب خاموشی ($\mu = \epsilon(155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1})$) محاسبه شد.

اندازه‌گیری پایداری غشاء

برای تعیین شاخص پایداری غشای سلولی، ۰/۱ گرم برگ از هر تیمار برداشت، توزین و داخل دو گروه لوله آزمایش، حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر گذاشته شد. یک گروه از لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و گروه دیگر لوله‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از کاهش دمای لوله‌ها تا حد دمای محیط، هدایت الکتریکی نمونه‌ها به وسیله دستگاه EC meter (مدل

اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین بافت برگ

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین بافت برگ از روش Wagner (۱۹۷۹) استفاده شد. ۰/۱ گرم بافت برگ گیاه تازه را در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص و اسید کلریدریک خالص به نسبت حجمی ۹۹:۱) کاملاً ساییده شده و عصاره در لوله آزمایش سرپیچ‌دار ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ و جذب محلول رویی در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت با استفاده از فرمول زیر و با در نظر گرفتن ضریب خاموشی (ϵ) ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول محاسبه شد (Tasgin *et al.*, 2003). A میزان جذب نوری، b عرض کوت و C غلظت محلول مورد نظر است.

$$C = A/\epsilon b$$

اندازه‌گیری محتوای پرولین بافت برگ

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین بافت برگ از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. از لایه فوقانی حاوی تولوئن و پرولین، برای اندازه‌گیری محتوای پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر در برابر شاهد تولوئن خالص استفاده گردید. برای رسم منحنی استاندارد از پرولین خالص با غلظت‌های ۰، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده شد. سپس منحنی استاندارد پرولین رسم و مقدار پرولین محلول با کمک این نمودار در گرم وزن تر گیاه بدست آمد.

اندازه‌گیری فنل تام بافت برگ

به منظور اندازه‌گیری محتوای فنل تام بافت برگ از روش Meda و همکاران (۲۰۰۵) انجام شد. برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره گیاه، ۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم (۲٪)، ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین-سیوکالچو (Folin-Ciocalteu's) (۵۰٪) اضافه شد. بعد از گذشت نیم ساعت جذب آنها در طول موج ۷۲۰ نانومتر نسبت به شاهد ثبت

شاخص پایداری غشاء از رابطه زیر بدست آمد: (Jenway) اندازه‌گیری شد (Sairam et al., 1997). سپس

= شاخص پایداری غشاء

هدایت الکتریکی آب در دمای ۱۰۰°C / هدایت الکتریکی آب در دمای ۴۰°C - ۱

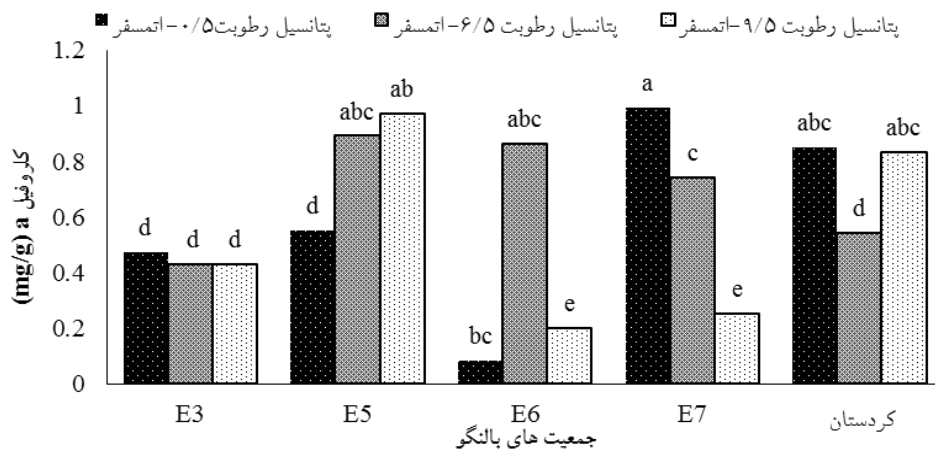
سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز

فعالیت این آنزیم به روش Abeles و Biles (۱۹۹۱) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فعالیت پراکسیداز، ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی استخراج شده برای هر تیمار به جای ۵۰ میکرولیتر بافر Tris-HCl به کووت اضافه شد و در مدت ۶۰ ثانیه فعالیت پراکسیداز بر حسب یونیت بر گرم وزن تر در یک دقیقه ترسیم شد. تجزیه داده‌ها از طریق برنامه آماری SAS 9.12 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ مقایسه شدند. از میانگین \pm اشتباه معیار برای مقایسه داده‌ها استفاده شد.

نتایج

محتوای کلروفیل a، b، نسبت کلروفیل a/b و کلروفیل کل نتایج حاصل نشان داد که تنش خشکی بر محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار و بر

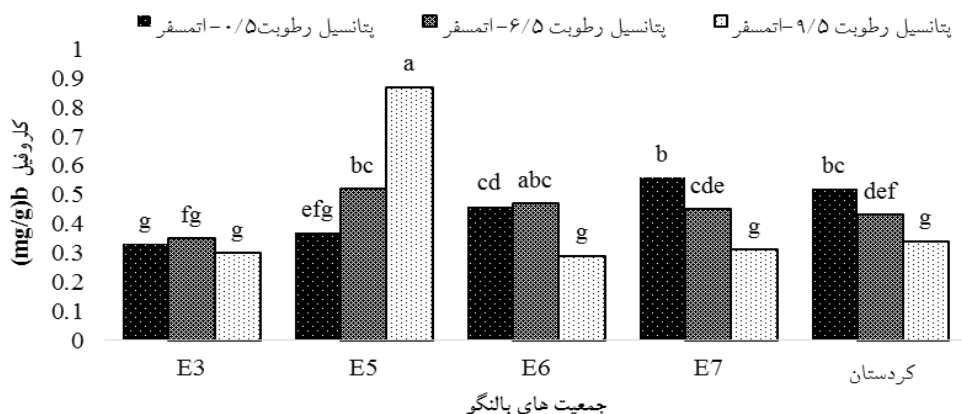
محتوای کلروفیل b و نسبت کلروفیل a/b غیرمعنی‌دار شد. جمعیت و اثر برهم‌کنش آن بر محتوای کلروفیل بافت برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند (جدول ۴). افزایش خشکی سبب کاهش میزان کلروفیل a و کلروفیل تام شد. با افزایش قابلیت رطوبت خاک محتوای کلروفیل a در تنش نسبتاً شدید با میانگین ۰/۵۴ میلی گرم بر گرم نسبت به شاهد کاهش ۲۶/۰۲ درصدی نشان داد. نتایج ترکیب تیماری اثر خشکی و جمعیت نشان داد که جمعیت اصفهان ۵ در تنش ۹/۵- اتمسفر با افزایش محتوای کلروفیل a روبرو شد. در بین جمعیت‌ها، اصفهان ۳ با افزایش تنش خشکی کاهش جزئی در میزان کلروفیل a داشت. در جمعیت اصفهان ۶ ابتدا در تنش ۶/۵- اتمسفر افزایش نشان داد و با افزایش تنش به ۹/۵- اتمسفر با کاهش محتوای کلروفیل a مواجه شد. همچنین جمعیت اصفهان ۷ با افزایش سطوح تنش کاهش نشان داد و جمعیت کردستان در تنش ملایم ابتدا کاهش پیدا کرد و بعد با افزایش تنش نیز میزان این رنگیزه در بافت برگ بیشتر شد (شکل ۱).



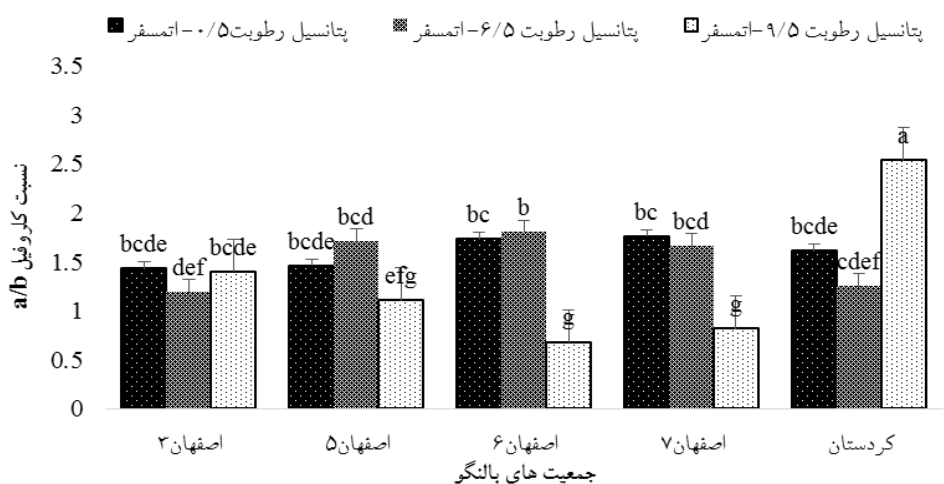
شکل ۱- میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت بر محتوای کلروفیل a

یافت و در بین جمعیت های بالنگو، جمعیت اصفهان ۳ نسبت به دیگر جمعیت ها کمترین میزان کلروفیل کل را نشان داد. در نتایج بدست آمده از اثر متقابل خشکی و جمعیت، بیشترین و کمترین میزان کلروفیل کل به ترتیب مربوط به جمعیت اصفهان ۵ و اصفهان ۶ با میانگین (۱/۸۴ میلی گرم بر گرم) و اصفهان ۶ با میانگین (۰/۴۹ میلی گرم بر گرم) در تنش نسبتاً شدید (۹/۵- اتمسفر) بود (شکل ۴). در اثر متقابل خشکی و جمعیت با افزایش قابلیت رطوبت خاک، محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل جمعیت اصفهان ۵ افزایش و دیگر جمعیت ها کاهش یافت.

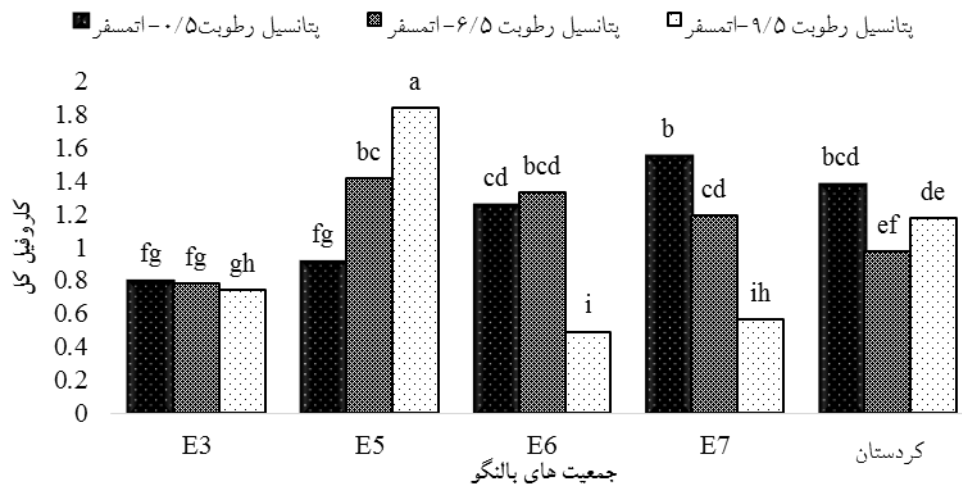
کمترین میزان محتوای کلروفیل b مربوط به جمعیت اصفهان ۳ با میانگین ۰/۳۳ میلی گرم بر گرم بود. با توجه به شکل ۲، بیشترین و کمترین محتوای کلروفیل b در تنش نسبتاً شدید (۹/۵- اتمسفر) به ترتیب در جمعیت های اصفهان ۵ و اصفهان ۶ مشاهده شد. در بین جمعیت های بالنگو، جمعیت اصفهان ۳ در سطوح تنش خشکی کمترین تغییر را در محتوای کلروفیل b نشان داد. جمعیت کردستان در قابلیت رطوبت ۹/۵- اتمسفر با میانگین ۲/۵۴ میلی گرم بر گرم دارای بیشترین میزان نسبت به کلروفیل a/b بود (شکل ۳). با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل کل در تنش نسبتاً شدید با میانگین ۰/۹۶ میلی گرم بر گرم کاهش



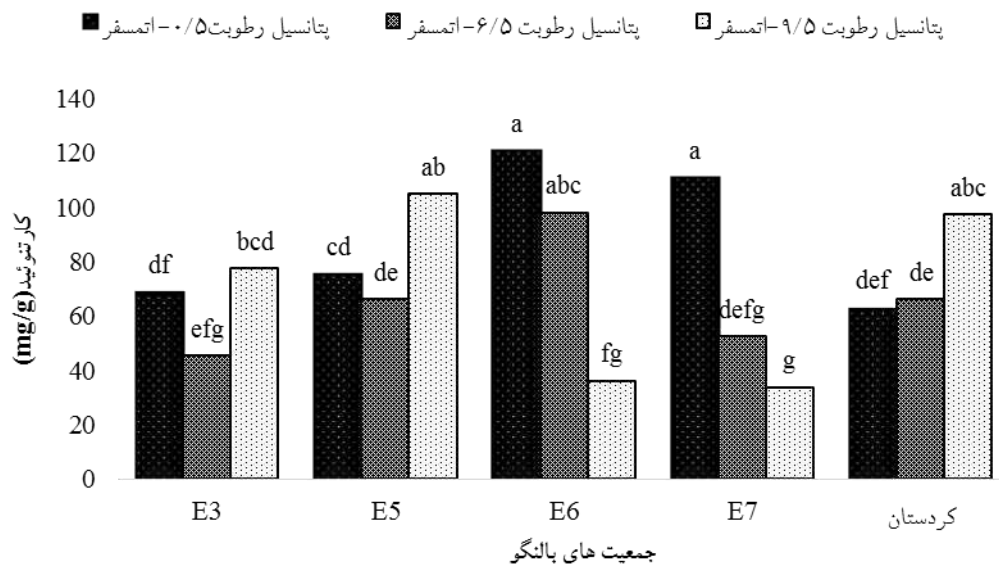
شکل ۲- میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت بر محتوای کلروفیل b



شکل ۳- میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت بر محتوای کلروفیل a/b



شکل ۴- میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت بر محتوای کلروفیل کل



شکل ۵- میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت بر محتوای کاروتنوئید

نبود. پاسخ جمعیت‌های بالنگو به تنش خشکی متفاوت بود. کمترین و بیشترین میزان کاروتنوئید به ترتیب در جمعیت اصفهان ۳ با میانگین (۶۳/۹۶ میلی گرم بر گرم) و جمعیت اصفهان ۶ با میانگین (۸۵/۱۹ میلی گرم بر گرم) مشاهده شد. البته پاسخ جمعیت‌های بالنگو به تنش خشکی در اثرات متقابل متفاوت است، به طوری که

محتوای کاروتنوئید

طبق نتایج این تحقیق تنش خشکی، جمعیت و اثر برهم‌کنش آنها بر محتوای کاروتنوئید برگ تأثیر معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). به طوری که میزان کاروتنوئید با افزایش خشکی ۲۵/۷۱٪ کاهش پیدا کرد ولی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین سطوح تنش

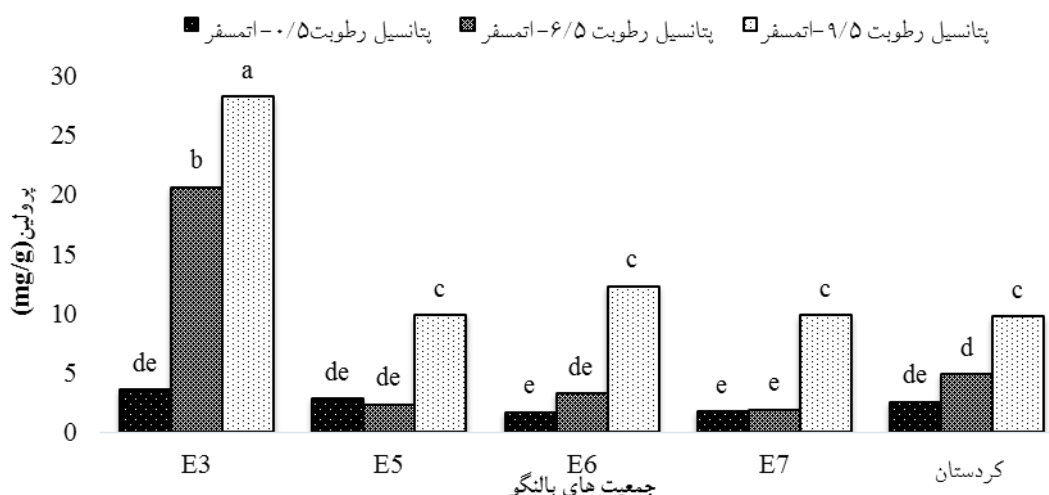
محتوای پرولین

در این تحقیق با افزایش خشکی محتوای پرولین برگ افزایش یافت. طی بررسی نتایج خشکی، جمعیت و اثر متقابل آنها بر محتوای پرولین بافت برگ در سطح احتمال ۵٪ معنی دار بود (جدول ۴). با توجه به جدول مقایسه میانگین با افزایش تنش خشکی محتوای پرولین ۱۴/۰۲ میلی گرم بر گرم در تنش نسبتاً شدید (۹/۵- اتمسفر) نسبت به شاهد با میانگین ۲/۴۹ میلی گرم بر گرم افزایش ۱۶۵/۸۶ درصدی نشان داد. به طوری که بیشترین محتوای پرولین بافت برگ در جمعیت اصفهان ۳ و قابلیت رطوبت ۹/۵- اتمسفر مشاهده شد (شکل ۶).

محتوای کاروتنوئید بافت برگ در جمعیت های اصفهان ۳، اصفهان ۵ و کردستان با افزایش تنش خشکی بیشتر شد و در جمعیت های اصفهان ۶ و اصفهان ۷ کاهش پیدا کرد (شکل ۵).

محتوای آنتوسیانین

طبق نتایج بدست آمده، تنش خشکی تأثیر معنی داری بر محتوای آنتوسیانین بافت برگ در سطح احتمال ۱٪ داشت (جدول ۴). به نحوی که با افزایش خشکی محتوای آنتوسیانین بافت برگ در تنش نسبتاً شدید با میانگین ۷/۷۶ میلی گرم بر گرم نسبت به شاهد با میانگین ۶/۰۱ میلی گرم بر گرم افزایش یافت.



شکل ۶- میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت بر محتوای پرولین

کاهش پیدا کرد. در بین جمعیت های بالنگو، جمعیت اصفهان ۵ و به دنبال آن جمعیت اصفهان ۳ دارای بیشترین میزان فنل برگ بودند. با توجه به شکل ۷، در بیشتر جمعیت های مورد مطالعه افزایش خشکی، افزایش محتوای فنول را در پی داشته است. در تنش ملایم جمعیت اصفهان ۳ و در تنش نسبتاً شدید جمعیت اصفهان ۶ محتوای فنل برگ بیشتری داشتند.

محتوای فنل برگ

طی بررسی نتایج تنش خشکی، جمعیت و اثر متقابل آنها تأثیر معنی داری بر محتوای فنل بافت برگ داشتند (جدول ۴). به نحوی که با افزایش تنش محتوای فنل بافت برگ افزایش نشان داد و بیشترین میزان فنل را در تنش ملایم با ۳۲۰/۴۳ میلی گرم بر گرم وزن خشک برگ می توان مشاهده کرد. در قابلیت رطوبت ۹/۵- اتمسفر محتوای فنل تام برگ

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه جمعیت‌های بالنگو تحت تنش خشکی

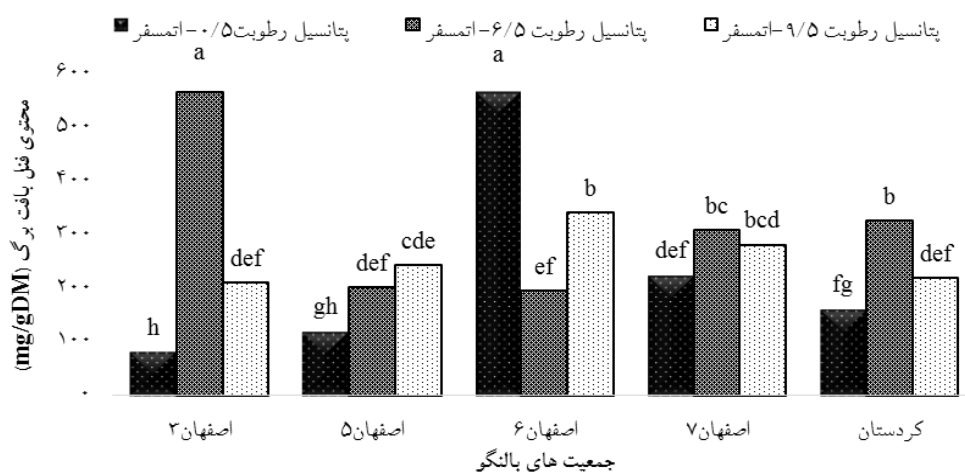
میانگین مربعات (MSe)													درجه	منابع تغییرات (S.O.V)
وزن هزاردانه	عملکرد دانه	فعالیت آنزیم پراکسیداز	پایداری غشاء	محتوای مالون دی‌آلدئید	محتوای فنل برگ	محتوای پرولین	محتوای آنتوسیانین	محتوای کاروتنوئید	محتوای کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b	محتوای کلروفیل b	محتوای کلروفیل a	آزادی (df)	
۰/۰۱	۹۶۴/۱۱	۲/۷۶	۰/۶۵	۶/۲۵	۱۳۸۲	۱/۳۱	۷/۲۴	۳۶۲/۰۹	۰/۰۴	۰/۱۱۶	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۲	تکرار (R)
۰/۰۵*	۵۵۳۴۶۳/۸۵**	۱۷۶۶/۷۷**	۱۰۸۹/۸۶**	۶۳۳۸/۹**	۳۰۹۱۹/۲*	۵۱۱/۷۲*	۱۱/۶۲**	۲۱۰۴/۵۶**	۰/۲*	۰/۳۳۱ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۱۵*	۲	تنش خشکی (D)
۰/۰۰۷	۸۲۹/۴۷	۱۹/۰۹	۰/۱	۲/۸	۲۵۷۴/۱	۱/۳۵	۰/۰۴	۱۰۰۸/۴۸	۰/۰۱	۰/۰۷۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۴	خطای اصلی
۰/۱۲**	۲۶۷۹۹۹/۶۶**	۲۷۲/۲۱**	۱۶۱/۰۶**	۷۷۲/۵۴**	۳۹۹۰۶**	۲۷۱/۶۳*	۶/۲۲ ^{ns}	۸۱۷/۰۱*	۰/۴۵**	۰/۳۰۴**	۰/۰۷**	۰/۱۶**	۴	جمعیت (P)
۰/۰۵**	۱۱۷۹۱۰/۱۱**	۵۱/۷۲**	۹۹/۹۱**	۱۹۲/۸**	۷۵۲۷۱/۳**	۵۵/۹۳*	۵/۴۶ ^{ns}	۲۹۲۶/۲۸**	۰/۴۸**	۰/۸۲۴**	۰/۰۷**	۰/۲۲**	۸	P×D
۰/۰۰۸	۴۸۲۶/۰۷	۷/۳۸	۳/۳۲	۲۲/۴۷	۱۷۶۷/۹۳	۲/۲۸	۲/۴۵	۲۳۰/۵۱	۰/۰۱۴	۰/۰۷۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۲۴	خطای فرعی
۶/۸۳	۱۸/۷۱	۱۳/۲۶	۱۴/۳۵	۱۳/۰۵	۱۵/۵۳	۱۹/۶	۲۲/۵۱	۲۰/۳۵	۱۰/۹۷	۱۸/۰۶	۱۰/۵۷	۱۴/۱۵		ضریب تغییرات (%)

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

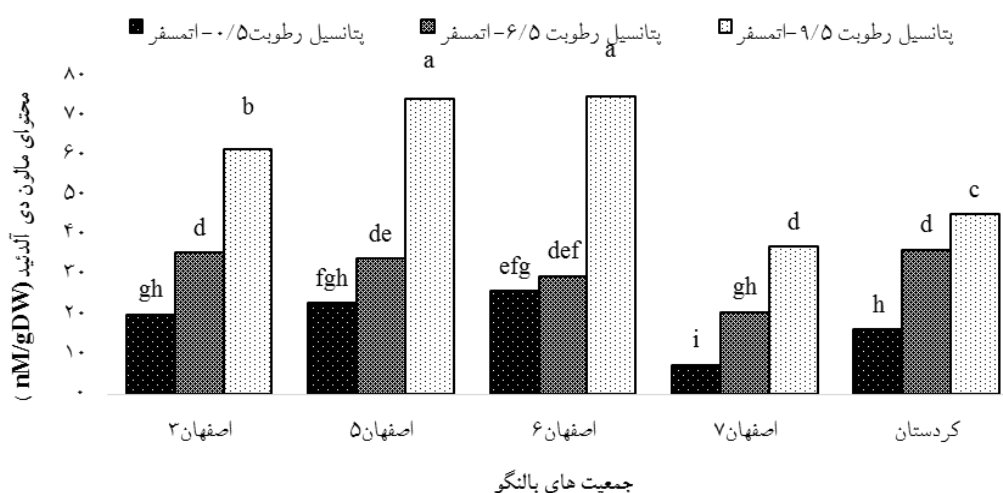
مطلوبه‌ی آلدئید شد. جمعیت‌های اصفهان ۵ و اصفهان ۶ دارای بیشترین مقدار مالمون‌دی آلدئید در تنش ۹/۵- اتمسفر بود (شکل ۸).

محتوای مالمون‌دی آلدئید

طبق بررسی نتایج تنش خشکی، جمعیت و اثر برهم‌کنش آنها بر محتوای مالمون‌دی آلدئید تأثیر معنی‌داری نشان داد ($P \leq 0.01$). تنش خشکی باعث افزایش محتوای



شکل ۷- میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت بر محتوای کلروفیل برگ



شکل ۸- میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت بر محتوای مالمون‌دی آلدئید

غشاء سلولی برگ گیاه دارویی بالنگو شد، به طوری که بیشترین و کمترین آن به ترتیب مربوط به شاهد با ۲۱/۳۷٪ و تنش نسبتاً شدید ۴/۳۳٪ بود. جمعیت‌های اصفهان ۵ و اصفهان ۶ بیشترین شاخص پایداری غشاء را نشان دادند. در

شاخص پایداری غشاء

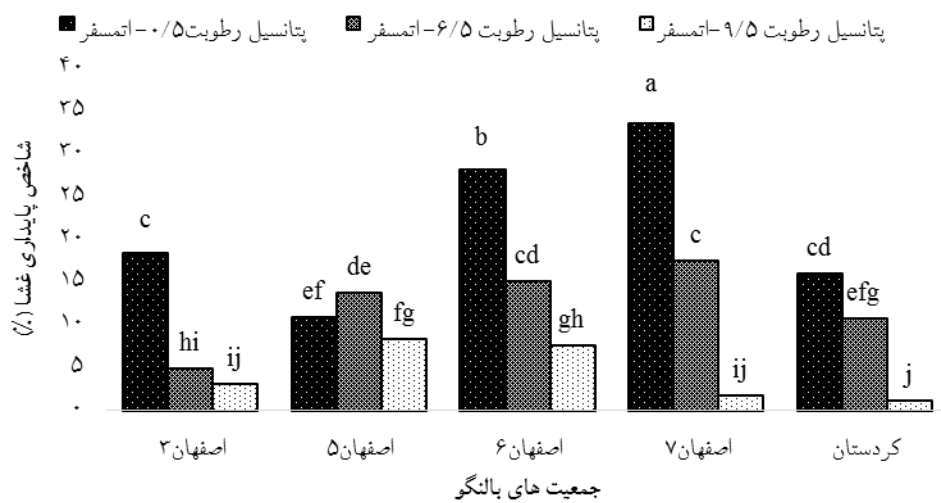
نتایج حکایت از تأثیر معنی‌دار تنش، جمعیت و اثر متقابل آنها بر شاخص پایداری غشاء در سطح احتمال ۱٪ داشت (جدول ۴). خشکی باعث کاهش شاخص پایداری

برگ، همراه با افزایش تنش خشکی افزایش نشان داد، به طوری که در تنش ۹/۵- اتمسفر دارای بیشترین میزان فعالیت این آنزیم بود. در بین جمعیت‌های بالنگو بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در جمعیت اصفهان ۵ مشاهده شد. مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که تنش ۹/۵- اتمسفر جمعیت اصفهان ۵ و اصفهان ۷ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین فعالیت این آنزیم پاداکسایشی بود (شکل ۱۰).

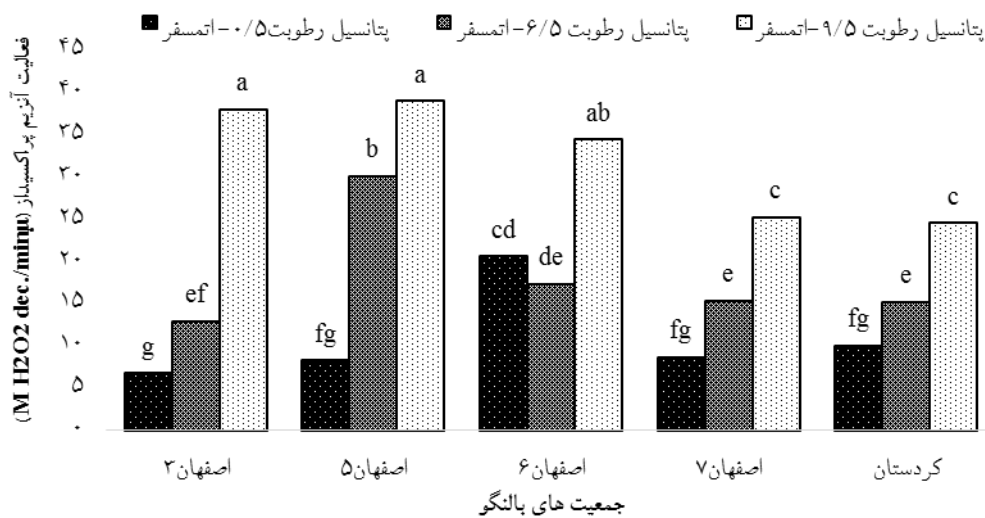
جمعیت های اصفهان ۵ و کردستان در تنش ۹/۵- اتمسفر به ترتیب بیشترین و کمترین درصد شاخص پایداری غشاء مشاهده شد (شکل ۹).

فعالیت آنزیم پراکسیداز

طی بررسی نتایج این آزمایش خشکی، جمعیت و اثر برهم کنش آنها بر صفت فعالیت آنزیم کاتالاز برگ در سطح ۱٪ معنی دار شد (جدول ۴). فعالیت آنزیم پراکسیداز در



شکل ۹- میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت بر شاخص پایداری غشاء



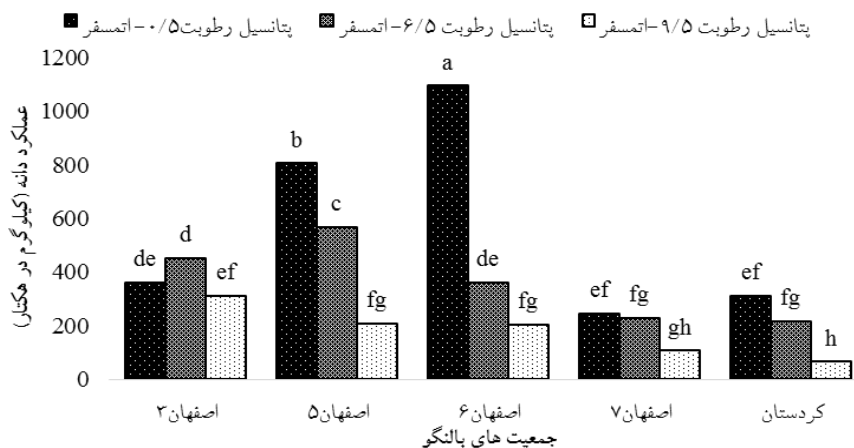
شکل ۱۰- میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت بر فعالیت آنزیم پراکسیداز

عملکرد دانه

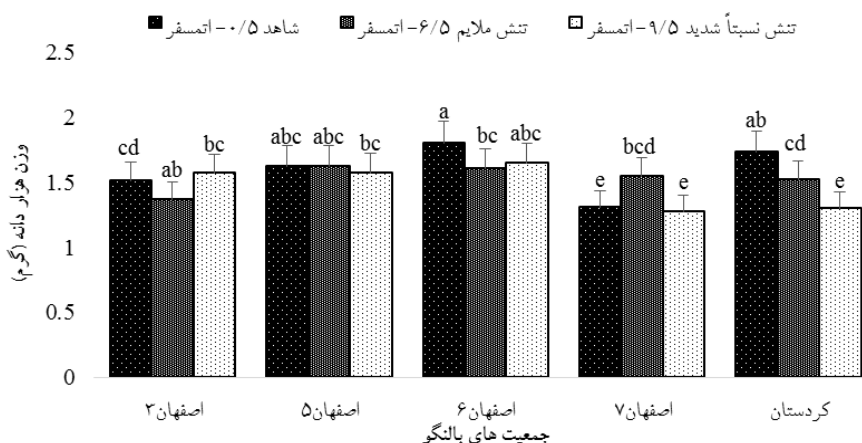
خشکی تأثیر معنی داری بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۵٪ نشان داد. جمعیت و اثر متقابل آن در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد (جدول ۴). در نتایج مقایسه میانگین ترکیب تیماری خشکی و جمعیت، بیشترین عملکرد دانه ۱۰۹۵/۸۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به جمعیت اصفهان ۶ در سطح شاهد (۰/۵- اتمسفر) و کمترین عملکرد دانه ۶۷/۶۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به جمعیت کردستان در تنش نسبتاً شدید (۹/۵- اتمسفر) بود. همچنین جمعیت اصفهان ۳ بیشترین عملکرد دانه را با تولید ۳۱۲/۷۷ کیلوگرم در هکتار در قابلیت رطوبت ۹/۵- اتمسفر داشت (شکل ۱۱).

وزن هزاردانه: اثر ساده خشکی در سطح احتمال ۵٪ و

جمعیت و اثر متقابل آن در سطح احتمال ۱٪ بر وزن هزاردانه معنی دار شد (جدول ۴). افزایش خشکی باعث کاهش ۷/۵۴ درصدی وزن هزاردانه گیاه دارویی بالنگو شد. در بین جمعیت های بالنگو بیشترین و کمترین وزن هزاردانه به ترتیب مربوط به جمعیت های کردستان (۱/۵۱ گرم) و اصفهان ۷ (۱/۴۸ گرم) بود. البته از لحاظ آماری تفاوتی بین جمعیت ها و سطوح تنش مشاهده نمی شود. بیشترین وزن هزاردانه با ۱/۸ گرم مربوط به جمعیت اصفهان ۶ در قابلیت رطوبت ۰/۵- اتمسفر و کمترین آن با ۱/۲۷ گرم مربوط به جمعیت اصفهان ۷ در قابلیت رطوبت ۹/۵- اتمسفر بود (شکل ۱۲).



شکل ۱۱- میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت بر عملکرد دانه



شکل ۱۲- میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت بر وزن هزاردانه

بحث

تنش خشکی بسیاری از مراحل فنولوژیک، مورفولوژیک، پدیده‌های حیاتی گیاه و محتوای ترکیب‌های بیوشیمیایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. طبق نتایج این پژوهش، خشکی باعث کاهش محتوای کلروفیل بافت برگ جمعیت‌های گیاه دارویی بالنگو شد. به‌طور مسلم کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی به دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز و تخریب کلروپلاست در این شرایط و کاهش ساخت رنگرزه‌ها می‌شود. تنش خشکی سبب کاهش محتوای رنگرزه‌های سلول‌های گیاهی (کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها) می‌شود (Heidari Sharif -Abad, 2000). همچنین نتایج Pradhan و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش ۳۱ درصدی محتوای کلروفیل برگ گونه‌های *Aegilops sp* شد و با یافته‌های این پژوهش مطابقت داشت. در برخی جمعیت‌ها افزایش تنش خشکی باعث افزایش و در برخی دیگر موجب کاهش کاروتنوئید شد. بنابراین به نظر می‌رسد ویژگی‌های ژنتیکی گیاه در حصول این نتایج دخیل است و تنوع ژنتیکی بین جمعیت‌ها باعث پاسخ‌های متفاوت آنها به تنش خشکی شده‌است. کاروتنوئیدها نقش حفاظتی در مقابل تنش اکسیداتیو دارند و در سمیت‌زدایی از کلروفیل نقش داشته و باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند (Sanitata & Gabbriella, 1999). گونه‌هایی که بتوانند محتوای کاروتنوئید بیشتری داشته باشند، در مقابل گونه‌های اکسیژن فعال، دفاع موفق‌تری داشته و در شرایط تنش کمبود آب تحمل بیشتری از خود نشان می‌دهند (Noctor & Foyer, 1998). آنتوسیانین‌ها رنگدانه‌های محلول در آب هستند که متعلق به خانواده فنولوئید می‌باشند. در این تحقیق با افزایش تنش خشکی محتوای آنتوسیانین بافت برگ افزایش نشان داد، که با نتایج اثر تنش خشکی بر روی سیب‌زمینی (Watkinson *et al.*, 2006) مطابقت دارد. تنش خشکی باعث افزایش محتوای پرولین گیاه بالنگو شیرازی مورد مطالعه شد. طبق یافته‌های Fatima و همکاران

(۲۰۰۰) در گیاه *Cymbopogon winteranus* و Bajji و همکاران (۲۰۰۱) بر روی سه رقم گندم، تنش خشکی باعث افزایش محتوای پرولین شد. افزایش غلظت پرولین در گیاهانی که تحت خشکی قرار گرفته اند، نوعی سازگاری برای غلبه بر شرایط تنش است (Manivannan, 2007). گیاه با استفاده از سازوکارهای غیر آنزیمی می‌تواند غلظت گونه‌های واکنشگر اکسیژن و اثرات مخرب آن را کاهش دهد. ترکیب‌های پاداکسایشی غیر آنزیمی شامل فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و سایر ترکیب‌های فنلی، آسکوربات، آلفا-توکوفرول و بتاکاروتن می‌باشد. ترکیب‌های فنلی دارای نقش‌های متعدد اکولوژیکی و فیزیولوژیکی مانند نقش‌های دفاعی و پاداکسایشی می‌باشند (André *et al.*, 2009). در این پژوهش با افزایش تنش خشکی محتوای فنل تام برگ افزایش یافت. بررسی روی اکالیپتوس نشان داد که تحت شرایط تنش خشکی ترکیب‌های فنلی در گیاه افزایش می‌یابد (Schwambach *et al.*, 2008)، که با یافته‌های این پژوهش همخوانی دارد. تخریب غشاهای سلول یکی از پیامدهای مستقیم کمبود آب است. به عبارت دیگر بین میزان مالون دی‌آلدئید و شدت تنش خشکی رابطه مستقیمی وجود دارد (Sofa *et al.*, 2004). بیشترین محتوای مالون دی‌آلدئید در جمعیت‌های اصفهان ۵ و ۶ در تنش نسبتاً شدید مشاهده شد. بنابراین می‌توان گفت در این جمعیت‌ها میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء در اثر تشکیل انواع اکسیژن فعال بیشتر رخ داده‌است. گزارش‌ها نشان می‌دهد که آسیب به غشاء تحت تنش‌های خشکی با افزایش در میزان تولید گونه‌های فعال اکسیژن مرتبط است، بنابراین ثبات غشاهای زیستی دال بر مقاومت به تنش خشکی است. تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن تحت تنش خشکی باعث اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع دارای چندین پیوند دوگانه در غشاء پلاسمایی و ایجاد مالون دی‌آلدئید (MDA) می‌شود. پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء را می‌توان به‌عنوان نشانه‌ای از آسیب اکسیداتیو در نظر گرفت و اغلب از آن به‌عنوان شاخصی برای تعیین میزان آسیب وارده به غشاء

به عنوان نتیجه گیری کلی باید گفت که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه، وزن هزاردانه، رنگریزه های فتوسنتزی و پایداری غشاء بافت برگ شد. همچنین افزایش محتوای فنل، محتوای پرولین، محتوای آنتوسیانین، محتوای مالون دی آلدئید و فعالیت آنزیم پراکسیداز را در پی داشت. در این تحقیق جمعیت های بالنگو واکنش های متفاوتی در مواجهه با تنش خشکی از خود نشان دادند. بعضی از جمعیت ها تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی نشان دادند ولی از عملکرد پایینی برخوردار بودند. با توجه به تنش های رطوبتی آخر فصل (گلدھی)، جمعیت اصفهان ۳ به عنوان جمعیتی شناخته شد که در سطوح مختلف قابلیت رطوبت دارای تغییرات کمتری در صفات عملکرد دانه و محتوای کلروفیل نسبت به دیگر جمعیت ها بود، همچنین بیشترین مقدار محتوای پرولین را در قابلیت رطوبت ۹/۵- اتمسفر داشت. جمعیت اصفهان ۶ در شرایط بدون تنش با بیشترین مقدار عملکرد دانه روبرو شد. همچنین جمعیت اصفهان ۵ در قابلیت رطوبت ۹/۵- اتمسفر دارای بیشترین میزان محتوای کلروفیل، محتوای کاروتنوئید، محتوای مالون دی آلدئید، پایداری غشاء و آنزیم پراکسیداز بود.

منابع مورد استفاده

- Abeles, F.B. and Biles, C.L., 1991. Characterization of peroxidases in lignifying peach fruit endocarp. *Journal Plant Physiology*, 95: 269-273.
- Amanzadeh, A., Khosravi Dhqy, N., Gohari, A.R., Esfahani, H.R. and Saadat Ebrahimi, E., 2010. Antioxidant effect of the essential oils (*Lallemantia iberica*) in the flowering stage and flowering stage after investigations. *Life Sciences*, 6(3): 114-117.
- André, C.M., Schafleitner, R., Legay, S., Lefèvre, I., Aliaga, C.A.A., Nomberto, G., Hoffmann, L., Hausman, J.F., Larondelle, Y. and Evers, D., 2009. Gene expression changes related to the production of phenolic compounds in potato tubers grown under drought stress. *Phytochemistry*, 70(9): 1107-1116.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Poly phenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1): 1-15.
- Bajji, M., Lutts, S. and Kinet, J.M., 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic

تنش خشکی استفاده می شود (Khan & Panda, 2008). افزایش مالون دی آلدئید در بافت برگ بالنگو در شرایط تنش خشکی نشان می دهد که سازوکارهای ترمیم سلولی با سازوکارهای تخریب حاصل از کمبود آب می توانند بر تجزیه و بازیابی لیپیدهای غشاء تأثیر بگذارند، یعنی همگام نمی شوند؛ به ویژه در اثر تنش خشکی، پراکسیداسیون گلیکولیپیدهای تیلاکوئید کلروپلاستی و بدنال آن تولید دی آسیل گلیسرول، تری آسیل گلیسرول و اسیدهای چرب آزاد اتفاق می افتد، در نتیجه میزان مالون دی آلدئید در بافت گیاه افزایش می یابد (Smirnoff, 1993). شاخص پایداری غشاء در تنش ۹/۵- اتمسفر در جمعیت های مورد ارزیابی کاهش یافت، که با توجه به یافته های Mehrjerdi و همکاران (۲۰۱۲) شاخص پایداری غشاء سلول برگ در پاسخ به تنش خشکی در ژنوتیپ های نخود به طور معنی داری کاهش یافت و از این نظر بین ژنوتیپ ها نیز اختلاف معنی داری مشاهده شد. از میان آنزیم های پاداکسایشی آنزیم پراکسیداز نقش مهمی برای از بین بردن رادیکال های آزاد اکسیژن به ویژه پراکسید هیدروژن دارد. نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می دهد که در بافت برگ جمعیت های بالنگو میزان فعالیت آنزیم پراکسید با افزایش سطوح تنش خشکی افزایش یافت. طبق یافته های Sharma و Dubey (۲۰۰۵) تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه های برنج شد که مشابه نتایج بدست آمده در این مطالعه می باشد. تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه و وزن هزاردانه جمعیت های بالنگو شد. در بین جمعیت های مورد ارزیابی جمعیت اصفهان ۳ با عملکرد دانه ۳۱۲/۷۷ کیلوگرم در هکتار و جمعیت اصفهان ۶ با وزن هزاردانه ۱/۶۴۷ گرم در تنش رطوبتی ۹/۵- اتمسفر دارای بیشترین میزان در این صفات بودند. نتایج پژوهش های Rasti و همکاران (۲۰۱۲) و Pirjalili و Omidi (۲۰۱۷) حکایت از اثر تنش شدید بر کاهش عملکرد گیاه دارویی بالنگو شیرازی بود که با نتایج این تحقیق همخوانی و مطابقت داشت.

- rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiologia Plantarum*, 30: 81-89.
- Khanpour Ardestani, N., Sharifi, M. and Bahmansh, M., 2013. The effect of methyl jasmonate on the activity of antioxidant enzymes, phenolic compounds and flavonoids in *Scrophularia straita* Boiss culture cells. *Journal of Plant Research*. (Iranian Journal of Biology), 27(5): 840-853.
 - Koc, E., İslek, C. and Üstun, A.S., 2010. Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. *Gazi University Journal of Science*, 23: 1-6.
 - Lin-Wang, K., Bolitho, K., Grafton, K., Kortstee, A., Karunairetnam, S., McGhie, T., Espley, R., Hellens, R. and Allan, A., 2010. An R2R3 MYB transcription factor associated with regulation of the anthocyanin biosynthetic pathway in Rosaceae. *BMC Plant Biology*, 1-17.
 - Manivannan, P., Jaleel, C.A., Sankar, B., Kishurekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M. and Panneerselvam, R., 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces Biointerfaces*, 59: 141-149.
 - Meda, A., Lamien, C.E., Romito, M., Millogo, J. and Nacoulma, O.G., 2005. Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Faso honey, as well as their scavenging activity. *Food Chemistry*, 91: 571-577.
 - Mehrjerdi, M.Z., Bagheri, A.A., Bahrami, A.R., Nabati, J. and Masomiy, A., 2012. Effect of drought stress on photosynthetic properties, phenolic compounds and different genotypes of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in aquatic environment. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Crops*, 3(4): 59-77.
 - Noctor, G. and Foyer, C.H., 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Plant Molecular Biology*, 49: 249-279.
 - Pandey, R.K., Maranville, J.W. and Admou, A., 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 15: 93-105.
 - Pirjalili, F. and Omid, H., 2017. Effects of drought stress on grain yield and qualitative characteristics of three populations of *Lallemantia royleana* Benth. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33(1): 25-38.
 - Pradhan, G.P., Prasad, P.V.V., Fritz, A.K., Kirkham, M.B. and Gill, B.S., 2011. Response of *Aegilops* species to drought stress during reproductive stages adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sciences*, 160: 669-681.
 - Bandurska, H., 2000. Does proline accumulated in leaves of water stressed barley plants confine cell membrane injury? I. free proline accumulation and membrane injury index in drought and osmotically stressed plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 22(4): 409-415.
 - Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L. and Rastgoo, M., 2008. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. *Industrial Crops and Products*, 27: 11-16.
 - Barati, F., Frequency, M. and Minimum, H., 2012. Effect of nitrogen nutrition and organic fertilizers on some quantitative indicators Balngu medicinal plants. National Conference on Natural Products and Medicinal Plants. Gorgan, Golestan Province, 18 May.
 - Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
 - Chalker-Scott, L., 2002. Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? *Advances in Botanical Research*, 37: 103-106.
 - Davazdah Emami, V. and Majnon Hosseini, N., 2007. Agriculture and manufacturing some of the herbs and spices. Tehran University Press, 300p.
 - Dunford, N.D. and Vazquez, R.S., 2005. Effect of water stress on plant growth and thymol and carvacrol concentrations in Mexican oregano grown under controlled conditions. *Journal of Applied Horticulture*, 7(1): 20-22.
 - Fatima, S.F., Farooqi, A.H.A. and Srikant, S., 2000. Effect of drought stress and plant density on growth and essential oil metabolism in citronella java (*Cymbopogon winterianus*). *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 22(1B): 563-567.
 - Gu, Z., Chen, D., Han, Y., Chen, Z. and Gu, F., 2008. Optimization of carotenoids extraction from *Rhodobacter sphaeroides*. *LWT-Food Science and Technology*, 41(6): 1082-1088.
 - Heath, R.L. and Packer, L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125: 189-198.
 - Heidari Sharif-Abad, H., 2000. Plants, Aridity, And Drought. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 200p.
 - Khan, M.H. and Panda, S.K., 2008. Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two

- New Phytology, 125: 27-58.
- Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis, C. and Masia, A., 2004. Lipoxygenase activity and praline accumulation in leaves and roots of olive tree in response to drought stress. *Physiology Plant*, 121: 56-58.
 - Suriyan, Ch. and Chalermopol, K., 2009. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and waterdeficit stress. *Agricultural Sciences in China*, 8: 51-58.
 - Tasgin, E., Atici, O. and Nalbantoglu, B., 2003. Effects of salicylic acid and cold on freezing tolerance in winter wheat leaves. *Plant Growth Regulation*, 41(3): 231-236.
 - Wagner, G.J., 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology*, 64: 88-93.
 - Watkinson, J.I., Hendricks, L., Sioson, A.A., Vasquez-Robinet, C., Verlyn, S., Heath, L.S., Schuler, M., Bohnert, H.J., Bonierbale, M. and Grene, R., 2006. Accessions of *Solanum tuberosum* spp. *andigena* show differences in photosynthetic recovery after drought stress as reflected in gene expression profiles. *Plant Science*, 171(6): 745-758.
 - of development. *Functional Plant Biology*, 39: 51-59.
 - Rasti, S., Omidi, H. and Fotokian, M.H., 2012. The effect of planting date and drought on quality and quantity characteristics Balangu Shirazi (*Lallemantia royleana* (wall) Benth.). Master Thesis of Agriculture Faculty of Agriculture, Shahed University.
 - Sairam, R.K., Deshmukh, P.S. and Shukla, D.S., 1997. Tolerance to drought stress in relation to increased antioxidant enzymes activity in beet. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 178: 171-177.
 - Sanitata, L. and Gabbriella, R., 1999. Response to Cd in higher plants-review. *Environment and Experimental Botany*, 45: 105-130.
 - Schwambach, J., Ruedell, C.M., de Almeida, M.R., Penchel, R.M., de Araújo, E.F. and Fett-Neto, A.G., 2008. Adventitious rooting of *Eucalyptus glubus* × *maidennii* mini-cutting derived from mini-stumps grown in sand bed and intermittent flooding trays: a comparative study. *New Forests*, 36(3): 261-271.
 - Sharma, P. and Dubey, R.S., 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation*, 46: 209-221.
 - Smirnoff, N., 1993. The role of active oxygen in response of plants to water deficit and desiccation.

The effect of drought stress on physiological traits, peroxidase activity and grain yield of five populations of *Lallemantia royleana* Benth.

Kh. Ahmadi¹ and H.Omidi^{2*}

1- M.Sc. graduated, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

2*- Corresponding author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran
E-mail: omidi@shahed.ac.ir

Received: September 2017

Revised: April 2018

Accepted: April 2018

Abstract

Drought stress affects the morphology, physiology, and biochemistry of plants and will have major effects on agricultural production. This study was conducted to evaluate the effect of drought on some physiological and grain yield properties of Balangu populations (*Lallemantia royleana* Benth.), in the Research Station of Shahed University. This study was conducted in a split-plot design based on randomized complete block design (RCBD) with three replications during 2014-2015. The experimental factors consisted of three different levels of drought stress at the flowering stage as main factors (applying soil water potential of -0.5, -6.5 and -9.5 atm), and Balangu populations including one population from Kurdistan and four populations from Esfahan province (Esfahan3, Esfahan5, Esfahan6, Esfahann) were considered as subplots. The traits studied included grain yield, one thousand seed weight, photosynthetic pigments content, proline content, total phenol content, membrane stability index (MDA), and peroxidase activity. According to the results, drought stress had significant effects on all traits except chlorophyll b content and chlorophyll a/b ratio. Population and its interactions showed a significant effect with all traits except anthocyanin content. Drought caused to the reduced content of photosynthetic pigments, membrane stability index, thousand grain weight and grain yield. With increasing drought stress, the lipid peroxidation enzymatic activity and non-enzymatic antioxidants such as phenolic content, carotenoids content, anthocyanins content, and proline content of tissue increased to induce drought tolerance. The highest grain yield with the mean of (312.77 kg/ha) and the highest phenolic content with an average of (14.02 mg/g FW) were recorded for the Esfahan3 population under relatively severe stress.

Keywords: Peroxidase, prolin, membrane stability index, grian yield, MDA.