نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 2، تابستان 1398، ص 774-757

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 757-774

ارزیابی ویژگی‌های مرفولوژیک، اجزای عملکرد و آنزیم کاتالاز جمعیت‌های بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana* Benth.) تحت تنش خشکی

خدیجه احمدی[1] و حشمت امیدی[2*]

تاریخ دریافت: 1396/09/21
تاریخ پذیرش: 1397/01/29

احمدی، خ.، و امیدی، ح. 1398. ارزیابی ویژگی‌های مرفولوژیک، اجزای عملکرد و آنزیم کاتالاز جمعیت‌های بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana* Benth.) تحت تنش خشکی. بوم‌شناسی کشاورزی. 11 (2): 774-757.

چکیده

کمبود آب، عامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر خصوصیات مرفولوژیک و آنزیم کاتالاز جمعیت‌های گیاه دارویی بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana* Benth.)، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی گیاهان دارویی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد در سال 94-1393 اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح خشکی در مرحله گلدهی به‌عنوان فاکتور اصلی (پتانسیل رطوبت خاک 0/5- (شاهد)، 6/5- و 9/5- اتمسفر)، پنج جمعیت بالنگو شامل یک جمعیت از استان کردستان (سنندج) و چهار جمعیت از استان اصفهان (نائین، اردستان، نجف آباد و خوانسار) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات مرفولوژیک، اجزای عملکرد (به‌جز صفت تعداد فندقه در هر چرخه گل)، عملکرد دانه، درصد و عملکرد موسیلاژ، محتوای پروتئین و آنزیم کاتالاز داشت. با افزایش خشکی صفاتی مانند ارتفاع بوته، اجزای عملکرد و عملکرد دانه، عملکرد موسیلاژ و محتوای پروتئین کاهش پیدا کردند. تنش خشکی باعث افزایش طول ریشه، درصد موسیلاژ و آنزیم کاتالاز شد. اثر ساده جمعیت بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، وزن تر و خشک تک بوته غیرمعنی‌دار شد. در بین جمعیت‌های بالنگو، جمعیت نجف آباد دارای بیش‌ترین عملکرد دانه، عملکرد موسیلاژ و اجزای عملکرد بود. بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، تعداد فندقه در هر چرخه گل، وزن تر بوته، وزن خشک بوته و طول ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. بیش‌ترین همبستگی بین عملکرد موسیلاژ و وزن هزار دانه مشاهده شد. با توجه به اینکه هدف از کشت گیاه دارویی بالنگو دانه است، جمعیت نائین در پتانسیل رطوبت 9/5- اتمسفر بیش‌ترین عملکرد دانه را داشت.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، عملکرد، کم‌آبی، وزن هزار دانه

مقدمه

امروزه گیاهان دارویی از گیاهان مهم اقتصادی هستند که به‌صورت خام یا فرآوری شده در طب سنتی و مدرن صنعتی مورداستفاده و بهره‌وری قرار می‌گیرند. بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana* Benth.) گیاهی یکساله از تیره نعناعیان است و در ایران، پاکستان، ترکیه، هند و شمال اروپا رشد می‌کند (Fekri et el., 2008). بذرهای گیاه بالنگو منبع خوبی از کربوهیدرات‌ها (42/25 درصد)، فیبر (30/67 درصد)، روغن (18/27 درصد)، خاکستر (3/63 درصد) و پروتئین (25/6 درصد) هستند و خصوصیات دارویی غذایی و سلامتی برای انسان دارند (Razavi & Karazhiyan, 2009; Naghibi et al., 2005). بذرهای بالنگو به‌دلیل مقادیر زیاد موسیلاژ هنگامی‌که خیس می‌شوند آب را سریعاً جذب و بی‌درنگ با پوششی از موسیلاژ بی‌مزه، مات، خاکستری و بسیار چسبنده پوشانده می‌شود (Moghaddam et al., 2011). این دانه‌ها به‌عنوان لینت‌بخش در

1 و 2- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیارگروه زراعت، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد.
(*- نویسنده مسئول: Email: omidi@shahed.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v11i2.69373

رفع سرفه ناشی از سرماخوردگی و نیز به‌عنوان تقویت‌کننده، مدر و محرک استفاده سنتی دارد (Naghibi et al., 2005). گیاهان در طبیعت به‌طور مداوم در معرض انواع تنش‌های زنده و غیرزنده قرار می‌گیرند. از بین این تنش‌ها، تنش خشکی یکی از نامطلوب‌ترین عوامل رشد و بهره‌وری و تهدیدی جدی برای تولید محصول پایدار و امنیت مواد غذایی در شرایط تغییر اقلیم به‌شمار می‌رود (Anjum et al., 2011). خشکسالی طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های گیاه را از متابولیسم سلولی تا تغییر در سرعت رشد و عملکرد محصول را در برمی‌گیرد. رشد، عملکرد، تمامیت غشاء سلولی، روابط آب، تنظیم اسمزی و فعالیت‌های فتوسنتزی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار می‌گیرند (Demirevska et al., 2009). خشکی یا تنش کمبود آب مهم‌ترین عامل محیطی است که اثرات شدید منفی بر عملکرد محصولات کشاورزی در سراسر جهان دارد، به‌خصوص هنگامی‌که تنش آب در مرحله زایشی رخ دهد، تولید محصول را بیش‌تر تحت تأثیر قرار می‌دهد (Pareek et al., 2010). گلدهی و پر شدن دانه دو مرحله اساسی تکامل دانه که شامل مرحله تقسیمات سلولی و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه می‌باشد که محدودیت آبی این مراحل را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد (Fischer & Maurer, 1987).کمبود آب، تعداد برگ در بوته، اندازه برگ و طول عمر برگ را به دلیل کاهش پتانسیل آب خاک کاهش می‌دهد. اثر مشترک نامطلوب تنش خشکی در گیاهان زراعی، کاهش وزن‌تر و خشک از طریق اختلال در تبادلات گازی برگ و نیز انتقال اسیمیلات‌ها و تخصیص ماده خشک است (Farooq et al., 2009). بر اساس گزارش راستی و همکاران (Rasti et al., 2012) تنش خشکی عملکرد و اجزای عملکرد بالنگو شیرازی را کاهش داد. دلایلی که تنش‌های محیطی ازجمله خشکی رشد و توانایی فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهند، اختلال در تعادل بین تولید و حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که منجر به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و القای تنش اکسیداتیو، خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی می‌شود (Fu & Huang, 2001). یکی از مکانیزم‌های دفاعی در مقابل تنش‌های گوناگون، تولید ترکیب‌های آنتی‌اکسیدان است. در واقع، گیاهان با افزایش گونه‌های اکسیژن فعال از طریق آنزیم‌ها و مولکول‌های آنتی‌اکسیدان، از خود محافظت می‌کنند (Yildiz Aktas et al., 2007). مطالعات نشان داده‌اند که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با مقاومت گیاه به تنش‌های غیرزنده همبستگی دارد (Ebrahimi et al., 2017). افزایش فعالیت آنتی-اکسیدانی گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) در شرایط تنش خشکی باعث کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی افزایش‌یافته و منجر به بهبود عملکرد شد (Ebrahimi et al., 2017). با توجه به محدودیت آبی در بیشتر مناطق کشور و نیز اهمّیت گیاه دارویی بالنگو، هدف از انجام این آزمایش ارزیابی اثر خشکی بر خصوصیات مرفولوژیک، اجزای عملکرد، درصد و عملکرد موسیلاژ، محتوای پروتئین و آنزیم کاتالاز جمعیت‌های گیاه دارویی بالنگو، توسعه جمعیت‌های متحمل این گیاه دارویی برای مناطق خشک و نیمه‌خشک است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی گیاهان دارویی دانشگاه شاهد طی سال زراعی 94-1393 انجام شد. مزرعه پژوهشی دارای طول جغرافیایی 51 درجه و هشت دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی 35 درجه و 34 دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا 1190 متر، میانگین بارندگی 216 میلی‌متر و میانگین دما 17/1 درجه سانتی‌گراد بود. مشخصات خاک مزرعه تحقیقاتی و آب و هوای منطقه در جدول یک و دو نشان داده شده است. این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده و 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 (متوسط پتانسیل رطوبت خاک در حد 0/5- اتمسفر به‌عنوان شاهد (FC)، پتانسیل رطوبت خاک حدود 6/5- اتمسفر به عنوان تنش ملایم، پتانسیل رطوبت خاک حدود 9/5- اتمسفر به‌عنوان تنش نسبتاً شدید) و پنج جمعیت‌های بالنگو شامل چهار جمعیت از استان اصفهان (اصفهان 3 (نائین)، اصفهان 5 (اردستان)، اصفهان 6 (نجف آباد) و اصفهان 7 (خوانسار)) و یک جمعیت از استان کردستان (سنندج) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. برای انتخاب بذرهای بالنگو، ابتدا توده‌های بومی (وحشی) هر منطقه جمع‌آوری و طی چند سال کشت شدند. بذر جمعیت‌های بالنگو استان‌های اصفهان (شهرهای نائین، اردستان، نجف آباد و خوانسار) و کردستان (شهر سنندج) برای کشت در این مطالعه انتخاب شدند (جدول 3). این پژوهش قسمتی از یک طرح ملی با شماره 9000335 می‌باشد. در نیمه دوم اسفندماه 1393، در کرت‌هایی به مساحت نه مترمربع، با آرایش کاشت 5×30، جمعیت‌های گیاه بالنگو

به‌طور هم‌زمان کشت شدند. فاصله هر کرت با کرت مجاور یک متر در نظر گرفته شد. فاصله ردیف‌ها 30 سانتی‌متر و بذرها در شیارهای به عمق 1/5-1 سانتی‌متر در 10 ردیف در هر کرت کشت شدند و روی بذرها تا ارتفاع سه سانتی‌متر با خاک سبک یا ماسه‌بادی پوشانده شدند. سطوح تنش در مرحله گلدهی اعمال شدند. به منظور اعمال تنش خشکی دستگاه اکوتانسیومتر به مدت دو ماه قبل از اعمال تنش در منطقه ریشه در خاک قرار گرفت. پس از نصب دستگاه، خاک به طور کامل اشباع شده و روند تغییرات مکش خاک (و محتوای رطوبت خاک) تا پایان اعمال تنش‌ها هر یک ساعت یکبار ثبت شد. هر ماه داده‌ها از حسگر دستگاه به رایانه منتقل و قرائت می‌شد. بعد از تجزیه و تحلیل اطلاعات نموداری به صورت زمان و پتانسیل رطوبت رسم شد. بر اساس قرائت داده‌های میکروپروسسور و تجزیه تحلیل داده‌ها توسط رایانه و رسیدن به پتانسیل آبی مورد نظر زمان اعمال تنش مشخص شد. پس از محاسبه پتانسیل‌های رطوبتی خاک، اعمال سطوح تنش بعد از مرحله گلدهی به روش آبیاری نشتی (جوی و پشته‌ای) در زمان‌های 3، 11 و 20 روز به ترتیب برای پتانسیل‌های رطوبتی 0/5-، 6/5- و 9/5- اتمسفر انجام شد.

به منظور بررسی صفات مورفولوژیک، 7 بوته از هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه انتخاب شد. برای تعیین عملکرد دانه تک بوته و محاسبه اجزای آن، حدود چهار مترمربع از هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک برداشت شد. ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد شاخه فرعی، وزن‌تر بوته، وزن خشک بوته، اجزای عملکرد، درصد موسیلاژ، عملکرد موسیلاژ، محتوای پروتئین و آنزیم کاتالاز صفات مورد مطالعه بودند. ارتفاع بوته و طول ریشه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز، نمونه‌گیری قبل از اعمال آخرین دور تنش انجام گرفت. از هر کرت با در نظر گرفتن اثرات حاشیه حدود دو گرم برگ برداشت شد. در 7 تیر 1394 برداشت صورت گرفت.

درصد و عملکرد موسیلاژ: جهت اندازه‌گیری موسیلاژ، 5 گرم دانه بالنگو با 100 میلی‌لیتر آب جوش اسیدی (pH=5) به مدت 45 دقیقه در حمام آب گرم قرار داده و پس از صاف کردن تبخیر نموده تا به حجم 50 میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس 150 میلی‌لیتر اتانول 96 درصد به تدریج به آن اضافه و به مدت 24 ساعت در یخچال قرار داده شد تا موسیلاژها رسوب کنند. پس از آن موسیلاژها بوسیله کاغذ صافی جدا و به مدت 24 ساعت در دمای اتاق خشک گردند، سپس میزان موسیلاژ با توجه به تفاوت وزن کاغذ صافی قبل از صاف کردن و بعد از خشک شدن محاسبه شد. عملکرد موسیلاژ طبق معادله 1 محاسبه و بر حسب گرم موسیلاژ در کیلوگرم بیان شد (Ghasemi Dehkordi, 2002).

معادله (1) (عملکرد دانه × درصد موسیلاژ) = عملکرد موسیلاژ

سنجش میزان پروتئین: میزان پروتئین محلول گیاهچه به روش برادفورد (Bradford, 1976) اندازه‌گیری شد. برای تهیه محلول برادفورد: 25 میلی‌گرم از کوماسی بریلیانت بلو در 12/5 میلی-لیتر اتانول ٪95 حل شد. 25 میلی‌لیتر اسید اتوفسفریک 88٪ غلیظ به آن اضافه گردید. سپس 12 ساعت روی شیکر قرار داده شد و حجم نهایی آن را با آب مقطر به 250سی‌سی رسانده و بعد از کاغذ صافی عبور داده شد. غلظت پروتئین (جذب 595 نانومتر) بر حسب میکروگرم بر گرم بافت تازه با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به روش اِبی (Aebi, 1984) انجام گرفت. فسفات پتاسیم 0/5 مولار با pH=7 (که شامل KH_2PO_4 0/5 مولار در 100 سی‌سی تهیه شد و K_2HPO_4 0/5 مولار در 100 سی‌سی آب مقطر تهیه شد) 30 سی-سی از فسفات پتاسیم با pH=7 به حجم 300 سی‌سی رسید. تجزیه H_2O_2با کاهش جذب در طول موج 240 نانومتر دنبال گردید و به ازای هر میکروگرم پروتئین در عصاره آنزیمی بیان شد.

اطلاعات حاصل، از طریق برنامه آماری SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و میانگین‌ها از طریق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

شناسایی زمان بحرانی و زمان‌بندی بر مبنای یک برنامه دقیق و اساسی برای گیاه، کلید نگهداری آب و بهبود عملیات آبیاری و قابلیت تحمل گیاه به کمبود آب در کشاورزی است (Ngouajio et al., 2007). با توجه به نتایج به‌دست آمده خشکی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد داشت. جمعیت و اثر متقابل خشکی و جمعیت بر ارتفاع بوته غیرمعنی‌دار شد (جدول 4).

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil of Research Farm

بافت Texture	درصد اجزا Components percent			کربن آلی O.C (%)	اسیدیته pH	شوری EC ($ds.m^{-1}$)	N (%)	P ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)
	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)						
لوم Loam	20	36	44	0.57	7.71	1.2	0.05	7.6	270

جدول 2- آمار هواشناسی ماهانه منطقه موردمطالعه

Table 2- Monthly weather statistics in the study area

	ماه‌های سال 94-1393 Months 2014-2015											
	دی Jan.	بهمن Feb.	اسفند March.	فروردین April.	اردیبهشت May.	خرداد June.	تیر July.	مرداد Aug.	شهریور Sept.	مهر Oct.	آبان Nov.	آذر Dec.
بیشینه دما Maximum temperature (°C)	17	9.18	24.2	31.4	35.4	14.4	44	43	37.8	34.4	18.8	16.8
کمینه دما Minimum temperature (°C)	-5.6	-11	0.5	0	13.8	15.4	19	19	15.8	5.4	-0.2	-2.9
میانگین دما Average temperature (°C)	4.6	4.6	12.2	18.3	24.6	29.2	32	31	27	17.3	8.9	6.2
مجموع بارش ماهانه Monthly rainfall total (mm)	2.5	10.5	14.8	6	9.1	2.3	0.8	0	0	7.4	15.2	8.4

جدول 3- مشخصات رویشگاهی مناطق جمع‌آوری نمونه های گیاهی

Table 3- Profile habitat areas collected plant samples

منطقه Area	طول جغرافیایی Geographic time (Degree-Minute)	عرض جغرافیایی Jaggelight (Degree-minute)	آب و هوا Climate	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation from the Sea (m)
نائین (اصفهان 3) Naein (Esfehan 3)	53 04	32 51	نیمه‌خشک با تابستان گرم Semi-dry hot summer	1400
اردستان (اصفهان 5) Ardestan (Esfehan 5)	52 36	33 37	نیمه‌خشک با تابستان گرم Semi-dry hot summer	1238
نجف آباد (اصفهان 6) Najaf Abad (Esfehan 6)	51 24	32 38	نیمه‌خشک زمستان نسبتاً سرد Semi-dry cold winter	1650
خوانسار (اصفهان 7) Khansar (Esfehan 7)	50 21	33 10	آب و هوا مدیترانه‌ای با زمستان سرد Mediterranean climate with cold winters	2848
کردستان (سنندج) Kordestan (Sanandaj)	46 99	35 31	آب و هوای سرد و نیمه‌خشک Cold weather and dry	1538

بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع بوته در شاهد 0/5- اتمسفر (40/7 سانتی‌متر) میزان ارتفاع بوته مربوط به تیمار تنش نسبتاً شدید 9/5- اتمسفر (25/9 سانتی‌متر) بود (جدول 5). به‌طور کلی، در دسترس بودن آب از طریق افزایش میانگره‌ها و تعداد گره‌ها ارتفاع گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بین طولانی شدن دوره خشکی و کاهش ارتفاع بوته همبستگی وجود دارد (Sabaghpour, 2007) و با کاهش آبیاری در مراحل مختلف رشد، ارتفاع گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) کاهش می‌یابد (Koocheki et al., 2007).

اسکندری و همکاران (Eskandari et al., 2011) نیز گزارش کردند که با افزایش شدت کمبود آب ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته کنجد کاهش می‌یابد.

جدول 4- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه جمعیت‌های بالنگو تحت تنش خشکی

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) Balangu populations different under stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	طول ریشه Root length	تعداد چرخه گل در بوته Rotation number of flowers per plant	تعداد فندقه در هر چرخه گل Number of nut goal in each cycle	تعداد دانه در هر چرخه گل Number of seeds per flower cycle	تعدادشاخه‌های فرعی Number of tributaries
تکرار Replication	2	242.56	17.39	137.22	23.75	3.18	39.26
خشکی Drought	2	833.06**	53.11**	2714.42**	0.56ns	266.62**	178.46**
خطای اصلی The main error	4	54.95	0.34	0.32	0.44	0.65	37.83
جمعیت Population	4	29.08ns	43.72**	219.3**	9.88**	14.02**	11.85ns
خشکی× جمعیت Drought× population	8	24.37ns	4.25**	356.7**	1.15**	4.89**	17.77ns
تکرار× جمعیت Replication× population	8	22.32	0.16	1.4	0.35	0.15	11.07
خطا Error	24	11.69	0.06	0.98	0.16	0.09	3.99
ضریب تغییرات CV(%)		10.67	3.9	1.93	8.5	1.7	16.58

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1%

ns, * and **: significant and non-significant 5% and 1%, respectively.

جدول 5- مقایسه میانگین خصوصیات مورد مطالعه تحت تنش خشکی جمعیت‌های بالنگو

Table 5- Mean comparisons for the average characteristics of the case under drought stress of Balangu population

سطوح خشکی Drought levels	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعدادشاخه‌های فرعی The number of tributaries	وزن تر تک بوته Plant fresh weight (g)	وزن خشک تک بوته Plant dry weight (g)
شاهد (0/5- اتمسفر) Control (-0.5 atm)	40.68a*	14.33a	44.47a	11.45a
تنش ملایم (6/5- اتمسفر) Mild stress (-6.5 atm)	31.64b	9.6ab	28.51ab	7.2ab
تنش نسبتاً شدید (9/5- اتمسفر Severe stress (-9.5 atm)	25.9b	7.6b	17.02b	4.13b

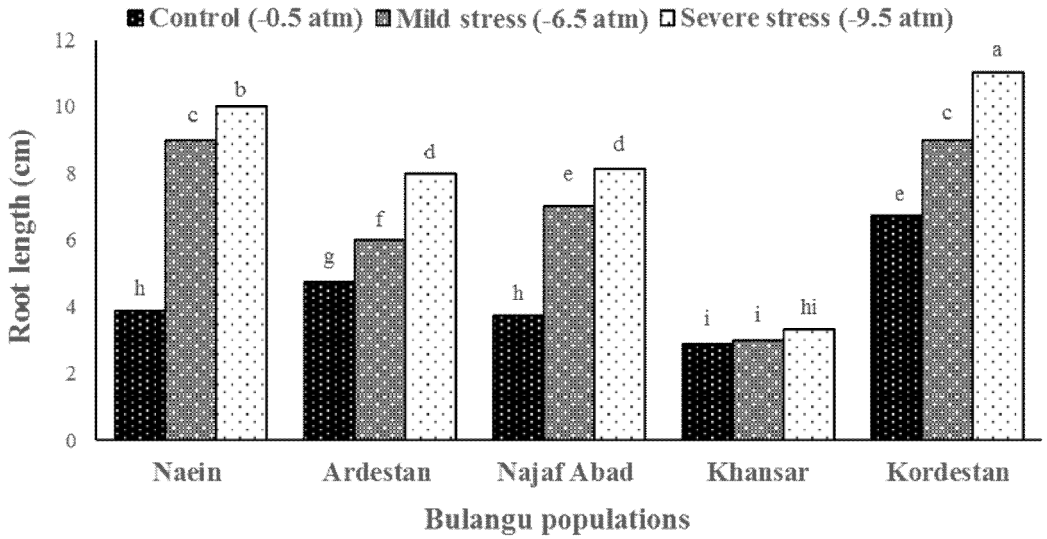
*میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد هستند.

*Means with the same letters in each column are no differences according to Duncan test at 5%.

طول ریشه

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی خشکی، جمعیت و اثر متقابل خشکی و جمعیت بر صفت طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول 4). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که هرچه سطوح تنش از شاهد به 9/5- اتمسفر بیشتر شد، طول ریشه افزایش یافت. در پتانسیل رطوبت 9/5- اتمسفر طول ریشه به 8/08 سانتی‌متر رسید (جدول 5). نتایج اثر متقابل نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین طول ریشه به ترتیب در پتانسیل رطوبت 9/5- اتمسفر مربوط به جمعیت کردستان با 11 سانتی‌متر و جمعیت خوانسار در ظرفیت زراعی با 2/9 سانتی‌متر می‌باشد (شکل 1). عمق ریشه و

توانایی جذب مداوم آب، از مهم‌ترین فاکتورها در شرایط دیم می‌باشد. بسیاری از محققان گزارش کردند که در اثر تنش کم‌آبی طول ریشه افزایش می‌یابد (Asch et al., 2005; Kargar et al., 2005).



شکل 1- اثر متقابل خشکی و جمعیت‌های بالنگو بر طول ریشه

میانگین‌ها با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Fig. 1- Mean comparisons of drought and Balangu population interaction of root length

Means with the same letters are no differences according to Duncan test at 5%.

تعداد شاخه‌های جانبی

تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه‌های جانبی در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول 4). جمعیت و اثر برهمکنش آن بر این صفت غیرمعنی‌دار شد. مقایسه میانگین خشکی نشان داد که بیش‌ترین تعداد شاخه‌های جانبی مربوط به شاهد با 14/33 عدد و کم‌ترین آن مربوط به تنش نسبتاً شدید با 7/6 عدد بود (جدول 5). با افزایش شدت تنش خشکی از رشد رویشی کاسته می‌شود و استراتژی گیاه این است که با حداقل رشد رویشی در برابر تنش از خود مقاومت نشان دهد و سریع دوره رشد خود را به اتمام برساند و تعداد شاخه‌های جانبی را کاهش دهد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2007) گزارش کرده‌اند که با افزایش فواصل آبیاری تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) کاهش یافت.

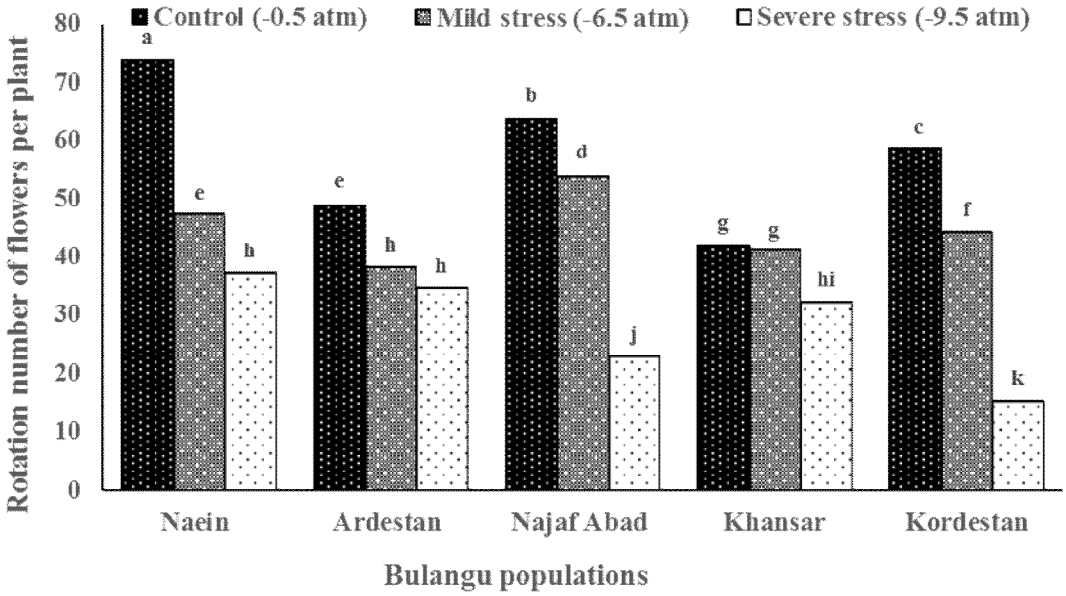
وزن تر و خشک تک بوته

خشکی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک تک بوته در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول 4). جمعیت و اثر متقابل آن بر وزن تر و خشک تک بوته غیرمعنی‌دار بود. بیش‌ترین وزن‌تر و خشک تک بوته به ترتیب (44/47 گرم) و (11/45 گرم) در تیمار پتانسیل رطوبت 0/5- اتمسفر و کم‌ترین به ترتیب (17/02 گرم) و (4/13 گرم) مربوط به پتانسیل رطوبت 9/5- اتمسفر بود (جدول 5). لذا به نظر می‌رسد در تیمارهایی که آب کافی دریافت کرده‌اند به دلیل رشد بهتر اندام‌های هوایی و تأمین سطح فتوسنتزی کارآمد، تولید ماده خشک به نحو مطلوبی صورت گرفته است. به‌طوری‌که ماده خشک تولیدی بین اعضای مختلف گیاه توزیع گردیده و تعیین‌کننده میزان عملکرد اقتصادی می‌باشد. پتروپلوس و همکاران (Petropoulos et al., 2008) گزارش کردند که افزایش سطح تنش آبی سبب کاهش وزن تر برگ، تعداد برگ و شاخه‌های جانبی جعفری شد. بتائی و همکاران (Bettaieb et al., 2009) بیان داشتند که تنش خشکی سبب نازک‌تر و خشک‌تر شدن ساقه‌های گیاه مریم گلی شد و هم‌چنین مشاهده کردند که برگ‌های گیاه تنش دیده نسبت به شاهد کوچک‌تر بودند.

اجزای عملکرد

تعداد چرخه گل در بوته

خشکی، جمعیت و اثر برهمکنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر تعداد چرخه گل در بوته در سطح احتمال یک درصد داشتند. همچنین، خشکی بر صفت تعداد فندقه در هر چرخه گل غیرمعنی‌دار و جمعیت و اثر متقابل آن در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول 6). با افزایش خشکی تعداد چرخه گل در پتانسیل رطوبت 9/5- اتمسفر نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد (جدول 5). تنش خشکی به دلیل کاهش آب در خاک و فعال نمودن فرآیندهای مختلف در گیاه که با صرف انرژی همراه می‌باشد، روی صفات کمّی و کیفی گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) تأثیر گذاشت (Jafarzadeh et al., 2014). جمعیت نائین با تعداد 51/8 دارای بیش‌ترین تعداد چرخه گل و جمعیت کردستان کم‌ترین تعداد چرخه گل در بوته (39/46 عدد) را داشت. در بین جمعیت‌ها کردستان با میانگین 5/6 فندقه در هر چرخه و جمعیت خوانسار با میانگین سه فندقه در هر چرخه به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین فندقه را دارند (جدول 5).



شکل 2- اثر متقابل خشکی و جمعیت‌های بالنگو بر تعداد چرخه گل در هر بوته

میانگین‌ها با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد هستند.

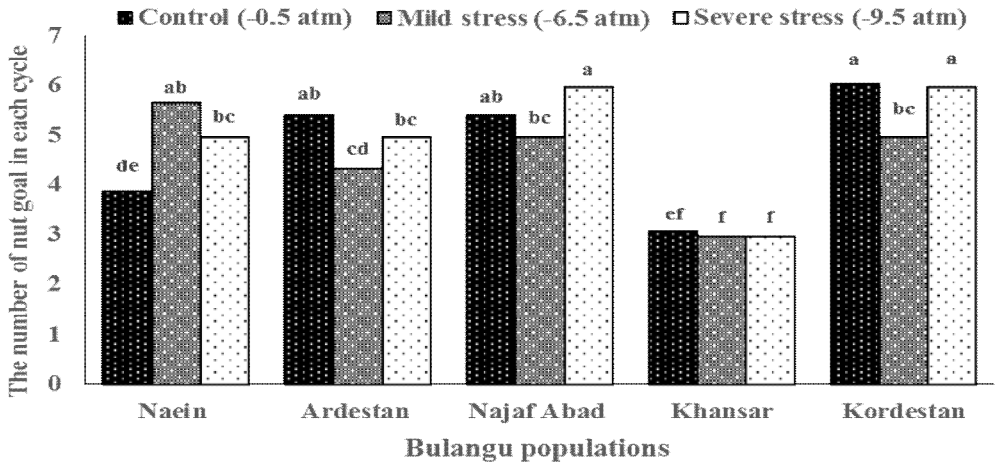
Fig. 2- Mean comparison of drought and Balangu population interaction of rotation number of flowers per plant of

.Means with the same letters are no differences according to Duncan test at 5%

به‌نظر می‌رسد با افزایش شدت تنش آبی و به‌موازات آن با کاهش رشد سبزینه‌ای گیاه، از اندام‌های زایشی گیاه کمتر حمایت می‌شود. گزارش شده است که با افزایش تنش خشکی در اکوتیپ‌های بالنگو تعداد چرخه گل در بوته در انشعاب اصلی و فرعی روند کاهشی داشت (Abdolahi et al., 2013). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت، جمعیت نائین در پتانسیل رطوبت ظرفیت زراعی و جمعیت کردستان در تنش نسبتاً شدید به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد چرخه گل در بوته بودند (شکل 2). جمعیت کردستان در عدم تنش خشکی با میانگین تعداد 6 فندقه در هر چرخه گل بیش‌ترین و جمعیت خوانسار در پتانسیل رطوبت‌های 9/5- و 6/5- اتمسفر با میانگین 2/9 کم‌ترین فندقه را داشتند (شکل 3).

تعداد فندقه و تعداد دانه در هر چرخه گل می‌تواند تعیین‌کننده مقدار عملکرد گیاه باشد. اثر خشکی، جمعیت بر تعداد دانه در هر چرخه گل در سطح یک درصد معنی‌دار و اثر متقابل بر این صفت غیرمعنی‌دار بود (جدول 6). در نتایج مقایسه میانگین، با افزایش خشکی تعداد دانه در هر چرخه گل کاهش یافت. با توجه به شکل 4،

بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد دانه در هر چرخه گل به ترتیب مربوط بـه جمعیت‌های نجف آباد و کردستان با میـانگین تعـداد دانـه 23/33 و 13/33 در تنش 9/5- اتمسفر مشاهده شد. با افزایش خشکی، کاهش تعداد دانه در طبـــق در همیشـه بهـــار (Rahmani et al., 2008)، کاهش تعـداد کپسـول در بوتـه (Dutta et al., 2000) و تعـداد دانـه در کنجـد (Rezvani Moghaddam et al., 2006) نیـز گـــزارش شده‌است.

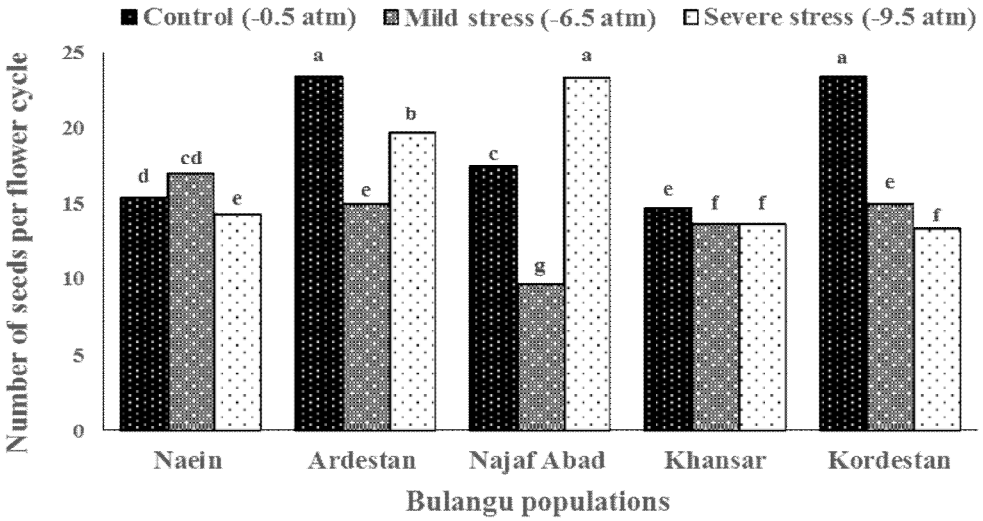


شکل 3- اثر متقابل خشکی و جمعیت های بالنگو بر تعداد فندقه در هر چرخه گل

میانگین‌ها با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن سطح احتمال پنج درصد هستند.

Fig. 3- Mean comparison of drought and population of Balangu interaction of nut per flower cycle

Means with the same letters are no differences according to Duncan test at 5%.



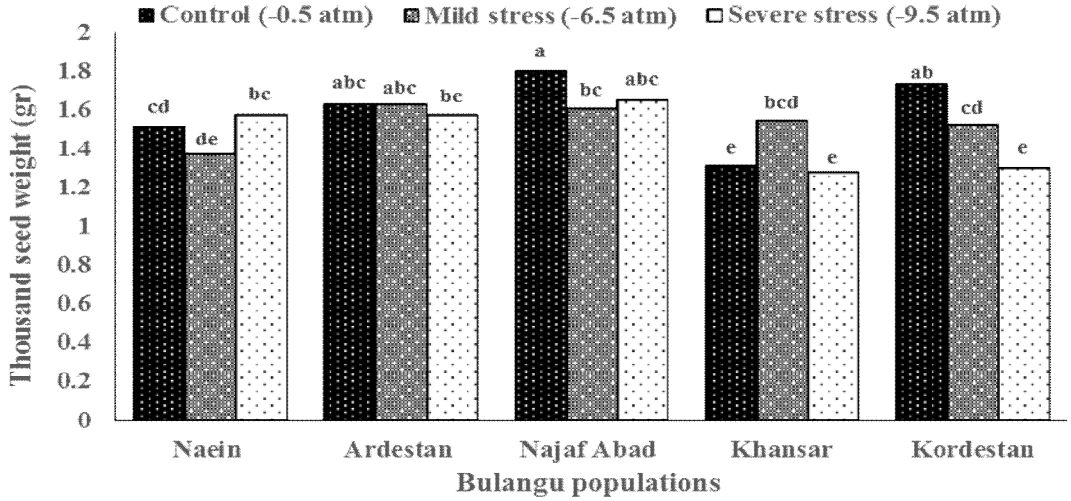
شکل 4- اثر متقابل خشکی و جمعیت‌های بالنگو بر تعداد دانه در هر چرخه گل

میانگین‌ها با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Fig. 4- Mean comparison of drought and population of Balangu interaction of seeds per flower cycle

Means with the same letters are no differences according to Duncan test at 5%.

سطوح مختلف خشکی، جمعیت و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول 6). نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش خشکی وزن هزار دانه کاهش پیدا کرد. با افزایش خشکی، کاهش تعداد وزن هزار دانه در همیشه‌بهار و رازیانه گزارش شده است (Rahmani et al., 2008). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین وزن هزار دانه به ترتیب مربوط به جمعیت‌های کردستان با (1/51 گرم) و خوانسار با (1/48 گرم) در کیلوگرم می‌باشد، ولی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند. در اثر بر همکنش خشکی و جمعیت بیش‌ترین وزن هزار دانه 1/8 گرم مربوط به جمعیت نجف آباد در عدم تنش 0/5- اتمسفر و کم‌ترین وزن هزار دانه 1/27 گرم در کیلوگرم مربوط به جمعیت خوانسار در تنش نسبتاً شدید 9/5- اتمسفر بود (شکل 5). از آنجا که وزن هزار دانه در مرحله پر شدن دانه تعیین می‌شود و عوامل نامساعد محیطی از جمله محدودیت آبی در این مرحله مستقیماً وزن هزار دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین با کاهش وزن هزار دانه در شرایط خشکی در دوره پر شدن دانه (تنش شدید) درصد موسیلاژ افزایش و عملکرد موسیلاژ کاهش می‌یابد (Rahimi et al., 2013).



شکل 5- اثر متقابل خشکی و جمعیت بالنگو بر وزن هزار دانه

میانگین‌ها با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Fig. 5- Mean comparison of drought and population of Balangu interaction of 1000- seed weight

Means with the same letters are no differences according to Duncan test at 5%.

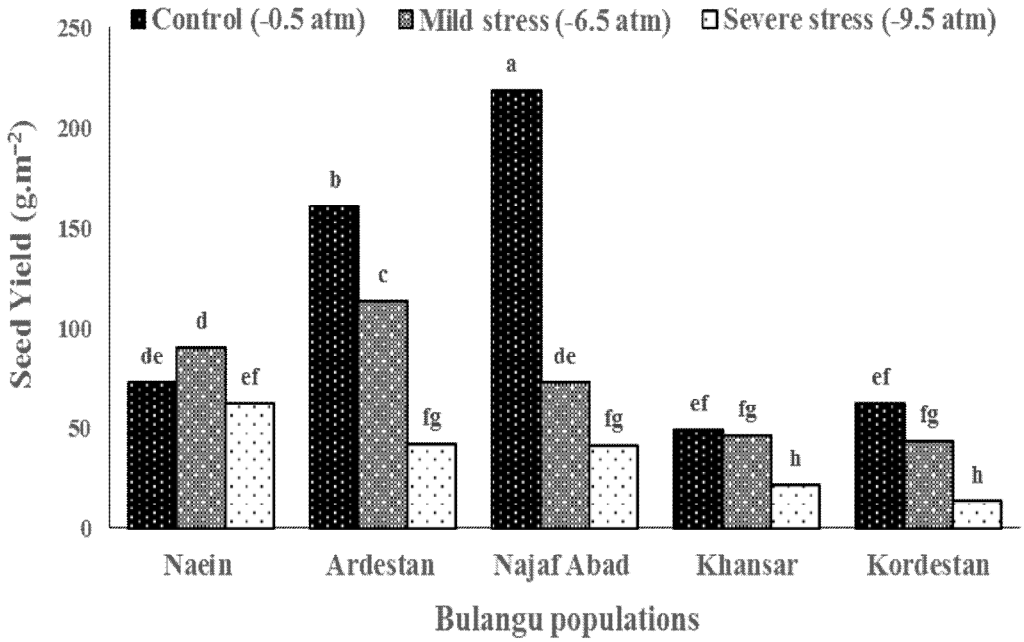
عملکرد دانه

خشکی، جمعیت و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول 6). با افزایش خشکی، عملکرد دانه نسبت به شاهد کاهش نشان داد. بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به سطوح تنش شاهد (113/04 گرم) و تنش شدید (36/22 گرم) بر کیلوگرم است (جدول 5). جمعیت‌های نجف آباد و خوانسار به ترتیب دارای بیش‌ترین (111/03 گرم) و کم‌ترین (39/17 گرم) میانگین عملکرد دانه در کیلوگرم بودند. بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به جمعیت نجف آباد با تولید (219/16 گرم) در پتانسیل رطوبت 0/5- اتمسفر، بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه در پتانسیل رطوبت 9/5- اتمسفر به ترتیب مربوط به جمعیت‌های اردستان با میانگین تولید (65/55 گرم) و کردستان (13/52 گرم) بر کیلوگرم بود (شکل 6). کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه و رسیدگی زودتر تیمارهای تحت تنش خشکی می‌توان در کاهش عملکرد دانه مؤثر باشد. نتایج حاصل از پژوهش‌های راستی و همکاران (Rasti et al., 2012) و پیرجلیلی و امیدی (Pirjalili & Omidi, 2017) در گیاه دارویی بالنگو شیرازی نیز مؤید نتایج ما می‌باشد. این پژوهشگران گزارش کردند که کاهش معنی‌دار عملکرد دانه تحت تنش خشکی

می‌تواند از کاهش درصد سبز زمین هنگام گلدهی، پایین بودن دوره مؤثر پر شدن دانه‌ها و در نتیجه کاهش تعداد چرخه گل در بوته و وزن هزار دانه بر اثر کمبود آب ناشی گردد.

درصد موسیلاژ

خشکی تأثیر معنی‌داری بر درصد موسیلاژ دارد ($p<0/05$)، جمعیت و اثر متقابل آن بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول 6). در تنش نسبتاً شدید درصد موسیلاژ دانه افزایش پیدا کرد، ولی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین سطوح تنش خشکی مشاهده نشد. بیش‌ترین میزان درصد موسیلاژ دانه مربوط به تنش ملایم با 5/92 درصد بود. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد موسیلاژ به ترتیب مربوط به جمعیت‌های اردستان با (7/1 درصد) و نائین با (4/6 درصد) است. نتایج مقایسه میانگین ترکیب تیماری خشکی و جمعیت نشان داد که جمعیت‌های اردستان و نائین در تنش ملایم به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین درصد موسیلاژ را دارند (شکل 7).تولید متابولیت‌های ثانویه در شرایط تنش بیش‌تر می‌شود و تولید موسیلاژ هم مکانیزمی در برابر تنش خشکی می‌باشد (Douglas, 2002).

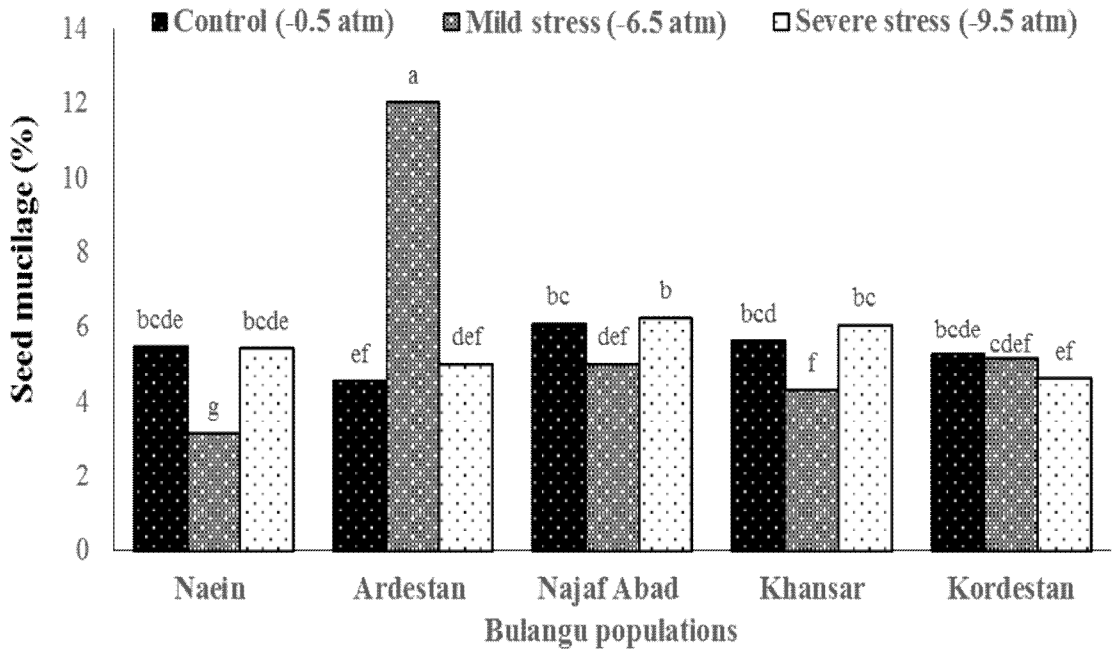


شکل 6- اثر متقابل خشکی و جمعیت‌های بالنگو بر عملکرد دانه

میانگین‌ها با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Fig. 6- Mean comparison of drought and populations of Balangu interaction of seed yield per plant

Means with the same letters are no differences according to Duncan test at 5%.



شکل 7- اثر متقابل خشکی و جمعیت‌های بالنگو بر درصد موسیلاژ

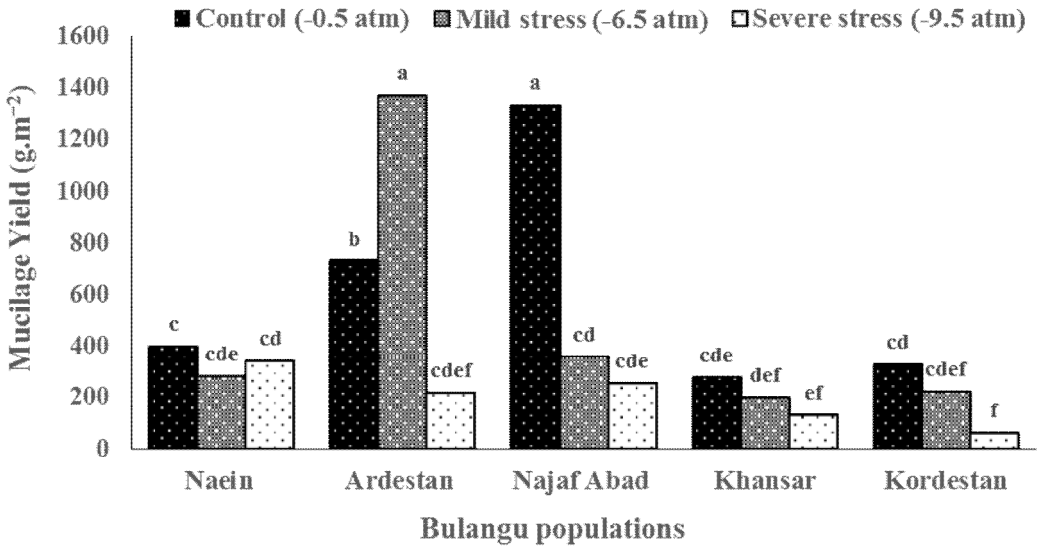
میانگین‌ها با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Fig. 7- Mean comparison of drought and populationsof Balangu interaction of for mucilage percent

Means with the same letters are no differences according to Duncan test at 5%.

عملکرد موسیلاژ

همان‌گونه که در جدول 6 مشاهده می‌شود، عملکرد موسیلاژ تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی و جمعیت قرار گرفت ($P\leq0/01$). بیش‌ترین عملکرد موسیلاژ در شرایط تنش نسبتاً شدید در جمعیت اردستان بدست آمد. در شرایط عدم تنش خشکی جمعیت نجف آباد و هم‌چنین در تنش نسبتاً شدید جمعیت نائین دارای بیش‌ترین عملکرد موسیلاژ دانه بودند (شکل 8). در بین جمعیت‌های مورد پژوهش، جمعیت کردستان در شرایط تنش شدید دارای کم‌ترین مقدار عملکرد موسیلاژ بود. تولید موسیلاژ در گیاه مکانیزمی در برابر تنش خشکی می‌باشد، در شرایط تنش خشکی کاهش میزان موسیلاژ دانه در جمعیت‌های بالنگو مشاهده شد در این بین جمعیت مشهد دارای کم-ترین مقدار بود (Pirjalili & Omidi., 2017). با توجه به اینکه عملکرد موسیلاژ حاصل ضرب مقدار موسیلاژ در عملکرد دانه می-باشد به طبع این صفت تحت تأثیر عملکرد دانه تغییر می‌کند.



شکل 8- اثر متقابل خشکی و جمعیت بالنگو بر عملکرد موسیلاژ

میانگین‌ها با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Fig. 8- Mean comparison of drought and population of Balangu interaction of for mucilage yield

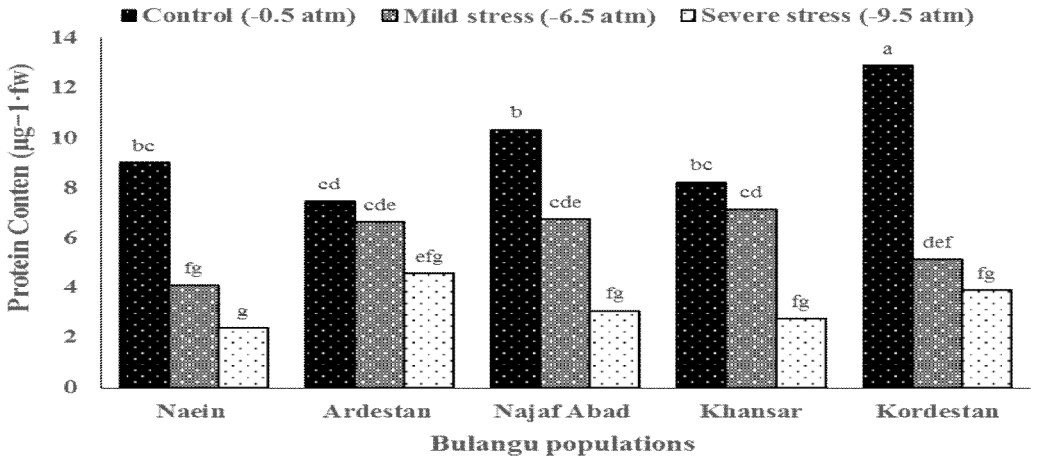
Means with the same letters are no differences according to Duncan test at 5%.

محتوای پروتئین

تیمارهای تنش خشکی، جمعیت و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر محتوای پروتئین محلول برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول 6). طبق شکل 9، سطوح تنش خشکی باعث کاهش محتوای پروتئین محلول برگ جمعیت‌های بالنگوی شیرازی شد. در این بین جمعیت کردستان در عدم تنش خشکی و جمعیت نائین در تنش شدید به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار بودند. کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی در نتیجه واکنش پروتئین با رادیکال آزاد و در نتیجه تغییر اسید آمینه آزاد از جمله پرولین، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین و کاهش سنتز پروتئین مرتبط است (Ranjan et al., 2001).

فعالیت آنزیم کاتالاز

خشکی یکی از عوامل مؤثر در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش خشکی، جمعیت و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم کاتالاز داشت (جدول 6). در بین جمعیت‌های بالنگو جمعیت نائین با 2/81 تغییرات جذب به میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بیش‌ترین میزان فعالیت این آنزیم را نشان داد. در تنش نسبتاً شدید جمعیت نائین بیش‌ترین و جمعیت نجف آباد کم‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز را داشتند که می‌توان به نقش ژنتیک در پاسخ‌های متفاوت در بین جمعیت‌ها اشاره کرد (شکل 10). گیاهان برای کاهش دادن اثرات مخرب گونه‌ها یا اکسیژن فعالساز و کارهای متفاوتی دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به سیستم دفاع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اشاره کرد. آنزیم کاتالاز از مؤثرترین آنزیم آنتی‌اکسیدانی در گیاه می‌باشد (Anders & Huber, 2010). آنزیم کاتالاز به شرایط تنش بسیار حساس می‌باشد و از آن می‌توان به صورت یک نشانگر اعمال تنش استفاده کرد. افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تنش خشکی در گیاه دارویی شاهدانه نیز گزارش شده است (Ghorbanli et al., 2011). که با نتایج حاصل از این پژوهش نیز مطابقت دارد.

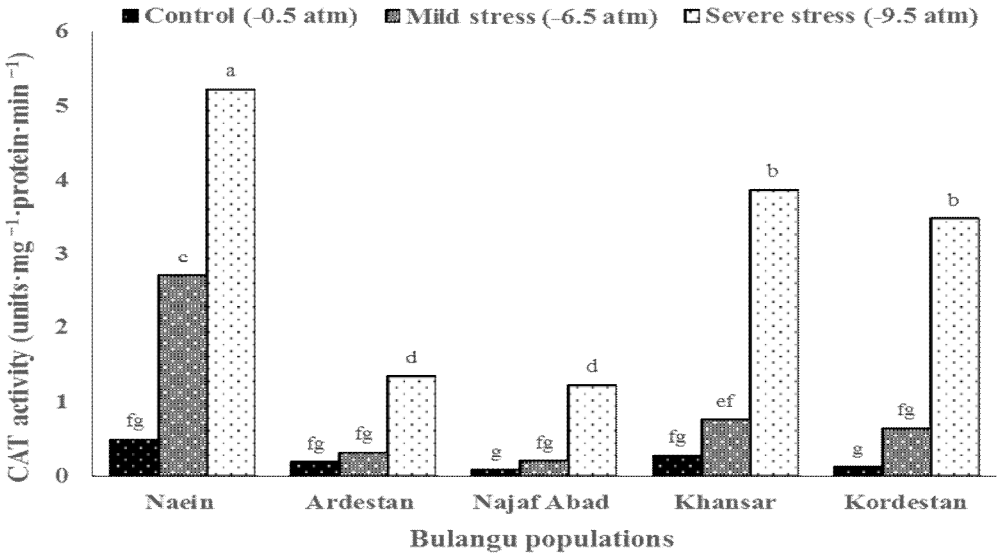


شکل 9- اثر متقابل خشکی و جمعیت بالنگو بر محتوای پروتئین

میانگین‌ها با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Fig. 9- Mean comparison of drought and population of Balangu interaction of Protein Content

Means with the same letters are no differences according to Duncan test at 5%.



شکل 10- اثر متقابل خشکی و جمعیت بالنگو بر فعالیت آنزیم کاتالاز

میانگین‌ها با حروف مشابه فاقد تفاوت آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Fig. 10- Mean comparison of drought and population of Balangu interaction of catalase enzyme activity

Means with the same letters are no differences according to Duncan test at 5%.

همبستگی پیرسون

نتایج همبستگی پیرسون بین صفات مورد مطالعه با عملکرد دانه نشان داد که بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته (r= 0/580*)، عملکرد موسیلاژ (r= 0/567**)، وزن هزار دانه (r= 0/514**)،تعداد فندقه در هر چرخه گل (r= 0/496**)، محتوای پروتئین (r= 0/492**)، وزن تر بوته (r= 0/360*)، وزن خشک بوته (r= 0/337*) و طول ریشه (r= 0/324**) همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد و با تعداد چرخه گل در بوته (r= -0/299*) همبستگی منفی و معنی‌داری دارد. هم‌چنین عملکرد دانه با تعداد دانه در هر چرخه گل، تعداد شاخه‌های فرعی و درصد موسیلاژ غیرمعنی‌دار شد (جدول 7).

جدول 7- ضرایب همبستگی پیرسون صفات مورد مطالعه در جمعیت‌های بالنگو تحت تنش خشکی

Table 7- Pearson correlation coefficient between Balangu traits in populations under drought stress

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1-ارتفاع بوته 1- Plant height	1												
2-طول ریشه 2- Root length	0.668^{ns}	1											
3-تعداد چرخه گل در بوته 3- Rotation number of flowers per plant	-0.267^{ns}	-0.085^{ns}	1										
4-تعداد فندقه در هر چرخه گل 4- The number of nut in each cycle	0.704**	0.587**	-0.455**	1									
5-تعداد دانه در هر چرخه گل 5- Number of seeds per flower cycle	0.279^{ns}	0.303*	0.683**	-0.002^{ns}	1								
6-تعداد شاخه‌های فرعی 6- The number of tributaries	0.205^{ns}	0.150^{ns}	0.376*	-0.215^{ns}	0.657**	1							
7-وزن تر بوته 7- Plant fresh weight	0.716**	0.857**	-0.176^{ns}	0.689**	0.277^{ns}	0.096^{ns}	1						
8-وزن خشک تک بوته 8- Plant dry weight	0.796**	0.799**	-0.294*	0.627**	0.129^{ns}	0.021^{ns}	0.904**	1					
9-وزن هزار دانه 9- Weight of 1000 grain	0.312*	0.271^{ns}	-0.023^{ns}	0.334*	0.283^{ns}	0.217^{ns}	0.257^{ns}	0.169^{ns}	1				
10-عملکرد دانه 10- Seed yield	0.580**	0.324*	-0.299*	0.496**	0.176^{ns}	0.071^{ns}	0.360*	0.337*	0.514**	1			
11-درصد موسیلاژ 11- mucilage percent	0.078^{ns}	-0.157^{ns}	-0.084^{ns}	-0.126^{ns}	-0.131^{ns}	-0.038^{ns}	0.024^{ns}	0.057^{ns}	0.186^{ns}	0.221^{ns}	1		
12-عملکرد موسیلاژ 12- Mucilage yield	0.567**	-0.465**	0.639**	-0.045^{ns}	0.068^{ns}	0.533**	0.680**	0.727**	0.432**	0.424**	0.654**	1	
13-محتوای پروتئین 13- Protein content	0.492**	-0.278^{ns}	0.326*	0.089^{ns}	-0.022^{ns}	0.225^{ns}	0.206^{ns}	0.444**	0.852**	0.508**	0.073^{ns}	0.364*	1
14-فعالیت آنزیم کاتالاز 14- Catalase enzyme activity	0.168^{ns}	0.188^{ns}	0.065^{ns}	0.411**	0.435**	0.011^{ns}	0.151^{ns}	-0.057^{ns}	0.111^{ns}	0.233^{ns}	-0.248^{ns}	-0.635**	-0.472**

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1%

ns, * and **: significant and non-significant 5% and 1%, respectively

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث افزایش طول ریشه و آنزیم کاتالاز و همچنین کاهش دیگر صفات مورفولوژیک، اجزاء عملکرد دانه، درصد و عملکرد موسیلاژ و محتوای پروتئین گیاه دارویی بالنگو شد. در تنش نسبتاً شدید بیش‌ترین عملکرد دانه و عملکرد موسیلاژ مربوط به جمعیت نائین بود و در تنش ملایم جمعیت اردستان بیش‌ترین عملکرد دانه، درصد و عملکرد موسیلاژ را داشت. بنابراین با توجه به تنش اعمال شده معرفی جمعیت‌های با عملکردهای بالا در تنش‌های نسبتاً شدید می‌تواند راندمان مصرف آب و مدیریت آبیاری را در پی داشته باشد. با توجه به ضرورت تولید گیاهان دارویی در نظام‌های زراعی و لزوم توجه به کشت این گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک، در شرایط تنش شدید جمعیت نائین در شرایط اقلیمی مشابه توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مسئولین دانشکده علوم کشاورزی، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی علوم پایه و آزمایشگاه زراعت دانشگاه شاهد به دلیل فراهم کردن امکانات این تحقیق قدردانی می‌شود.

منابع

Abdolahi, M., Maleki Farahani, S., Fotokian, M.H., and Hasan Zade Ghorttapeh, A. 2013. Ecophysiological characteristics of balangu (*Lallemantia* sp) ecotypes under drought stress. Master Thesis of Agriculture, Faculty of Agriculture, Shahed University. (In Persian with English Summary)

Aebi, H. 1984. Catalase *in vitro*. Methods Enzymology 105:121–126.

Anders, S., and Huber, W. 2010. Differential expression analysis for sequence count data. Genome Biology 11(10): R106.

Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C., and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research 6 (9): 2026-2032.

Asch, F., Dingkuhn, M., Sow, A., and Audebert, A. 2005. Drought-induced changes in rooting patterns and assimilate partitioning between root and shoot in upland rice. Field Crops Research 93: 223-236.

Bettaieb, I., Zakhama, N., Aidi Wannes, W., Kchouk M.E., and Marzouk, B. 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. Scientia Horticulturae 120: 271-275.

Bradford, M. 1976. Arapid and sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annual Review of Biochemistry 72: 248- 254.

Demirevska, K., Zasheva, D., Dimitrov, R., Simova-Stoilova, L., Stamenova, M., and Feller, U. 2009. Drought stress effects on Rubisco in wheat: changes in the Rubisco large subunit. Acta Physiologiae Plantarum 31: 1129-1138.

Douglas, J.A., Follett, J.M., and Heaney, A.J. 2002. The effect of plant density on of valerian root. Acta Horticulture 426: 264-272.

Dutta, P. K., Bandyopadhyay, P., and Maity, D. 2000. Response of summer seasame (*Sesamum indicum*). Indian Journal of Agronomy 54: 631-636.

Ebrahimi, M., Zamani, G.R., and Alizadeh, Z. 2017. A study on the effects of water deficit on physiological and yield-related traits of pot marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 33 (3): 492-508. (In Persian with English Summary)

Eskandari, H.A., Zehtab Salmas, S., and Ghasemi Golezani, K. 2011. Evaluation of irrigation water use efficiency and yield of different varieties of sesame as a second crop. Journal of Sustainable Agriculture 20 (2): 51-39. (In Persian with English Summary)

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.

Fekri, N., Khayami, M., Heydari, R., and Javadi, M. 2008. Isolation and identification of monosaccharide of mucilage in Dragon's head by thin layer chromatography. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 24 (2): 207-216. (In Persian with English Summary)

Fischer, R.A., and Maurer, R. 1987. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29 (5): 897-912.

Fu, J., and Huang, B. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Environmental and Experimental Botany 45: 105-114.

Ghasemi Dehkordi, N. 2002. Iranian Herbal Pharmacopoeia Standards Committee, Herbal Pharmacopoeia Volume II, Tehran: Ministry of Health and Medical Education, Department of Food and Drugs 262-261. (In Persian with English Summary)

Ghorbanli, M., Bakhshi Khaniki, G.R., Salimi Elizei S., and Hedayati. M. 2011. Effect of water deficit and its interaction with ascorbate on proline, soluble sugars, catalase and glutathione peroxidase amounts in *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 26 (4): 466-476. (In Persian with English Summary)

Jafarzadeh, L., Omidi, H., and Bostani, A.A. 2014. Effect of drought stress V biological fertilizer on yield,

photosynthetic pigments and the proline content of calendula (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 4 (29): 60-52. (In Persian with English Summary)

Kargar, S. M.A., Ghanadha, M.R., Bozorgi pour, R., Khwaja Ahmad Attari, A.A., and Babaei, H.R. 2005. Evaluation of drought tolerance indices in some soybean genotypesIn Persian with English Summary under limited irrigation. Journal of Agricultural Science 35(1): 142-129. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nasiri Mahallati M., and Azizi, G. 2007. The effect of irrigation intervals and plant density on yield and two fennel landraces. Journal of agricultural Research 4 (1): 140- 131. (In Persian with English Summary)

Moghaddam, T.M., Razavi, S.M.A., and Emadzadeh, B. 2011. Rheological interactions between Lallemantia royleana seed extract and selected food hydrocolloids. Journal of the Science of Food and Agriculture 91: 1083-1088. (In Persian with English Summary)

Naghibi, F., Mosaddegh, M., Motamed, S.M., and Ghorbani, A. 2005. Labiatae family in folk medicine in Iran: from ethnobotany to pharmacology. Iranian Journal of Pharmaceutical Research 2: 63-79. (In Persian with English Summary)

Ngouajio, M., Wang, G., and Goldy, R. 2007. Withholding of drip irrigation between transplanting and flowering increases the yield of field-grown tomato under plastic mulch. Agricultural water management 87:285-291.

Pareek, A., Sopory, S.K., and Bohnert, S.J. 2010. Abiotic Stress Adaptation in Plants. Springer Netherlands. New York City. United States 546 pp.

Petropoulos, S.A., Dimitra, D., Polissiou, M.G., and Passam, H.C. 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulturae 115:393-397.

Pirjalili, F., and Omidi, 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. (In Persian with English Summary).

Rahimi, A., Jahansoz, M.R., and Rahimian Mashhadi, H. 2013. Effect of drought stress and plant density on quantity and quality charactristics of isabgol (*Plantago ovata*) and french psyllium. Journal of Crop production and Processing 4 (16): 143-153. (In Persian with English Summary)

Rahmani, N., Valadabadi, S.A., Daneshian, J., and Bigdeli, M. 2008. The effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of *Calendula officinalis* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 24 (1): 101-108. (In Persian with English Summary)

Ranjan, R., Bohra, S.P., and Jeet, A.M. 2001. Book of Plant Senescence. Jodhpur, Agro bios New York p. 18-42.

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, Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)

Razavi, S.M.A., and Karazhiyan, H. 2009. Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: experimental and modeling studies. Food Hydrocolloids 23: 908-912. (In Persian with English Summary)

Rezvani Moghadam, P., Norozpour, G., Nabati, J., and Asghrabady, A.A. 2006. Morphological characteristics, seed and sesame oil in plant density and irrigation intervals. Journal of Agricultural Research 3 (1): 68-57. (In Persian with English Summary)

Sabaghpour, S.H. 2007. Indicators and mechanisms of resistance to drought. The First Edition, Published by the National Committee for Drought and Drought Department of Agriculture. Ministry of Agriculture, Iran. (In Persian)

Yildiz Aktas, L., Turkyilmaz, B., Akca, H., and Parlak, S. 2007. Role of abscisic acid and proline treatment on induction of antioxidant enzyme activities and drought tolerance responses of *Laurus nobilis* L. seedlings. Fen Bilimleri Dergisi 28: 14-27.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 757-774

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 2، تابستان 1398، ص 774-757

Evaluation of Morphological Characteristics, Yield Components and Catalase Enzymes Activity of *Lallemantia royleana* Benth. under Drought Stress

K. Ahmadi[1] **and H.Omidi**[2*]

Submitted: 12-12-2017
Accepted: 18-04-2018

Ahmadi, K., and Omidi, H. 2019. Evaluation of morphological characteristics, yield components and catalase enzymes activity of *Lallemantia royleana* Benth. Under drought stress. Journal of Agroecology. 11 (2):757-774.

Introduction

Lallemantia royleana (Walla) Benth is a folk medicinal plant of Labiatae family. This family is one of the largest and most distinctive flowering plants, with about 220 genera and almost 4000 species worldwide. It is well represented in different regions of European and the Middle Eastern countries especially Iran by 46 genera and 410 species and subspecies. The vernacular name of *L. royleana*'s seed in Iran is Balangu or Balangu Shirazi. Balangu seed is a good source of carbohydrates (45.25%), crude fiber (30.67%), ash (3.63%), oil (18.27%) and protein (25.60%) and has some medicinal, nutritional and human health properties. Balangu seed that conventionally consumes as stimulant, constituent, diuretic, and expectorant, is used in a range of products made in traditional or industrial applications such as beverage (namely Tokhme Sharbati) and bread in Iran and Turkey. Drought stress is one of the most important abiotic factors which adversely affect growth, metabolism, and yield of crops in semiarid and arid area. Drought stress during any particular growth stage of crops causes yield reduction. The purpose of this test is to evaluate the effect of drought on morphological characteristics, yield components and catalase enzymes activity of medicinal plant population are Balangu.

Materials and methods

To evaluate the effect of drought stress on morphological characteristics, yield components and catalase enzymes activity of medicinal plant populations Balangu split-plot experiment in randomized complete block design with three replications in research farm of the Shahed University of medicinal plants in the year 2015. Factors examined include three levels of drought at flowering stage as the main factor (soil water potential of -0.5 atmosphere as a witness, 6.5- and 9.5- atmosphere), 5 Balangu population includes a population of Kurdistan (Sanandaj) Province and 4 populations from Isfahan Province (E_3 (Naein), E_5 (Ardestan), E_6 (Najaf Abad), E_7 (Khansar)) were considered as subplots. Measured traits including root length, plant height, fresh and dry weight per plant, seed yield, components seed yield, mucilage percent, and yield. In order to study morphological traits, seven plants of each plot were selected with due consideration of margins. To determine yield components are calculated, about four square meters per plot was harvested at maturity. The ROS scavengers are antioxidant enzymes containing catalase. Information obtained through the statistical program SAS 9.12 for analysis and the means were compared by Duncan's multiple range test in 5% level.

Results and discussion

The results showed significant effect of drought on morphological traits, yield components (except the number of nut in every cycle) and catalase enzymes activity. With increasing drought traits such as plant height and its components declined. Balangu populations on plant height, number of tributaries, fresh and dry weight per plant was non-significant. In the crowd, except root length in the rest statistically significant differences were observed. For the purpose of planting the seed Balangu, E_3 has the potential moisture in the atmosphere -9.5 atm had the highest seed yield per plant. A significant positive correlation with yield and seed yield per plant, seed weight, number of cycles of flowers per plant and plant height. Pearson correlations between traits with seed yield results showed that the seed Yield per plant and Plant height (r=0.580**), thousand seed weight (r=0.514**), nut number of per flowers cycle (r=0.496**), fresh weight per plant (r=0.360**), dry weight plant (r=0.337*), and root length (r=0.324**) positive correlation and significant and flowering cycle her plant (r=-0.299*) showed a significant negative correlation and significant. No significant seed yield with other traits.

Conclusions

1 and 2- Graduated M.Sc and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Shahed University, respectively.
(*- Corresponding Author Email: omidi@shahed.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v11i2.69373

The results of this study indicated that drought stress at flowering stage increased root length and catalase enzyme as well as decreased other morphological traits, seed yield components, percentage and mucilage yield and protein content of balangu medicinal plant. In moderately severe stress, the highest seed yield and mucilage yield were related to Nain population, and in mild stress, Ardestan (E_5) population had the highest seed yield, percent and mucilage yield. Therefore, considering the stresses introduced, introducing high-yielding populations in relatively severe stresses can lead to water use efficiency and irrigation management. Due to the necessity of production of medicinal plants in crop systems and the necessity to pay attention to cultivation of these plants in arid and semi-arid regions, it is recommended in severe climatic conditions of Naein (E3) population under similar climatic conditions.

Keywords: Antioxidant, Dehydration, Thousand- seed weight, Yield