دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در اکوتیپ‌های بادرشبو

مسعود گلستانی[۱]

۱- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (نویسنده مسوول: ma_golestani@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۶
صفحه: ۲۱۳ تا ۲۲۱

چکیده

این پژوهش به‌منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل به خشکی و شناسایی اکوتیپ‌های متحمل به خشکی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.)، در دو محیط تنش خشکی و بدون تنش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ٤ تکرار اجرا شد. شاخص‌های تحمل به خشکی مورد استفاده در این مطالعه شامل شاخص تحمل (TOL)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص میانگین بهره‌وری (MP)، شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP)، شاخص میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) بود که با استفاده از وزن خشک اندام هوایی اکوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) محاسبه شدند. تجزیه واریانس مرکب وزن خشک اندام هوایی نشان داد که اثر اکوتیپ، تنش و اثر متقابل تنش×اکوتیپ برای این صفت معنی‌دار بود. تجزیه واریانس ساده برای شاخص‌های تنش نیز اختلاف معنی‌دار بین اکوتیپ‌ها از نظر Yp و Ys و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI نشان داد. بین شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI با وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد و بنابراین شاخص‌های مذکور، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب اکوتیپ‌ها شناخته شدند. توزیع اکوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات وجود تنوع ژنتیکی بین اکوتیپ‌ها را جهت انتخاب برای تحمل به تنش خشکی نشان داد و مقایسه اکوتیپ‌های مختلف بادرشبو با استفاده از نمودار بای‌پلات نشان داد که اکوتیپ‌های فریدن، گرمسار، خمینی‌شهر و ارومیه به‌علت قرار گرفتن در مجاورت شاخص‌های مناسب تحمل به خشکی، به‌عنوان اکوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط محسوب می‌شوند. تجزیه خوشه‌ای نشان داد که می‌توان اکوتیپ‌های فریدن، گرمسار، خمینی‌شهر و ارومیه را به‌عنوان اکوتیپ‌های متحمل به خشکی پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: بادرشبو، بای‌پلات، تجزیه خوشه‌ای، تنش خشکی، شاخص‌های تحمل به خشکی

مقدمه

تنش‌های محیطی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد و تولید گیاهان زراعی به‌شمار می‌روند و مقابله و یا کاهش اثر تنش‌ها به‌عنوان راهکاری مفید در جهت افزایش عملکرد این محصولات مد نظر قرار گرفته است (۴). با توجه به کمبود منابع آب، خشکی به‌عنوان یک عامل تنش‌زای اصلی غیرزیستی شدیدترین تهدید برای امنیت غذایی جهان است. تنش خشکی از عمده‌ترین چالش‌ها برای تولید محصولات زراعی است و از این نظر اصلاح ارقام پیشرفته و مقاوم برای مناطق خشک و نیمه‌خشک امری ضروری به نظر می‌رسد (۴). گیاه دارویی بادرشبو متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae)، به دلیل داشتن اثرات ضدعفونی کننده، ضدویروسی و ضد قارچی در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بادرشبو با نام علمی *Dracocephalum moldavica* L. گیاهی علفی و یکساله است که ساقه، برگ و گل آن معطر و دارای اسانس است که در این اندام‌ها ترکیباتی چون سیترال و استات ژرانیل وجود دارد. مواد مؤثر اندام رویشی این گیاه به‌عنوان قابض، پایین آورنده تب، تقویت کننده قلب، آرامبخش و اشتهاآور استفاده می‌شود (۱۵).

تاکنون روش‌های مختلفی برای ارزیابی واکنش گیاهان زراعی نسبت به انواع تنش‌ها ابداع شده و مورد استفاده به‌نژادگران قرار گرفته است. متخصصین معتقدند برای بازدهی بیشتر در اصلاح ارقام متحمل به خشکی باید شاخص‌هایی را که در شناسایی پایداری عملکرد ارقام در شرایط تنش مؤثرند، شناسایی نموده و آنها را علاوه بر عملکرد، به‌عنوان معیارهایی برای انتخاب مورد استفاده قرار داد. بر این اساس شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش و تعیین تحمل و حساسیت آنها ارائه شده است. فیشر و مورر (۸) شاخص حساسیت به تنش[۱] را معرفی کردند و مقدار کمتر SSI نشان‌دهنده تغییرات کمتر عملکرد یک ژنوتیپ در هر دو شرایط تنش و غیرتنش و تحمل بیشتر آن ژنوتیپ به تنش می‌باشد. رزیل و هامبلین (۱۶) شاخص تحمل[۲] و شاخص میانگین بهره‌وری[۳] را معرفی نمودند که TOL تفاوت عملکرد گیاه در دو شرایط متفاوت و MP میانگین تولید در شرایط تنش و عدم تنش می‌باشد. شاخص پایداری عملکرد[۴] نیز توسط بوسلاما و شاپوق (۳) پیشنهاد شده است. فرناندز (۷) شاخص تحمل تنش[۵] و میانگین هارمونیک[۶] را پیشنهاد کرد که شاخص STI بر اساس عملکرد هر گیاه در شرایط بهینه و تنش خشکی و مربع میانگین عملکرد تمامی گیاهان مورد آزمایش در شرایط بهینه محاسبه می‌شود و ژنوتیپ‌های پایدارتر براساس این شاخص دارای مقادیر بالاتر STI هستند. فرناندز (۷) و کریستین و همکاران (۱۴) شاخص دیگری تحت عنوان میانگین هندسی عملکرد[۷] را پیشنهاد نمودند. گاوازی و همکاران (۹) شاخص عملکرد[۸] را معرفی کردند. در

1- Stress Susceptibility Index (SSI) 2- Tolerance Index (TOL) 3- Mean productivity (MP) 4- Yield Stability Index (YSI) 5- Stress Tolerance Index (STI) 6- Harmonic Mean (HM) 7- Geometric Mean Productivity (GMP) 8- Yield Index (YI)

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.213]

تعیین چگونگی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف در دو محیط تنش و بدون تنش، فرناندز (۷) چهار نوع واکنش را برای ژنوتیپ‌ها پیشنهاد نمود: الف) ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالایی در هر دو محیط دارند، ب) ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در شرایط بدون تنش دارند، ج) ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در شرایط تنش دارند و د) ژنوتیپ‌هایی که نمایش ضعیفی در هر دو محیط دارند. با توجه به این‌که به‌منظور بررسی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف نسبت به تنش خشکی شاخص‌های متعددی محاسبه می‌گردد و ماهیت متفاوت تحمل و حساسیت به تنش در این داده‌ها نهفته است و از طرفی نمی‌توان بصورت همزمان کلیه این متغیرها را برای یک ژنوتیپ نشان داد، بنابراین مناسب‌ترین روش برای مطالعه همزمان تمام شاخص‌ها استفاده ازیک نمودار چندمتغیره بنام بای‌پلات در یک صفحه دو بعدی است (۱۲). در ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی در جمعیت‌های رازیانه با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، با توجه به همبستگی مثبت شاخص‌های MP، GMP، HM و STI با عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی به‌عنوان مؤثرترین شاخص‌ها برای تعیین جمعیت‌های متحمل به تنش کم‌آبی در این گیاه شناسایی شدند (۱۰). در بررسی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در گیاه آویشن دنایی (۱۱ و ۱۳)، شاخص‌های MP، GMP، HM و STI و در گیاه زیره سبز (۵) و بزرک سیاه (۶) شاخص‌های MP، GMP و STI را برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مناسب تشخیص دادند.

با توجه به این‌که بخش وسیعی از اراضی زیر کشت در ایران با مشکل محدودیت منابع آب مواجه می‌باشد، لزوم شناسایی شاخص‌های مناسب به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی برای این مناطق ضروری به‌نظر می‌رسد. تحقیق حاضر یکی از اولین پژوهش‌هایی است که در زمینه بررسی اکوتیپ‌های بادرشبو از لحاظ شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی انجام شد. با توجه به مطالب ذکر شده هدف از این پژوهش، بررسی شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی در اکوتیپ‌های بادرشبو و شناسایی اکوتیپ‌های متحمل به خشکی با استفاده از این شاخص‌ها در این گیاه است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای واقع در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان ابرکوه با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۴۷۲ متر اجرا گردید. آزمایش در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو قطعه زمین مجزا با فاصله ۳ متر از یکدیگر انجام شد و ۱۴ اکوتیپ بادرشبو به‌صورت تصادفی به کرت‌ها اختصاص یافتند. بذور اکوتیپ‌های مورد مطالعه از استانهای اصفهان (اصفهان، نجف‌آباد، فریدن، خمینی‌شهر و اردستان)، مرکزی (اراک، محلات و گرمسار)، آذربایجان‌غربی (ارومیه، سلماس، نقده و پیرانشهر) و آذربایجان شرقی (مراغه و عجب‌شیر) جمع‌آوری گردید. بذرهای جمع‌آوری شده در تاریخ ۲۵ اسفند سال ۱۳۹۸ کشت شدند. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به طول ۳ متر بود. فاصله بین ردیف‌ها ۳۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها از یکدیگر ۱۵ سانتی‌متر بود. شرایط تنش خشکی پس از استقرار کامل گیاه در مرحله ۱۲-۸ برگی اعمال گردید. در شرایط بدون تنش، آبیاری نرمال بر اساس ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر از زمان کاشت تا پایان دوره آبیاری و در شرایط تنش خشکی، آبیاری بر اساس ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر پس از استقرار کامل گیاهان یعنی مرحله ۱۲-۸ برگی انجام شد.

برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت در مرحله گلدهی کامل برداشت شد و در سایه و در هوای آزاد خشک شده و سپس با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. در نهایت وزن خشک اندام هوایی براساس ۱۰ بوته و برحسب گرم تعیین شد و سپس با استفاده از وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys) شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی با استفاده از فرمول‌های جدول ۱ محاسبه شدند.

تجزیه واریانس مرکب وزن خشک اندام هوایی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹) صورت گرفت. تجزیه واریانس ساده وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش و شاخص‌های کمی مورد مطالعه و همچنین مقایسه میانگین آنها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹) انجام شد. در این مطالعه به‌منظور بررسی رابطه بین شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و شرایط تنش خشکی و همچنین بررسی دقیق‌تر تحمل به خشکی اکوتیپ‌ها از نمودار بای‌پلات استفاده شد. برای تحلیل همبستگی بین شاخص‌های کمی محاسبه شده و وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش، انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، رسم نمودار بای‌پلات، گروه‌بندی اکوتیپ‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش ward و بر مبنای فاصله اقلیدسی به عنوان معیار تشابه و برای بررسی تأیید صحت گروه‌بندی انجام شده با استفاده از تجزیه تابعتشخیص از نرم‌افزارهای MINITAB (نسخه ۱۸) و SPSS (نسخه ۲۳) استفاده شد.

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.213]

جدول ۱- شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی مورد استفاده در این مطالعه

Table 1. Drought tolerance indices used in this study

نام شاخص	فرمول محاسبه شاخص	شماره منبع
شاخص حساسیت به تنش (SSI)	$SSI = \frac{1-\frac{Ys}{Yp}}{1-\frac{\overline{Ys}}{\overline{Yp}}}$	۸
شاخص تحمل (TOL)	$TOL = Yp - Ys$	۱۶
شاخص میانگین بهره‌وری (MP)	$MP = \frac{Ys+Yp}{2}$	۱۶
شاخص تحمل تنش (STI)	$STI = \frac{Yp.Ys}{(\overline{Yp})^2}$	۷
میانگین هارمونیک (HM)	$HM = \frac{2(Yp.Ys)}{Yp+Ys}$	۷
میانگین هندسی عملکرد (GMP)	$GMP = \sqrt{Yp.Ys}$	۷ و ۱۴
شاخص عملکرد (YI)	$YI = \frac{Ys}{\overline{Ys}}$	۹
شاخص پایداری عملکرد (YSI)	$YSI = \frac{Ys}{Yp}$	۳

در این فرمول‌ها Yp: وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش، Ys: وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش، $\overline{Yp}$: میانگین وزن خشک اندام هوایی تمام اکوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و $\overline{Ys}$: میانگین وزن خشک اندام هوایی تمام اکوتیپ‌ها در شرایط تنش است.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که بین شرایط بدون تنش و تنش از لحاظ صفت وزن خشک اندام هوایی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. بنابراین با توجه به معنی‌دار شدن وزن خشک اندام هوایی بین دو شرایط آزمایش می‌توان از شاخص‌های کمی تحمل به خشکی استفاده کرد. همچنین بین اکوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر وزن خشک اندام هوایی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد که این موضوع بیانگر وجود تنوع در بین اکوتیپ‌ها است. برهمکنش تنش × اکوتیپ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود که این موضوع نشان دهنده عکس‌العمل‌های متفاوت اکوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی می‌باشد (جدول ۲). نتایج حاصل از تجزیه واریانس ساده وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys) و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی نشان داد که اکوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر Yp، Ys، MP، GMP، HM، STI و YI در سطح احتمال یک درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۳). این تفاوت معنی‌دار نشان‌دهنده عکس‌العمل متفاوت اکوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی و وجود تنوع ژنتیکی بین اکوتیپ‌های بادرشبو از نظر صفات و شاخص‌های مذکور است. نتایج تجزیه واریانس ساده نشان داد که بین اکوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر سه شاخص TOL، SSI و YSI اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳).

مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تنها برای صفات و شاخص‌هایی که آزمون F برای آنها معنی‌دار بود (جدول ۳)، انجام شد که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است. در شرایط بدون تنش اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، گرمسار، ارومیه و فریدن به‌ترتیب با ۳۹/۲۴، ۳۸/۱۱، ۳۵/۱۲ و ۳۴/۸۶ گرم بیشترین و اکوتیپ‌های محلات، سلماس، نجف‌آباد و اردستان به‌ترتیب با ۱۶/۱۱، ۱۸/۷۴، ۱۹/۱۵ و ۱۹/۷۴گرم کمترین وزن خشک اندام هوایی را داشتند (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، ارومیه، گرمسار و فریدن به‌ترتیب با ۲۵/۸۴، ۲۴/۶۴، ۲۳/۸۴ و ۲۱/۵۶ گرم بیشترین و اکوتیپ‌های محلات، نجف‌آباد، سلماس و مراغه به‌ترتیب با ۱۰/۴۲، ۱۱/۱۸، ۱۳/۲۴ و ۱۳/۸۲ گرم کمترین وزن خشک اندام هوایی را داشتند (جدول ۴). از نظر شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI که مقادیر بالای آنها نشانه تحمل به تنش خشکی می‌باشد اکوتیپ‌های خمینی‌شهر، ارومیه و گرمسار بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند (جدول ۴) و با توجه به مقادیر Yp و Ys و شاخص‌های مذکور می‌توان این اکوتیپ‌ها را به‌عنوان اکوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا معرفی نمود و این اکوتیپ‌ها را می‌توان برای کشت در شرایط محدودیت آبی و شرایط آبیاری پیشنهاد نمود. با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گیاهان مختلف استفاده شده است (۵، ۱۰، ۱۱، ۱۳ و ۱۹).

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.213]

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب وزن خشک اندام هوایی اکوتیپ‌های بادرشبو

Table 2. Combined analysis of variance for shoot dry weight in *Dracocephalum moldavica* L.ecotypes

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات وزن خشک اندام هوایی
تنش	۱	۲۳۷۳/۹۷**
تکرار در تنش	۶	۵۰/۴۳
اکوتیپ	۱۳	۳۱۴/۴۴**
تنش × اکوتیپ	۱۳	۱۹/۴۲*
خطا	۷۸	۹/۶۱
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۳/۶۱

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش در اکوتیپ‌های بادرشبو

Table 3. Analysis of variance for drought tolerance indices and shoot dry weight under non-stress and stress conditions in *Dracocephalum moldavica* L. ecotypes

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	HM	STI	YI	YSI
بلوک	۳	۵۲/۱۱ns	۰/۷ns	۱/۹۴*	۰/۲*	۳۱/۶۶**	۳۳/۴۷**	۳۶/۴۸**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۳۵*
اکوتیپ	۱۳	۲۳۶/۸**	۱/۴۴**	۰/۹۹ns	۰/۰۳ns	۱۵۷/۲۴**	۱۵۱/۰۲**	۱۴۴/۹۱**	۰/۲**	۰/۰۸**	۰/۰۰۳ns
خطا	۳۹	۸/۶۱	۰/۱۶	۰/۳۹	۰/۰۴	۵/۲۴	۵/۹۸	۷/۰۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۰/۷۲	۹/۵۶	۲۱/۲	۲۰/۶	۱۰/۰۵	۱۱/۰۲	۱۲/۲۸	۱۱/۰۳	۹/۵۶	۱۱/۲۸

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش در اکوتیپ‌های بادرشبو

Table 4. Comparison of drought tolerance indices and shoot dry weight under non-stress and stress conditions in *Dracocephalum moldavica* L. ecotypes

کد اکوتیپ	نام اکوتیپ	Yp	Ys	MP	GMP	HM	STI	YI
۱	اصفهان	۳۱/۱۴bc	۲۰/۶۷b-e	۲۵/۹۱cd	۲۵/۲۷cd	۲۴/۶۷cd	۰/۸۷cd	۱/۱۴a-e
۲	فریدن	۳۴/۸۶ab	۲۱/۵۶a-d	۲۸/۲۱bc	۲۷/۳۶bc	۲۶/۵۴de	۱/۰۱bc	۱/۱۹a-d
۳	گرمسار	۳۸/۱۱a	۲۳/۸۴abc	۳۰/۹۸ab	۳۰/۰۲ab	۲۹/۱ab	۱/۲۱ab	۱/۳۱ab
۴	اراک	۳۰/۱۸c	۲۰/۱۵b-e	۲۵/۱۷cd	۲۴/۵۶cd	۲۳/۹۸cde	۰/۸۱cd	۱/۱۱b-e
۵	پیرانشهر	۲۷/۱۸cd	۱۸/۹۲c-f	۲۳/۰۵de	۲۲/۵۹de	۲۲/۱۴de	۰/۶۹de	۱/۰۴c-f
۶	خمینی‌شهر	۳۹/۲۴a	۲۵/۸۴a	۳۲/۵۴a	۳۱/۷۵a	۳۰/۹۹a	۱/۳۵a	۱/۴۲a
۷	نقده	۲۷/۹۱cd	۱۷/۴۱a-g	۲۲/۶۶de	۲۱/۹۶de	۲۱/۲۸der	۰/۶۶de	۰/۹۶a-g
۸	ارومیه	۳۵/۱۲ab	۲۴/۶۴ab	۲۹/۸۸ab	۲۹/۲۷ab	۲۸/۶۹ab	۱/۱۴ab	۱/۳۵ab
۹	نجف‌آباد	۱۹/۱۵fg	۱۱/۱۸hi	۱۵/۱۷fg	۱۴/۳۱gh	۱۳/۵۶hi	۰/۲۸g	۰/۶۲h
۱۰	اردستان	۱۹/۷۴fg	۱۵/۶۱e-h	۱۷/۶۸f	۱۷/۵۴fg	۱۷/۴۲fgh	۰/۴۲fg	۰/۸۶e-h
۱۱	محلات	۱۶/۱۱g	۱۰/۴۲i	۱۳/۲۷g	۱۲/۷۴h	۱۲/۲۶i	۰/۲۲g	۰/۵۸h
۱۲	عجب‌شیر	۲۴/۹de	۱۷/۱۱a-g	۲۱/۰۴e	۲۰/۵۸er	۲۰/۱۶erg	۰/۵۷er	۰/۹۴a-g
۱۳	سلماس	۱۸/۷۴fg	۱۳/۲۴ghi	۱۵/۹۹fg	۱۵/۶۶gh	۱۵/۳۵hi	۰/۳۴g	۰/۷۲gh
۱۴	مراغه	۲۰/۹۱er	۱۳/۸۲f-i	۱۷/۳۷f	۱۶/۹۳fg	۱۶/۵۱gh	۰/۳۹fg	۰/۷۶fgh

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵٪ در آزمون دانکن با هم ندارند.

با توجه به این‌که تحمل تنش خشکی صفتی پیچیده بوده و عوامل مختلفی در آن دخالت دارند لذا گزینش ژنوتیپ‌های متحمل بر مبنای شاخص‌ها و یا عملکرد به صورت مجزا مشکل است و حتی گاهی نتایج ضد و نقیضی دارد. بنابراین به‌منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی اکوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌توان از ضرایب همبستگی بین وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی استفاده کرد. فرناندز (۷) بیان کرد شاخص‌هایی که همبستگی بالایی با عملکرد دانه در محیط بدون تنش و تنش نشان دهند را می‌توان به‌عنوان برترین شاخص‌ها معرفی کرد چون توانایی شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو محیط را دارند. بررسی ضرایب همبستگی بین وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys) با شاخص‌های تحمل به تنش خشکی نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI با وزن خشک اندام هوایی در هر دو شرایط آزمایش همبستگی مثبت و معنی‌دار ($p<0.01$) دارند (جدول ۵) و بنابراین می‌توان از شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب اکوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده نمود. همچنین بین شاخص‌های مذکور همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۵) که این موضوع بیانگر آن است که می‌توان از این شاخص‌ها به صورت جایگزین یکدیگر برای ارزیابی اکوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده کرد. تحلیل همبستگی بین وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که MP، GMP، HM، YI و STI مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن اکوتیپ‌های آویشن دنایی می‌باشند (۱۱). با توجه به همبستگی مثبت شاخص‌های MP، GMP، HM و STI با عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی این چهار شاخص به‌عنوان مؤثرترین شاخص‌ها برای تعیین جمعیت‌های متحمل به تنش کم‌آبی در گیاه رازیانه شناسایی شدند (۱ و ۱۰). همبستگی بین شاخص TOL با وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش مثبت و معنی‌دار ولی با وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش غیر معنی‌دار بود (جدول ۵). شاخص SSI و YSI

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.213]

با وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش غیرمعنی‌دار و با وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش معنی‌دار بود (جدول ۵). بنابراین شاخص‌های TOL، SSI و YSI برای گزینش اکوتیپ‌های برتر نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش

Table 5. Correlation coefficient among drought tolerance indices and shoot dry weight under non-stress and stress conditions

	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	HM	STI	YI	YSI
Yp	۱									
Ys	۰/۷۸**	۱								
TOL	۰/۷**	۰/۱۱	۱							
SSI	۰/۲۲	-۰/۴*	۰/۸۱**	۱						
MP	۰/۹۶**	۰/۹۲**	۰/۴۸*	-۰/۰۴	۱					
GMP	۰/۹۴**	۰/۹۵**	۰/۴۲*	-۰/۱۱	۰/۹۹**	۱				
HM	۰/۹۱**	۰/۹۶**	۰/۳۵*	-۰/۱۷	۰/۹۸**	۰/۹۹**	۱			
STI	۰/۹۳**	۰/۹۴**	۰/۴۳*	-۰/۰۸	۰/۹۹**	۰/۹۹**	۰/۹۸**	۱		
YI	۰/۷۸**	۰/۹۹**	۰/۱۱	-۰/۴*	۰/۹۲**	۰/۹۵**	۰/۹۶**	۰/۹۴**	۱	
YSI	-۰/۲۲	۰/۴*	-۰/۸۱**	-۰/۹۹**	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۴۱*	۱

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

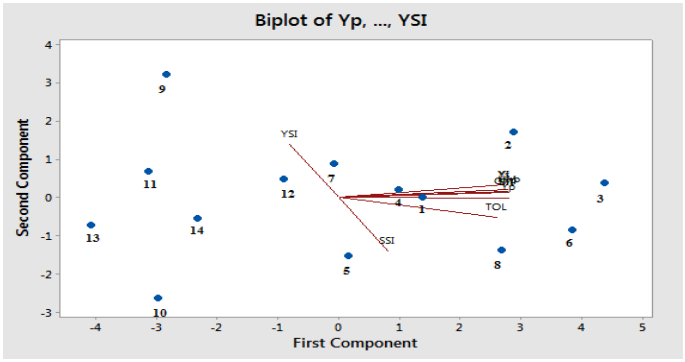
برای ترسیم بای‌پلات ابتدا از روش آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد که نتایج این روش در جدول ۶ آورده شده است. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول در مجموع ۹۹/۸ درصد از کل تغییرات بین داده‌ها را بیان کردند (جدول ۶) و بنابراین نمودار بای‌پلات بر اساس این دو مؤلفه رسم گردید (شکل ۱). مؤلفه اول ۷۸/۶ درصد از تغییرات را نشان داد و این مؤلفه با وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI همبستگی مثبت و بالایی داشت (جدول ۶). با توجه به اینکه میزان بالای این شاخص‌ها مطلوب می‌باشند بنابراین اگر مقدار این مؤلفه زیاد باشد اکوتیپ‌هایی انتخاب خواهند شد که دارای عملکرد بالا و مقادیر بالایی از شاخص‌های مذکور هستند و لذا می‌توان مؤلفه اول را به‌عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی نامگذاری نمود. این مؤلفه قادر است اکوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از اکوتیپ‌هایی حساس به خشکی و دارای میانگین عملکرد پایین جدا کند. در پژوهش درانی‌نژاد و همکاران (۵) در زیره سبز نیز مؤلفه اول همبستگی بالایی با شاخص‌های MP، GMP، HM و STI داشت. مؤلفه دوم ۲۱/۲ درصد از تغییرات بین داده‌ها را توجیه کرد و این مؤلفه همبستگی پایینی با Yp، Ys و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI داشت و با شاخص YSI همبستگی مثبت و بالا و با شاخص SSI همبستگی منفی و بالا داشت (جدول ۶). این چنین همبستگی ضعیف بین مؤلفه دوم و شاخص‌های مذکور در مطالعه شیبانی‌راد و همکاران (۲۰) در گندم دیده شد. مؤلفه دوم را می‌توان مؤلفه حساسیت به خشکی نام‌گذاری کرد که اکوتیپ‌های با عملکرد بالا را در شرایط تنش جدا می‌کند. بر اساس بای‌پلات ترسیم شده بر مبنای مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (شکل ۱) اکوتیپ‌ها به گروه‌هایی تقسیم شدند که مرتبط با پایداری وزن خشک اندام هوایی و تحمل به تنش اکوتیپ‌ها بود. مقایسه اکوتیپ‌های مختلف بادرشبو با استفاده از نمودار بای‌پلات نشان داد که اکوتیپ‌های فریدن، گرمسار، خمینی‌شهر و ارومیه به‌علت قرار گرفتن در مجاورت شاخص‌های مناسب تحمل به خشکی (MP، GMP، HM، STI، YI)، به‌عنوان اکوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط محسوب می‌شوند. توزیع اکوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی میان اکوتیپ‌های مورد بررسی نسبت به شرایط تنش خشکی است که می‌تواند برای اصلاح گیاهان متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد (۲). با توجه به زاویه بین بردار شاخص‌ها ملاحظه می‌شود که شاخص‌های MP، GMP، HM، STI، YI با وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی همبستگی مثبت و بسیار بالایی دارند (شکل ۱). درانی‌نژاد و همکاران (۵) در بررسی شاخص‌های کمی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های زیره سبز و با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، دو مؤلفه اصلی اول و دوم را شناسایی کردند که مؤلفه اول را مؤلفه تحمل به تنش و مؤلفه دوم را مؤلفه حساسیت به تنش نام‌گذاری کردند. در بررسی شاخص‌های مقاومت به خشکی در اکوتیپ‌های گاودانه با استفاده روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دو مؤلفه اصلی با استفاده از شاخص‌های مقاومت به خشکی شناسایی شد که مؤلفه اول با عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص‌های MP، GMP، HM و STI همبستگی داشت و مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی نام‌گذاری شد و مؤلفه دوم به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش نامگذاری شد (۱۸).

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.213]

جدول ۶- مقادیر ویژه، واریانس تجمعی (٪) و ضرایب متغیرها در شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش

Table 6. Eigen values, cumulative variance and eigen vectors of drought tolerance indices and shoot dry weight under non-stress and stress conditions

مؤلفه	مقادیر ویژه	واریانس تجمعی (٪)	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	HM	STI	YI	YSI
۱	۷/۸۶	۷۸/۶	۰/۳۷	۰/۳۴۷	۰/۲۷	۰/۱	۰/۳۵	۰/۳۵۴	۰/۳۵۳	۰/۳۵۴	۰/۳۴۷	-۰/۱
۲	۲/۱۲	۹۹/۸	-۰/۰۰۱	۰/۱۵۶	-۰/۲۵	-۰/۶۶	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱۵۶	۰/۶۶



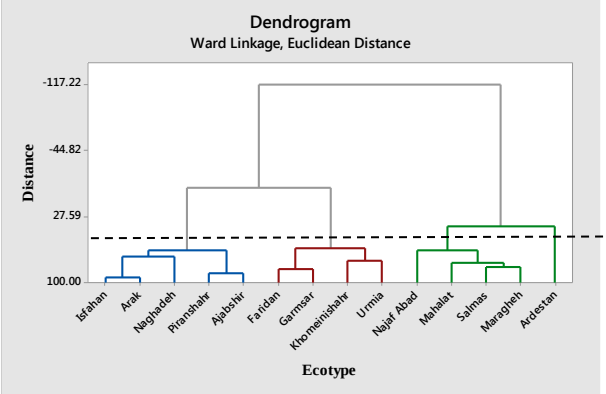
شکل ۱- نمودار بای‌پلات Yp، Ys و شاخص‌های تحمل به خشکی در اکوتیپ‌های بادرشبو بر اساس دو مؤلفه اول (اسامی و شماره اکوتیپ‌ها بر اساس جدول شماره ۴ می‌باشد)

Figure 1. Biplot display for Yp, Ys and drought tolerance indices in *Dracocephalum moldavica* L. ecotypes based on two first components (The names and ecotype numbers are based on Table 4)

دندروگرام تجزیه خوشه‌ای بر اساس وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی با استفاده از روش حداقل واریانس وارد و بر مبنای فاصله اقلیدسی به عنوان معیار تشابه رسم گردید (شکل ۲). اکوتیپ‌های مورد بررسی در این مطالعه با استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای در سه گروه مجزا قرار گرفتند (شکل ۲). اکوتیپ‌های اصفهان، اراک، پیرانشهر، نقده و عجب‌شیر در گروه اول قرار گرفتند که این اکوتیپ‌ها از نظر وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش و اکثر شاخص‌های کمی تحمل به خشکی مقادیر متوسط را به خود اختصاص دادند (جدول ۷). در گروه دوم اکوتیپ‌های فریدن، گرمسار، خمینی‌شهر و ارومیه قرار گرفتند که مقادیر وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش و اکثر شاخص‌های تحمل به خشکی در این گروه از دو گروه دیگر و حتی در مقایسه با میانگین کل نیز بالاتر بود (جدول ۷). بنابراین اکوتیپ‌های این گروه را می‌توان به‌عنوان اکوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در نظر گرفت. اکوتیپ‌های نجف‌آباد، اردستان، محلات، سلماس و مراغه در گروه سوم قرار گرفتند و این اکوتیپ‌ها از نظر وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش و اکثر شاخص‌های تحمل به خشکی دارای مقادیر پایین‌تر نسبت به دو گروه دیگر و حتی در مقایسه با میانگین کل بودند (جدول ۷). در بررسی اکوتیپ‌های آویشن دنایی با روش تجزیه خوشه‌ای و با استفاده از شاخص‌های مقاومت به خشکی، اکوتیپ‌های مورد مطالعه به سه گروه مجزا تفکیک شدند (۱۱). روش تجزیه خوشه‌ای بر مبنای شاخص‌های کمی تحمل به خشکی اکسشن‌های گونه مرتعی *Agropyron trichophorum* را در سه گروه مختلف قرار داد (۱۷).

از روش تجزیه تابع تشخیص به‌منظور بررسی صحت گروه‌بندی‌های به‌دست آمده از روش تجزیه خوشه‌ای استفاده گردید. نتایج تجزیه تابع تشخیص نشان داد که تمامی اکوتیپ‌ها به طور صحیح گروه‌بندی شده‌اند و میزان موفقیت تابع تشخیص برای تمامی گروه‌ها ۱۰۰ درصد است (جدول ۸). تجزیه خوشه‌ای نتوانست اکوتیپ‌ها را براساس منشأ جمع‌آوری یا پراکنش جغرافیایی آنها با توجه به شاخص‌های تحمل به خشکی به خوبی تفکیک نماید، بنابراین تنوع بین اکوتیپ‌ها براساس شاخص‌های تحمل به خشکی نه‌تنها بین منطقه‌ای می‌باشد، بلکه درون مناطق نیز این تنوع مشاهده می‌گردد.

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.213]



شکل ۲- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای در اکوتیپ‌های بادرشبو بر اساس وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش و شاخص‌های تحمل به خشکی

Figure 2. Dendrogram of cluster analysis in *Dracocephalum moldavica* L. ecotypes based on drought tolerance indices and shoot dry weight under non-stress and stress conditions

جدول ۷- مقایسه میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در اکوتیپ‌های بادرشبو

Table 7. Comparison of Clusters obtained from cluster analysis in *Dracocephalum moldavica* L. ecotypes

	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	HM	STI	YI	YSI
خوشه ۱	۲۸/۲۷^{b}	۱۸/۸۵^{b}	۹/۴۲^{b}	۰/۹۷^{a}	۲۳/۵۶^{b}	۲۲/۹۸^{b}	۲۲/۴۵^{b}	۰/۷۲^{b}	۱/۰۴^{b}	۰/۶۷^{a}
خوشه ۲	۳۶/۸۳^{a}	۲۳/۹۷^{a}	۱۲/۸۶^{a}	۱/۰۲^{a}	۳۰/۴^{a}	۲۹/۶^{a}	۲۸/۸۳^{a}	۱/۱۸^{a}	۱/۳۲^{a}	۰/۶۵^{a}
خوشه ۳	۱۸/۹۳^{c}	۱۲/۸۵^{c}	۶/۰۷^{c}	۰/۹۳^{a}	۱۵/۹^{c}	۱۵/۴۴^{c}	۱۵/۰۲^{c}	۰/۳۳^{c}	۰/۷۱^{c}	۰/۶۹^{a}
میانگین	۲۷/۳۸	۱۸/۱۷	۹/۲۱	۰/۹۷	۲۲/۷۸	۲۲/۱۸	۲۱/۶۲	۰/۷۱	۱/۰۱	۰/۶۷

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵٪ در آزمون دانکن با هم ندارند.

جدول ۸- نتایج تابع تشخیص برای گروه‌بندی اکوتیپ‌های بادرشبو

Table 8. Result of discriminant analysis for grouping *Dracocephalum moldavica* L.ecotypes

	گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای	گروه‌های پیش‌بینی شده			کل
		۱	۲	۳	
مجموع	۱	۵	۰	۰	۵
	۲	۰	۴	۰	۴
	۳	۰	۰	۵	۵
درصد	۱	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰
	۲	۰	۱۰۰	۰	۱۰۰
	۳	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰

به‌طور کلی نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که بین اکوتیپ‌ها از نظر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. نتایج تجزیه واریانس ساده نیز نشان داد که بین اکوتیپ‌ها از نظر Yp و Ys و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI اختلاف معنی‌داری وجود داشت. تحلیل همبستگی بین شاخص‌ها و وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب اکوتیپ‌ها هستند. براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دو مؤلفه اول و دوم توانستند ۹۹/۸ درصد از کل تغییرات بین داده‌ها را توجیه کنند و نمودار چند متغیره بای‌پلات حاصل از دو مؤلفه اول نشان داد که اکوتیپ‌های فریدن، گرمسار، خمینی‌شهر و ارومیه در مجاورت شاخص‌های تحمل به خشکی یعنی MP، GMP، HM، STI و YI قرار دارند و نیز توزیع اکوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات وجود تنوع ژنتیکی بین اکوتیپ‌ها را جهت انتخاب برای تحمل به تنش خشکی نشان داد. تجزیه خوشه‌ای نشان داد که می‌توان اکوتیپ‌های گروه دوم شامل فریدن، گرمسار، خمینی‌شهر و ارومیه را به عنوان اکوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی در بادرشبو پیشنهاد نمود.

منابع

1. Akbari, A., A. Izadi Darbandi, K. Bahmani and H.A. Ramshini. 2015. Evaluation of drought tolerance in synthetic varieties and superior ecotypes of fennel (Foeniculum vulgare Mill.). Iranian Journal of Crop Sciences, 17(3): 193-204 (In Persian).
2. Alavi, S.R., R. Darvishzadeh, M. Valizadeh, M. Moghadam, E. Farrokhi, A. Basirnia and A. Pirzad. 2014. Evaluation of drought tolerance indices in various sunflowers cultivars (*Helianthus annuus* L.). Research in Field Crops, 2(1): 16-27 (In Persian).
3. Bouslama, M. and J. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three Screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.213]

4. Darvishzadeh, R., A. Soleimani Gezeljeh, H. Ali Pour, A. Ebrahimi, M.R. Bihamta and F. Morsali. 2018. Selection of oily sunflower (*Helianthus annuus* L.) drought tolerant lines using tolerance indices. Journal of Crop Breeding, 10(28): 133- 144 (In Persian).
5. Dorrani-Nejad, M., S. Aghighi and Gh. Mohammadi-Nejad. 2019. The evaluation of the elite genotypes for drought tolerance in cumin (*Cuminum Cyminum* L.) using drought tolerance indices. Plant Production, 42(2): 227-238 (In Persian).
6. Farzi, M., Kh. Alizadeh and M. Arshad. 2016. Study on dragons head (*Lallemantia iberica* L.) landraces under supplementary irrigation and rainfed conditions. Journal of Crop Ecophysiology, 10(2): 401-412 (In Persian).
7. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. Taiwan, 13-16 August, 257-270.
8. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought tolerance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 2: 897-912.
9. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campaline, G.L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Cananian Journal of Plant Science, 77: 523-531.
10. Ghasemi, M., S. Aharizad, A. Bandehagh, M Norouzi and R. Azhdari. 2019. Evaluation of water deficit stress tolerance in populations of fennel (*Foeniculum vulgare* M.) using drought tolerance indices. Journal of Crop Breeding, 11(30): 118-125 (In Persian).
11. Golestani, M. (In Press). Evaluation of Thymus daenensis subsp. daenensis Ecotypes using Drought Tolerance Indices. Environmental Stresses in Crop Sciences, (In Persian).
12. Khezri Afrawi, M., A. Hoseinzadeh, V. Mohammadi and A. Ahmadi. 2011. Evaluation of drought resistance in some Iranian landraces of durum wheat (*Triticum turgidum*). Iranian Journal of Field Crop Science, 41(4): 741-753 (In Persian).
13. Khorshidi J., M. Shokrpour and V. Nazeri. 2016. Evaluation of response to water deficit stress in Thymus daenensis subsp. daenensis using stress tolerance indices. Iranian Journal of Horticultural Science, 46(4): 563-574 (In Persian).
14. Kristin, A.S., R.R. Serna, F.I. Perez, B.C. Enriquez, A.A. Gallegos, P.R. Vallejo, N. Wassimi, and J.D. Kelley. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science, 37: 43-50.
15. Omidbeigi, R. 2011. Production and Processing of Medicinal Plants. Astan Quds Razavi Publication. 438 pp (In Persian).
16. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943-946.
17. Safari, H. and A.A. Jafari. 2012. Drought resistance evaluation based on forage yield in accessions of Agropyron trichophorum by drought resistance indices. Iranian journal of Range and Desert Research, 19(4): 640-654 (In Persian).
18. Sahhafi, S.R. and M. Ghanipour Govarki. 2020. Evaluation of drought tolerance indices and byplot method in bitter vetch ecotypes. Journal of Plant Ecophysiology, 12(43): 95-106 (In Persian).
19. Sardari, H., R. Asghari Zakaria, N. Zare, L. Ghafarzadek Namazi and M. Moghaddaszadeh. 2020. Evaluation of black cumin (*Nigella sativa* L.) ecotypes under drought stress conditions at flowering stage. Journal of Crop Breeding, 12(34): 138-150 (In Persian).
20. Shibanirad, A., E. Farshadfar and A. Najafi. 2017. Evaluation of drought stress tolerance in some bread Persian).wheat genotypes using drought tolerance indices. Journal of Plant Ecophysiology, 9(31): 1-14 (In Persian).

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.213]

Evaluation of Drought Tolerance Indices in Moldavian Balm Ecotypes

Masoud Golestani[1]

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
(Corresponding author: email: ma_golestani@yahoo.com)
Received: January 23, 2021 Accepted: March 16, 2021

Abstract

In order to determine the most suitable quantitative drought tolerance indices and drought tolerant moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) ecotypes, two experiments (under normal and drought stress conditions) were carried out using randomized complete block design with four replications. In this research, drought tolerance indices such as tolerance index (TOL), stress susceptibility index (SSI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), harmonic mean (HM), stress tolerance index (STI), yield index (YI) and yield stability index (YSI) were calculated using shoot dry weight under non-stress (Yp) and drought stress (Ys) conditions. The results of combined analysis of variance revealed that ecotype, stress and stress × ecotype were significant ($p<0.01$) in shoot dry weight. Analysis of variance indicated that there were significant differences ($p<0.01$) between the ecotypes for Yp, Ys, and MP, GMP, HM, STI and YI indices. There were positive significant correlations between MP, GMP, HM, STI and YI with Yp and Ys and so MP, GMP, HM, STI and YI were recognized the most suitable indices for screening the ecotypes. Distribution of ecotypes in biplot graph represented the genetic diversity among ecotypes for selecting them based on drought tolerance and comparison of different moldavian balm ecotypes using multivariate biplot graph indicated that Faridan, Garmsar, Khomeinishahr and Urmia ecotypes are considered as superior ecotypes in both conditions because of locating of these ecotypes next to the vectors of suitable drought tolerance indices. Cluster analysis showed that Faridan, Garmsar, Khomeinishahr and Urmia ecotypes could be suggested as drought tolerant ecotypes.

Keywords: Biplot, Cluster analysis, *Dracocephalum moldavica* L., Drought stress, Drought tolerance indices

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.213]