تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
۳۰۹-۳۱۹
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2816.1731

مقاله پژوهشی

بررسی اکوتیپ‌های آویشن دنایی (*Thymus daenensis* subsp. *daenensis*) با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

مسعود گلستانی*
استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۰۹

چکیده

به‌منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل به خشکی و شناسایی اکوتیپ‌های متحمل به خشکی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* subsp. daenensis)، آزمایشی در دو محیط بدون‌تنش و تنش خشکی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در شهرستان ابرکوه انجام شد. در این مطالعه شاخص‌های تحمل به خشکی 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) با استفاده از وزن خشک اندام هوایی اکوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) محاسبه گردید. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که بین اکوتیپ‌ها از نظر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. نتایج تجزیه واریانس ساده نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین اکوتیپ‌ها از نظر Yp و Ys و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI وجود دارد. 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. نمودار چند متغیره بای‌پلات نشان داد که اکوتیپ‌های خرم‌آباد ۱، اراک ۱، خرم‌آباد ۲، فریدون‌شهر و همدان در مجاورت شاخص‌های مناسب تحمل به خشکی 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 خرم‌آباد۱، اراک۱، خرم‌آباد۲، فریدون‌شهر و همدان را به‌عنوان اکوتیپ‌های متحمل به خشکی و اکوتیپ‌های اراک۲ و شازند را به‌عنوان اکوتیپ‌های حساس به خشکی پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: **آویشن دنایی، بای‌پلات، تجزیه خوشه‌ای، تنش خشکی، شاخص‌های تحمل به خشکی**

مقدمه

آویشن دنایی (*Thymus daenensis* subsp. daenensis) از گیاهان دارویی بومی کشور است که ضمن کمیت و کیفیت اسانس بالا، پراکنش نسبتاً وسیعی در کشور دارد که بیانگر سازگاری و متحمل بودن این گیاه با شرایط محیطی متفاوت است (Nickavar et al., 2005). این گونه متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae) است و گیاهی پایا، پرساقه و به‌صورت بوته‌ای با پایه چوبی که در برخی از مناطق ایران به‌ویژه در استان‌های مرکزی و غربی کشور مانند چهارمحال و بختیاری، کهکیلویه و بویراحمد، لرستان، همدان، اصفهان و حتی فارس پراکنش دارد (Jamzad, 2009). مهم‌ترین ترکیبات جنس Thymus، کارواکرول و تیمول است که مقدار تیمول در آویشن دنایی بیش از ۷۰٪ از متابولیت‌های ثانویه آن را تشکیل می‌دهد (Nickavar et al., 2005).

تنش‌های محیطی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد و تولید گیاهان زراعی به شمار می‌روند و مقابله و یا کاهش اثر تنش‌ها به‌عنوان راهکاری مفید در جهت افزایش

* نگارنده پاسخگو: مسعود گلستانی. پست الکترونیک: ma_golestani@yahoo.com

عملکرد این محصولات مدنظر قرار گرفته است. تنش خشکی از عمده‌ترین چالش‌ها برای تولید موفق محصولات زراعی است و اصلاح ارقام متحمل برای مناطق خشک و نیمه‌خشک یکی از موضوعات مهم اصلاح نباتات است (Golparvar et al., 2004). گیاهان دارویی، به لحاظ ژنتیکی و نیز داشتن برخی متابولیت‌های ثانویه، در مقایسه با سایر گیاهان، پتانسیل تحمل به تنش بیشتری دارند و گزینه‌های مناسبی برای کشت و کار در شرایط تنش‌زا به‌حساب می‌آیند (Omidbaigi, 2015). با این حال مقایسه بین اکوتیپ‌های مختلف گیاهان دارویی و انتخاب مناسب‌ترین اکوتیپ‌ها جهت کشت در شرایط تنش خشکی لازم به نظر می‌رسد.

یکی از شاخص‌های مهم در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بررسی عملکرد در شرایط تنش خشکی و در شرایط بدون تنش و مقایسه میزان عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش است. شاخص‌های کمی دیگری نیز برای بررسی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف مثل تنش خشکی و تعیین میزان تحمل آن‌ها به خشکی استفاده شده است. جهت دستیابی به این موارد از شاخص‌هایی مثل شاخص حساسیت به تنش[1] (Fischer and Maurer, 1978)، شاخص تحمل[2] و شاخص میانگین بهره‌وری[3] (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص پایداری عملکرد[4] (Bouslama and Schapaugh, 1984)، شاخص تحمل تنش[5] و میانگین هارمونیک[6] (Fernandez, 1992)، میانگین هندسی عملکرد[7] (Fernandez, 1992; Kristin et al., 1997) و شاخص عملکرد[8] (Gavuzzi et al., 1997) استفاده شده است.

خورشیدی و همکاران (Khorshidi et al., 2016) در بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی در آویشن دنایی و صفری و جعفری (Safari and Jafari, 2012) در ارزیابی تحمل به خشکی در اکسشن‌های گونه مرتعی (*Agropyron trichophorum*) نشان دادند که شاخص‌های میانگین هندسی عملکرد، شاخص تحمل تنش، میانگین بهره‌وری و میانگین هارمونیک مناسب‌ترین شاخص‌ها در انتخاب برای تحمل به خشکی هستند. طهماسبی و محمدی دهبالایی (Tahmasebi and Mohammadi Dehbalaee, 2019) در ارزیابی ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه گزارش کردند که شاخص‌های میانگین هندسی عملکرد، میانگین هارمونیک و شاخص تحمل تنش شاخص‌های مناسب در انتخاب برای تحمل به خشکی هستند.

به‌نژادی برای تحمل به خشکی یکی از اهداف اصلاحی مهم طرح‌های به‌نژادی گیاهان دارویی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. برای تعیین برتری یک اکوتیپ از نظر تحمل به خشکی نمی‌توان اکوتیپ‌ها را به‌صورت جداگانه و در محیط رشد طبیعی آن‌ها بررسی کرد چراکه شرایط متفاوت محیطی و برهمکنش ژنوتیپ و محیط مانع دستیابی به این موضوع می‌شود؛ بنابراین یکی از اقدامات مهم برای به‌نژادی گیاهان دارویی مانند آویشن دنایی جمع‌آوری و بررسی اکوتیپ‌های آن گیاه در شرایط تنش خشکی و ارزیابی آن‌ها از نظر تحمل به خشکی است. همچنین روند رو به رشد مصرف گیاهان دارویی بدون توسعه روش‌های مناسب کاشت، موجب تخریب محیط‌زیست خواهد شد؛ بنابراین توسعه روش‌های مناسب کاشت، اهلی‌سازی و بررسی اکوتیپ‌های گیاهان دارویی مانند آویشن دنایی ضروری به‌نظر می‌رسد. با توجه به اهمیت اسانس این گیاه در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی و توسعه روش‌های مناسب جهت اهلی سازی آن، این مطالعه با هدف ارزیابی شاخص‌های کمی تحمل به خشکی در اکوتیپ‌های آویشن دنایی و شناسایی اکوتیپ‌های متحمل به خشکی در این گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی شاخص‌های کمی تحمل به خشکی در اکوتیپ‌های آویشن دنایی و شناسایی اکوتیپ‌های متحمل به خشکی، آزمایشی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در شهرستان ابرکوه (طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۷ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۵۰ متر) انجام گرفت. برای انجام آزمایش دو قطعه زمین مجزا و با فاصله ۳ متر از همدیگر در نظر گرفته شدند. در این قطعات، آزمایش موردنظر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و ۱۲ اکوتیپ آویشن دنایی که به‌صورت

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

تصادفی در کرت‌ها قرار گرفتند، انجام شد. بذور ۱۲ اکوتیپ بکار رفته در این آزمایش از استان‌های اصفهان (اصفهان، فریدن، فریدون‌شهر و سمیرم)، مرکزی (اراک۱، اراک۲ و شازند)، لرستان (خرم‌آباد۱، خرم‌آباد۲ و الیگودرز) و همدان (همدان و ملایر) جمع‌آوری گردید. بذرهای جمع‌آوری‌شده برای تولید نشا در گلخانه درون گلدان‌های یک‌بارمصرف و بستر کشت حاوی ۵۰ درصد ماسه‌بادی و ۵۰ درصد پیت کاشته شدند. نشاهای۱۰-۵ سانتی‌متری پس از ۱۰ روز مقاوم‌سازی (کاهش آبیاری و قرار دادن آن‌ها در بیرون گلخانه) به مزرعه انتقال داده شدند. هر واحد آزمایشی پس از حذف اثرات حاشیه شامل یک ردیف به طول ۱۰ متر بود. فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها از یکدیگر یک متر بود. در هر ردیف تعداد ۱۰ بوته کاشته شد. طرح‌ها فقط از نظر تیمار آبیاری (شرایط بدون تنش و تنش خشکی) با یکدیگر تفاوت داشتند و شرایط تنش خشکی پس از استقرار کامل گیاه اعمال گردید. در شرایط بدون تنش، آبیاری 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 انجام شد.

وزن خشک اندام هوایی بدین‌صورت محاسبه گردید که بوته‌ها در زمان ۵۰٪ گلدهی برداشت‌شده و در سایه و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک‌شده و با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. در این تحقیق با استفاده از وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و شرایط تنش خشکی شاخص‌های کمی تحمل به خشکی با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند:

$$TOL = Yp - Ys \quad [۱]$$

$$SSI = \frac{1 - \frac{Ys}{Yp}}{1 - \frac{\overline{Ys}}{\overline{Yp}}} \quad [۲]$$

$$MP = \frac{Ys + Yp}{2} \quad [۳]$$

$$GMP = \sqrt{Yp.Ys} \quad [۴]$$

$$HM = \frac{2(Yp.Ys)}{Yp + Ys} \quad [۵]$$

$$STI = \frac{Yp.Ys}{(\overline{Yp})^2} \quad [۶]$$

$$YI = \frac{Ys}{\overline{Ys}} \quad [۷]$$

$$YSI = \frac{Ys}{Yp} \quad [۸]$$

در این روابط Yp وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش، Ys وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش، میانگین وزن خشک اندام هوایی تمام اکوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و میانگین وزن خشک اندام هوایی تمام اکوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی است.

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 موردمطالعه و همچنین مقایسه میانگین آن‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹) انجام شد. برای تحلیل همبستگی بین شاخص‌های کمی محاسبه‌شده 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 به‌عنوان معیار تشابه و برای بررسی تأیید صحت گروه‌بندی انجام‌شده با استفاده از تجزیه تابع تشخیص از نرم‌افزارهای MINITAB (نسخه ۱۸) و SPSS (نسخه ۲۳) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بین دو محیط موردبررسی و بین اکوتیپ‌های موردمطالعه برای صفت وزن خشک اندام هوایی وجود دارد (جدول ۱) و بنابراین با توجه به معنی‌دار شدن وزن خشک اندام هوایی بین دو شرایط آزمایش می‌توان از شاخص‌های کمی تحمل به خشکی استفاده کرد. 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 موردمطالعه از نظر Yp، Ys، MP، GMP، HM، STI و YI با یکدیگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک

درصد دارند (جدول ۲). این تفاوت معنی‌دار نشان‌دهنده عکس‌العمل متفاوت اکوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی و وجود تنوع ژنتیکی بین اکوتیپ‌های آویشن دنایی از نظر صفات و شاخص‌های مذکور است. نتایج تجزیه واریانس ساده نشان داد که بین اکوتیپ‌های موردمطالعه از نظر سه شاخص TOL، SSI و YSI اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۲). با توجه به بالا بودن ضریب تغییرات شاخص‌های TOL و SSI، از تبدیل داده‌ها به روش جذر گرفتن استفاده شد که با استفاده از این روش ضریب تغییرات این شاخص‌ها کاهش پیدا کرد (در جدول ۲ ضریب تغییرات پس از تبدیل داده‌ها آورده شده است) ولی این شاخص‌ها بازهم غیر معنی‌دار بودند.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس مرکب وزن خشک اندام هوایی در اکوتیپ‌های آویشن دنایی

Table 1. Combined analysis for shoot dry weight in Thymus daenensis subsp. daenensis ecotypes

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight
تنش Stress	1	14078.6**
تنش (تکرار) Stress (Replication)	6	122.46
اکوتیپ Ecotype	11	2266.94**
تنش × اکوتیپ Stress×Ecotype	11	53.34ns
خطا Error	66	49.73
ضریب تغییرات CV(%)	-	*11.74*

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

ns, * and **: Non-significant and significant at 5 and 1% probability levels respectively

مقایسه میانگین اکوتیپ‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تنها برای صفات و شاخص‌هایی که آزمون F برای آن‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲)، انجام شد که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش (۱۰۶/۷۲ گرم) و شرایط تنش (۷۴/۸۱ گرم) مربوط به اکوتیپ خرم‌آباد۱ و کمترین مقدار آن در شرایط بدون تنش (۳۹/۲۵ گرم) و شرایط تنش مربوط به اکوتیپ شازند بود (جدول ۳). بیشترین مقدار شاخص‌های MP (۹۰/۷۶)، GMP (۸۹/۲۵)، HM (۸۷/۷۷)، STI (۱/۵۳) و YI (۱/۵۶) در اکوتیپ خرم‌آباد۱ و کمترین مقدار شاخص‌های MP (۳۲/۰۸)، GMP (۳۰/۴۱)، HM (۲۸/۹۵)، STI (۰/۱۷) و YI (۰/۵۲) در اکوتیپ شازند مشاهده گردید (جدول ۳). با توجه به اینکه اکوتیپ خرم‌آباد۱ از نظر وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI در وضعیت مطلوبی قرار دارد لذا می‌توان آن را مناسب‌ترین اکوتیپ برای کشت در شرایط محدودیت آبی و شرایط آبیاری پیشنهاد نمود.

به‌منظور شناسایی اکوتیپ‌های برتر از نظر تحمل به خشکی، مقایسه اکوتیپ‌ها با استفاده از مطالعه شاخص‌های کمی تحمل به خشکی به‌صورت تکی و جداگانه کافی نیست و بنابراین می‌توان با استفاده از بررسی ضرایب همبستگی بین وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی، شاخص‌های تحمل را مورد ارزیابی قرار داد و مناسب‌ترین شاخص‌ها را انتخاب‌کرد. به‌طورکلی، شاخص‌هایی که در محیط تنش و بدون تنش دارای همبستگی بالایی با وزن خشک اندام هوایی باشند، به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند؛ زیرا این شاخص‌ها قادر به جدا کردن اکوتیپ‌هایی با وزن خشک اندام هوایی بالا در هر دو محیط می‌باشند (Fernandez, 1992). نتایج تجزیه همبستگی بین وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی با شاخص‌های تحمل به خشکی (جدول ۴) نشان داد که بین شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI (شاخص‌هایی که در جدول ۲ معنی‌دار بودند) همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود دارد، لذا می‌توان شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی عملکرد (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص عملکرد (YI) را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب اکوتیپ‌های متحمل به خشکی که در شرایط بدون تنش و تنش عملکرد بالایی دارند، در نظر گرفت. خورشیدی و همکاران (Khorshidi et

جدول ۲. تجزیه واریانس شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش در اکوتیپ‌های آویشن دنایی

Table 2. Analysis of variance for drought tolerance indices and shoot dry weight under non-stress and stress conditions in Thymus daenensis subsp. daenensis ecotypes

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش Yp	وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش Ys	شاخص تحمل TOL	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص میانگین بهره‌وری MP
Replication	تکرار	3	136.85*	108.04^{ns}	3.75*	0.15*	22.74^{ns}
Ecotype	اکوتیپ	11	1403.4**	916.9**	0.96^{ns}	0.046^{ns}	1133.52**
Error	خطا	33	34.81	64.66	1.2	0.042	25.95
CV (%)	ضریب تغییرات	-	*8.18*	*16.77*	*22.55*	*20.83*	*8.48*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	شاخص میانگین هندسی عملکرد GMP	شاخص میانگین هارمونیک HM	شاخص تحمل تنش STI	شاخص عملکرد YI	شاخص پایداری عملکرد YSI
Replication	تکرار	3	17.92^{ns}	24.39^{ns}	0.017^{ns}	0.047^{ns}	0.084*
Ecotype	اکوتیپ	11	1153.55**	1168.41**	0.636**	0.39**	0.014^{ns}
Error	خطا	33	33.12	42.14	0.019	0.028	0.009
CV (%)	ضریب تغییرات	-	*9.84*	*11.38*	*19.7*	*16.77*	*14.27*

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

^{ns}, * and **: Non-significant and significant at 5 and 1% probability levels respectively

جدول ۳. مقایسه میانگین شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش در اکوتیپ‌های آویشن دنایی

Table 3. Comparison of drought tolerance indices and shoot dry weight under non-stress and stress conditions in *Thymus daenensis* subsp. *daenensis* ecotypes

کد اکوتیپ Ecotype No.	نام اکوتیپ Ecotype Name	وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش Yp	وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش Ys	شاخص میانگین بهره‌وری MP	شاخص میانگین هندسی عملکرد GMP	شاخص میانگین هارمونیک HM	شاخص تحمل تنش STI	شاخص عملکرد YI
1	Arak2	54.18^{g}	29.53^{fg}	41.85^{g}	39.76^{g}	37.83^{fg}	0.31^{gh}	0.62^{fg}
2	Shazand	39.25^{h}	24.91^{g}	32.08^{h}	30.41^{h}	28.95^{g}	0.17^{h}	0.52^{g}
3	Isfahan	59.631^{fg}	35.42^{e-g}	47.52^{fg}	45.67^{fg}	43.93^{ef}	0.4^{fg}	0.73^{e-g}
4	Khoram abad1	106.72^{a}	74.81^{a}	90.76^{a}	89.25^{a}	87.77^{a}	1.53^{a}	1.56^{a}
5	Arak1	84.73^{c}	60.63^{bc}	72.68^{c}	71.54^{c}	70.44^{bc}	0.99^{c}	1.26^{bc}
6	Khoram abad2	97.36^{b}	66.66^{ab}	82.01^{b}	80.45^{b}	78.94^{ab}	1.24^{b}	1.39^{ab}
7	Fereydunshahr	81.8^{c}	59.74^{bc}	70.77^{cd}	69.6^{cd}	68.48^{c}	0.93^{cd}	1.24^{bc}
8	Malayer	61.74^{fg}	40.83^{d-f}	51.28^{ef}	49.64^{f}	48.11^{e}	0.47^{fg}	0.85^{d-f}
9	Aligudarz	71.52^{de}	41.56^{d-f}	56.54^{e}	54.14^{ef}	51.89^{de}	0.56^{ef}	0.87^{d-f}
10	Faridan	63.77^{ef}	46.17^{de}	54.97^{ef}	54.24^{ef}	53.52^{de}	0.57^{ef}	0.96^{de}
11	Hamadan	76.82^{cd}	51.22^{cd}	64.02^{d}	62.5^{de}	61.03^{cd}	0.75^{de}	1.07^{cd}
12	Semirom	68.35^{d-f}	43.75^{de}	56.05^{e}	54.64^{ef}	53.27^{de}	0.58^{ef}	0.91^{de}

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

Means in each column followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level by the Duncan's test.

al., 2016) شاخص‌های MP، GMP، HM و STI را برای گزینش اکوتیپ‌های متحمل به خشکی در آویشن دنایی گزارش کردند. صفری و جعفری (Safari and Jafari, 2012) شاخص‌های MP، GMP، HM و STI را برای شناسایی اکسشن‌های متحمل به خشکی در گونه مرتعی (*Agropyron trichophorum*) پیشنهاد نمودند. در بررسی انجام‌شده در گلرنگ بهاره به‌وسیله یاری و همکاران (Yari et al., 2016) مشخص شد که شاخص‌های MP، GMP، HM و STI برای شناسایی ارقام با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی در مرحله دانه‌بندی مناسب هستند. در بررسی ژنوتیپ‌های نخود در شرایط دیم و آبی شاخص‌های MP، GMP، HM و STI به‌عنوان شاخص‌های مناسب انتخاب شدند (Roozrokh et al., 2012). طهماسبی و محمدی دهبالایی (Tahmasebi and Mohammadi Dehbalaee, 2019) نیز شاخص‌های مذکور را برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در لوبیای سیاه گزارش کردند؛ بنابراین نتایج مطالعه حاضر با تحقیقات ذکرشده مطابقت دارد. نکته مهم در جدول ۴ این است که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی (۰/۸۲۳) وجود داشت که بیانگر افزایش یا کاهش هم‌جهت وزن خشک اندام هوایی تحت دو شرایط فوق است.

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش

Table 4. Correlation coefficient among drought tolerance indices and shoot dry weight under non-stress and stress conditions

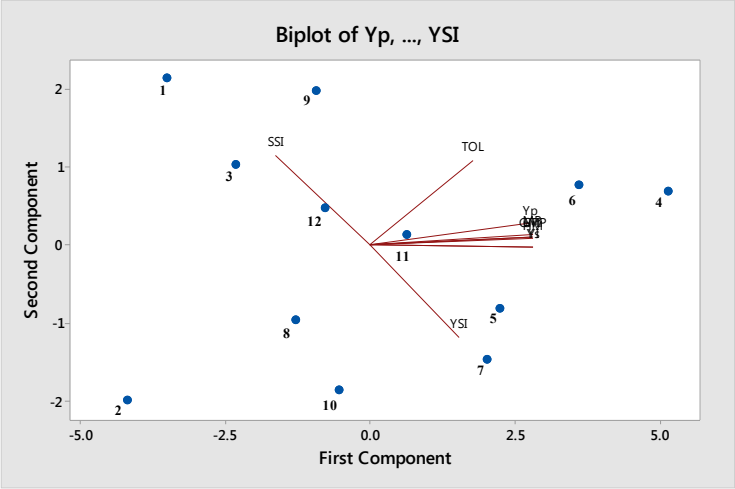
	وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش Yp	وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش Ys	شاخص تحمل TOL	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص میانگین بهره‌وری MP	شاخص میانگین هندسی عملکرد GMP	شاخص میانگین هارمونیک HM	شاخص تحمل تنش STI	شاخص عملکرد YI	شاخص پایداری عملکرد YSI
Yp	1									
Ys	0.823**	1								
TOL	0.515**	-0.063	1							
SSI	-0.001	-0.541**	0.815**	1						
MP	0.961**	0.947**	0.260	-0.262	1					
GMP	0.940**	0.967**	0.192	-0.323*	0.99**	1				
HM	0.917**	0.98**	0.132	-0.375*	0.99**	0.99**	1			
STI	0.932**	0.952**	0.2	-0.301*	0.98**	0.98**	0.98**	1		
YI	0.823**	1.00**	-0.063	-0.541**	0.94**	0.96**	0.98**	0.95**	1	
YSI	0.001	0.541**	-0.815**	-1.00**	0.262	0.33*	0.375*	0.301*	0.541**	1

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

* and **: Significant at 5 and 1% probability levels respectively

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 یک نمودار چندمتغیره موسوم به بای‌پلات استفاده شد (Fernandez, 1992). جهت ترسیم بای‌پلات از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده گردید. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول درمجموع ۹۹/۴۶ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه نمودند (جدول ۵). استفاده از این دو مؤلفه و چشم‌پوشی از سایر مؤلفه‌ها، تنها موجب از دست رفتن بخش ناچیزی از تغییرات بین داده‌ها شده و بنابراین ترسیم بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اول و دوم صورت گرفت (شکل ۱). در فضای بای‌پلات اکوتیپ‌ها در گروه‌های مشخصی قرار گرفتند که مرتبط با میانگین وزن خشک اندام هوایی و شاخص‌های تحمل به خشکی است. بر اساس نتایج جدول ۵ مشخص شد که مؤلفه اول درصد بالایی از کل تغییرات (۷۹/۴۲ درصد) را شامل می‌شود. این مؤلفه همبستگی مثبت و نسبتاً بالایی را با وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI نشان داد که این شاخص‌ها مرتبط با عملکرد می‌باشند و بنابراین می‌توان این

مؤلفه را به‌عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی نام‌گذاری کرد. 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. اکوتیپ‌های انتخاب‌شده بر اساس این مؤلفه دارای TOL، SSI و YSI پایین هستند. دومین مؤلفه ۲۰/۰۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمود و با شاخص‌های TOL و SSI همبستگی مثبت و بالا و با شاخص YSI همبستگی منفی و بالایی داشت (جدول ۵). بنابراین، این مؤلفه را می‌توان مؤلفه حساسیت به خشکی نام‌گذاری کرد؛ زیرا این مؤلفه قادر به شناسایی و انتخاب اکوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط تنش و مقادیر بالای TOL و SSI می‌شود. با توجه به دو مؤلفه اول و دوم، اکوتیپ‌ها در گروه‌های مشخص قرار می‌گیرند که مرتبط با میانگین وزن خشک اندام هوایی و تحمل به تنش آن‌ها است.



شکل ۱. نمودار بای‌پلات Yp، Ys و شاخص‌های موردمطالعه در اکوتیپ‌های آویشن دنایی بر اساس دو مؤلفه اول. (اسامی و شماره اکوتیپ‌ها بر اساس جدول شماره ۳ است)

Fig. 1. Biplot display for Yp, Ys and studied indices in Thymus daenensis subsp. daenensis ecotypes based on two first components. (The names and ecotype numbers are based on Table 3).

جدول ۵. مقادیر ویژه، واریانس تجمعی (٪) و بردارهای ویژه شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش و تنش

Table 5. Eigen values, cumulative variance and eigen vectors of drought tolerance indices and shoot dry weight under non-stress and stress conditions

مؤلفه Component	مقادیر ویژه Eigen value	واریانس تجمعی Cumulative variance (%)	وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش Yp	وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش Ys	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	شاخص پایداری عملکرد YSI
1	7.94	79.42	0.35	0.35	0.22	-0.20	0.353	0.35	0.354	0.35	0.35	0.19
2	2.01	99.46	0.13	-0.02	0.54	0.57	0.068	0.05	0.039	0.05	-0.01	-0.59

نمودار بای‌پلات (شکل ۱) نشان داد که اکوتیپ‌های شماره ۴، ۵، ۶، ۷ و ۱۱ (خرم‌آباد۱، اراک۱، خرم‌آباد۲، فریدون‌شهر و همدان) در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی شامل MP، GMP، HM، STI، YI قرار دارند؛ بنابراین این اکوتیپ‌ها را می‌توان به‌عنوان اکوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا در نظر گرفت. اکوتیپ‌های شماره ۱، ۲ (اراک۲ و شازند) در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی قرار

نداشتند. بنابراین، این اکوتیپ‌ها، اکوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد پایین می‌باشند. اکوتیپ‌های شماره ۳، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۲ (اصفهان، ملایر، الیگودرز، فریدن و سمیرم) در بین شاخص‌های مهم تحمل به خشکی و شاخص‌های حساسیت به خشکی (SSI و TOL) قرار داشتند. بنابراین، این اکوتیپ‌ها با پتانسیل عملکرد متوسط می‌باشند. به‌طورکلی، این نحوه توزیع اکوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات بیانگر وجود تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌ها نسبت به خشکی است (Alavi et al., 2014). همچنین، تشکیل زاویه حاده بین شاخص‌های انتخاب‌شده شامل MP، GMP، HM، STI، YI و وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش (Yp) و شرایط تنش (Ys) نشان‌دهنده وجود همبستگی بالا بین این شاخص‌ها و Yp و Ys است. صفری و جعفری (Safari and Jafari, 2012) با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان دادند که بیش از ۹۹ درصد از تنوع بین اکسشن‌ها برای تحمل به خشکی در گونه مرتعی (*Agropyron trichophorum*) به‌وسیله دو مؤلفه اول بیان می‌شود که مؤلفه اول را تحمل به خشکی و مؤلفه دوم را حساسیت به خشکی معرفی نمودند. یاری و همکاران (Yari et al., 2016) در بررسی تحمل به خشکی ارقام گلرنگ بهاره گزارش کردند که دو مؤلفه اول ۹۹/۵ درصد کل تغییرات داده‌ها را نشان می‌دهند و مؤلفه اول و دوم را به‌ترتیب مؤلفه تحمل و حساسیت به خشکی نام‌گذاری کردند. در مطالعه انجام‌شده به‌وسیله طهماسبی و محمدی دهبالایی (Tahmasebi and Mohammadi Dehbalaee, 2019) روی لوبیای سیاه با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مشخص شد که دو مؤلفه اول ۹۸/۹ درصد از کل تغییرات را توجیه می‌کنند و این دو مؤلفه را به‌ترتیب مؤلفه تحمل و حساسیت به تنش خشکی معرفی کردند؛ بنابراین نتایج این تحقیقات با نتایج این مطالعه مطابقت داشت.

به‌منظور گروه‌بندی اکوتیپ‌های موردبررسی بر مبنای وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش (Yp) و شرایط تنش (Ys) و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI (شاخص‌هایی که همبستگی مثبت و معنی‌دار با وزن خشک اندام هوایی در هر دو شرایط آزمایش داشتند) از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) و با محاسبه فاصله اقلیدسی به‌عنوان معیار تشابه استفاده شد. هدف از تجزیه خوشه‌ای در به‌نژادی گیاهی دسته‌بندی ارقام و لاین‌های مختلف، پی بردن به فاصله ژنتیکی بین آن‌ها و استفاده از تنوع ژنتیکی موجود در آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی است. با توجه به شاخص‌های مذکور و در محل فاصله اقلیدسی ۵/۵ اکوتیپ‌های موردمطالعه در سه گروه مجزا قرار گرفتند (شکل ۲). اکوتیپ‌های شماره ۱، ۲ (اراک۲ و شازند) در گروه اول قرار گرفتند (شکل ۲). اکوتیپ‌های این گروه از نظر Yp، Ys و تمام شاخص‌های مورداستفاده در تجزیه خوشه‌ای از میانگین جامعه و حتی در مقایسه با دو گروه دیگر پایین‌تر بودند (جدول ۶)؛ بنابراین این اکوتیپ‌ها را می‌توان به‌عنوان اکوتیپ‌های حساس به خشکی معرفی نمود.

جدول ۶. مقایسه میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در اکوتیپ‌های آویشن دنایی

Table 6. Comparison of Clusters obtained from cluster analysis in *Thymus daenensis* subsp. *daenensis* ecotypes

خوشه	Cluster	وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون تنش Yp	وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش Ys	شاخص میانگین بهره‌وری MP	شاخص میانگین هندسی عملکرد GMP	شاخص میانگین هارمونیک HM	شاخص تحمل تنش STI	شاخص عملکرد YI
خوشه ۱	Cluster 1	46.71^{c}	27.22^{c}	36.97^{c}	35.09^{c}	33.4^{c}	0.24^{b}	0.57^{c}
خوشه ۲	Cluster 2	65.01^{b}	41.54^{b}	53.27^{b}	51.66^{b}	50.14^{b}	0.52^{b}	0.87^{b}
خوشه ۳	Cluster 3	89.48^{a}	62.61^{a}	76.05^{a}	74.67^{a}	73.33^{a}	1.09^{a}	1.31^{a}
میانگین	Mean	72.16	47.94	60.05	58.49	57.01	0.71	0.99

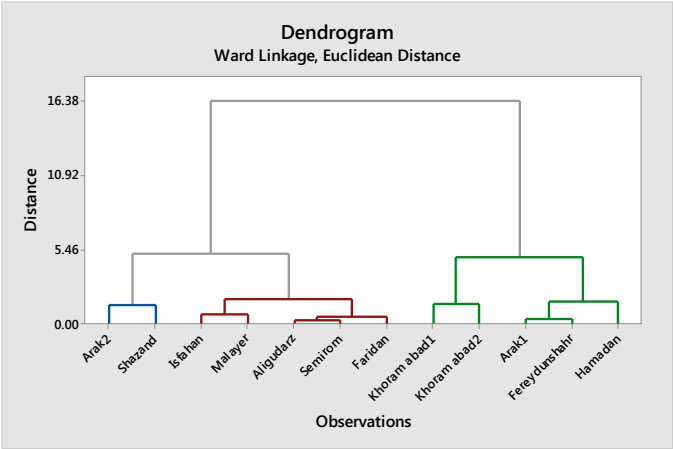
میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵٪ در آزمون دانکن با هم ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by the Duncan's test

اکوتیپ‌های شماره ۳، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۲ (اصفهان، ملایر، الیگودرز، فریدن و سمیرم) در گروه دوم قرار گرفتند (شکل ۲). مقادیر Yp، Ys و شاخص‌های کمی مورداستفاده برای اکوتیپ‌های این گروه از مقادیر میانگین جامعه کمتر بود و این مقادیر در حد متوسط دو گروه دیگر قرار داشتند (جدول ۶)؛ بنابراین اکوتیپ‌های این گروه نیمه‌حساس به خشکی می‌باشند. در گروه سوم اکوتیپ‌های شماره ۴، ۵، ۶، ۷ و ۱۱ (خرم‌آباد۱، اراک۱، خرم‌آباد۲، فریدون‌شهر و همدان) قرار

گرفتند (شکل ۲) که افراد این گروه از نظر تمام شاخص‌های مورداستفاده در تجزیه خوشه‌ای و Yp و Ys مقدار بیشتری در مقایسه با میانگین جامعه داشتند و این مقادیر در مقایسه با دو گروه دیگر نیز بیشتر بود (جدول ۶) و بنابراین می‌توان این اکوتیپ‌ها را متحمل به خشکی قلمداد نمود.

به‌منظور بررسی صحت گروه‌بندی‌های به‌دست‌آمده از روش تجزیه خوشه‌ای، از تابع تشخیص استفاده گردید که نتایج گروه‌بندی تابع تشخیص در جدول ۷ آمده است. نتایج تجزیه تابع تشخیص نشان داد که تمامی اکوتیپ‌ها به‌طور صحیح گروه‌بندی شده‌اند و میزان موفقیت تابع تشخیص برای تمامی گروه‌ها ۱۰۰ درصد است. تجزیه خوشه‌ای نتوانست اکوتیپ‌ها را بر اساس منشأ جمع‌آوری یا پراکنش جغرافیایی آن‌ها با توجه به شاخص‌های تحمل به خشکی به‌خوبی تفکیک نماید، بنابراین تنوع بین اکوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی نه‌تنها بین منطقه‌ای است، بلکه درون مناطق نیز این تنوع مشاهده می‌گردد. روش تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی ارقام و لاین‌های متحمل به خشکی بر مبنای MP، GMP، HM و STI توسط صفری و جعفری (Safari and Jafari, 2012) در گونه مرتعی (Agropyron trichophorum)، روزرخ و همکاران (Roozrokh et al., 2012) در نخود، علوی و همکاران (Alavi et al., 2014) در آفتابگردان و بر مبنای MP، GMP، HM، STI و YI توسط کاکایی و همکاران (Kakaei et al., 2011) در کلزا و بر مبنای Yp، Ys، MP، GMP، HM، STI، YI، TOL و SSI توسط طهماسب‌پور و همکاران (Tahmasebpour et al., 2019) در گندم نان موردبررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج جدول ۸ که فواصل بین گروه‌ها را نشان می‌دهد، مشخص شد که بیشترین فاصله ژنتیکی بین گروه‌های اول و سوم وجود دارد؛ بنابراین بر طبق شرایط این آزمایش تلاقی بین اکوتیپ‌های گروه اول (اراک۲ و شازند) با اکوتیپ‌های گروه سوم (خرم‌آباد۱، اراک۱، خرم‌آباد۲، فریدون‌شهر و همدان)، احتمالاً تنوع ژنتیکی و میزان هتروزیس بالاتری را ایجاد خواهد نمود.



شکل۲. دندروگرام تجزیه خوشه‌ای در اکوتیپ‌های آویشن دنایی بر مبنای Yp، Ys، MP، GMP، HM، STI و YI

Fig. 2. Dendrogram of cluster analysis in Thymus daenensis subsp. daenensis ecotypes based on Yp, Ys, MP, GMP, HM, STI and YI

جدول ۷. نتایج تابع تشخیص برای گروه‌بندی اکوتیپ‌های آویشن دنایی

Table 7. Result of discriminant analysis for grouping of *Thymus daenensis* subsp. *daenensis* ecotypes

	گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای Groups based on cluster analysis	گروه‌های پیش‌بینی‌شده Predicted group membership			کل Total
		1	2	3	
مجموع Count	1	2	-	-	2
	2	-	5	-	5
	3	-	-	5	5
درصد Percentage (%)	1	100	-	-	100
	2	-	100	-	100
	3	-	-	100	100

جدول ۸. فواصل بین مرکز گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای
Table 8. Distances between centers of groups from cluster analysis

گروه Cluster	1	2	3
1	-	2.46	6.07
2		-	3.62
3			-

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طورکلی نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که بین اکوتیپ‌ها از نظر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. نتایج تجزیه واریانس ساده نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین اکوتیپ‌ها از نظر Yp و Ys و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI وجود دارد و بین اکوتیپ‌های موردمطالعه از نظر سه شاخص TOL، SSI و YSI اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. نتایج 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. بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دو مؤلفه اول و دوم توانستند ۹۹/۴۶ درصد از کل تغییرات بین داده‌ها را توجیه کنند و نمودار چند متغیره بای‌پلات حاصل از دو مؤلفه اول نشان داد که اکوتیپ‌های خرم‌آباد۱، اراک۱، خرم‌آباد۲، فریدون‌شهر و همدان 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 سوم شامل خرم‌آباد۱، اراک۱، خرم‌آباد۲، فریدون‌شهر و همدان را به‌عنوان اکوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا و اکوتیپ‌های گروه اول شامل اراک۲ و شازند را به‌عنوان اکوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد پایین پیشنهاد نمود و تلاقی بین اکوتیپ‌های گروه اول و سوم می‌تواند بیشترین میزان تنوع ژنتیکی و هتروزیس را ایجاد نماید.

منابع

Alavi, S.R., Darvishzadeh, R., Valizadeh, M., Moghadam, M., Farrokhi, E., Basirnia, A., Pirzad, A., 2014. Evaluation of drought tolerance indices in various sunflowers cultivars (*Helianthus annuus* L.). Research in Field Crops. 2, 16-27. [In Persian with English Summary].

Bouslama, M., Schapaugh, J., 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three Screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science. 24, 933-937.

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.

Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought tolerance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research. 2, 897-912.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R.G., Ricciardi G.L., Borghi. B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Cananian Journal of Plant Science. 77, 523-531.

Golparvar, A.R., Majidi Heravan, A., Ghasemi Pir Bloti, A., 2004. Genetic improvement of yield potential and drought resistance in wheat genotypes (*Triticum aestivum*). Journal of Dryness and Drought, Agricultural Extension, 3, 13-23. [In Persian].

Jamzad, Z., 2009. Thymus and Satureja species of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran. 171p. [In Persian].

Kakaei, M., Zebarjadi, A., Mostafaie, A., Rezaeizad, A., 2011. Determination of drought tolerant genotypes in Brassica napus L. based on drought tolerance indices. Journal of Crop Production. 3, 107-124. [In Persian with English Summary].

Khorshidi, J., Shokrpour, M., Nazeri, V., 2016. Evaluation of response to water deficit stress in Thymus daenensis subsp. daenensis using stress tolerance indices. Iranian Journal of Horticultural Science. 46, 563-574. [In Persian with English Summary].

Kristin, A.S., Serna, R.R., Perez, F.I., Enriquez, B.C., Gallegos, A.A., Vallejo, P.R., Wassimi, N., Kelley, J.D., 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science. 37, 43-50.

Nickavar, B., Mojab, F., Dolat-Abadi, R., 2005. Analysis of the essential oils of two Thymus species from Iran. Food Chemistry. 90, 609-611.

Omidbaigi, R., 2015. Production and Processing of Medicinal Plants. Astane ghodse Razavi. 348p. [In Persian].

Roozrokh, M., Sabaghpour, S.H., Armin, M., 2012. Determining the best indices of drought tolerance in chickpea genotypes. Journal of Plant Ecophysiology. 4, 25-36. [In Persian with English Summary].

Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science. 21, 943-946.

Safari, H., Jafari, A.A., 2012. Drought resistance evaluation based on forage yield in accessions of Agropyron trichophorum by drought resistance indices. Iranian journal of Range and Desert Reseach. 19, 640-654. [In Persian with English Summary].

Tahmasebi, Z., Mohammadi dehbalaee, H., 2019. Evaluation of black bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 197-207. [In Persian].

Tahmasebpour, B., Jahanbakhsh, S., Tarinejad, A.R., Mohammadi, H., 2019. Identification of common wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought stress tolerance. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 663-672. [In Persian].

Yari, P., Keshtkar, A.H., Mazahery Laghab, H., 2016. Evaluation of water stress in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars using tolerance indices in Hamadan region. Journal of Crop Breeding. 8, 88-96. [In Persian with English Summary].