

گزینش اکوتیپ‌های بومی گشنیز متحمل به خشکی براساس عملکرد میوه و صفات مرتبط به کمک شاخص‌های تک‌متغیره و چندمتغیره

پیمان عینی‌زاده^۱، حمید دهقانی^{۲*} و مصطفی خدادادی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۷)

چکیده

گشنیز گیاهی یک‌ساله و متعلق به خانواده چتریان است که عملکرد آن تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرد. به‌منظور معرفی متحمل‌ترین اکوتیپ‌های گشنیز بومی ایران به تنش خشکی، براساس چندین صفت اقتصادی و گزینش آنها برای بهبود هم‌زمان و پایدار این صفات در نسل‌های بعد به کمک شاخص‌های تک‌متغیره و چندمتغیره، سه آزمایش (بدون تنش، تنش یکباره و تنش تدریجی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۴ اجرا شد. از صفات اقتصادی با وراثت‌پذیری بالا و همبستگی بالا با عملکرد و محتوای اسانس میوه جهت محاسبه شاخص چندمتغیره مقادیر تابع عضویت برای تحمل به خشکی (MFVD; Membership Function Value of Drought tolerance) و آنالیز گرافیکی چندمتغیره مبتنی بر تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCAMMI; Principal Component Analysis Mediated Multivariate Index) استفاده شد. بای‌پلات ژنوتیپ در محیط - صفت و شاخص چندمتغیره MFVD برای آزمایشات بدون تنش و دارای تنش خشکی رسم شد، همچنین گروه‌بندی اکوتیپ‌ها، صفات و شاخص‌ها و نمایش نحوه بروز آنها در محیط‌ها به کمک نقشه‌ی گرافیکی هیت‌مپ انجام و اکوتیپ‌های پایدار و شاخص‌های مناسب جهت گزینش مشخص شدند. تنوع چشمگیری در بین اکوتیپ‌ها مشاهده شد. شاخص‌های Stress Tolerance Index (STI) و Geometric Mean Productivity (GMP) برای شناسایی اکوتیپ‌های گروه B و شاخص‌های Tolerance Index (TOL) و Mean Productivity (MP) برای شناسایی اکوتیپ‌های گروه C مناسب بودند. شاخص چندمتغیره MFVD تنها با صفت وزن هزار میوه در یک گروه قرار گرفت. بنابراین، این شاخص در تفکیک اکوتیپ‌ها کارایی خوبی نداشت. اکوتیپ‌ها به کمک روش گرافیکی PCAMMI گروه‌بندی شدند و در تنش یکباره اکوتیپ‌های ۶، ۱۲ و ۱۴ و در تنش تدریجی اکوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۵، ۸ و ۱۱ در گروه A قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، سازگاری به تنش خشکی، شاخص‌های تحمل، شاخص چندمتغیره، نقشه گرافیکی هیت‌مپ

۱، ۲ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانش‌آموخته دکتری، گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: dehghanr@modares.ac.ir

مقدمه

گشنیز گیاهی یکساله و متعلق به خانواده چتریان (*Apiaceae*) است (۴) که علاوه بر مصرف خوراکی در صنایع دارویی، عطرسازی، لوازم آرایشی و بهداشتی و ادویه‌ای دارای کاربردهای ویژه‌ای است (۱۶). سرعت بالای رشد رویشی و تشکیل بذر به این گیاه اجازه می‌دهد تا در فصول رشدی مختلف و همچنین در دامنه وسیعی از شرایط آب‌وهوایی سازگاری پیدا کند (۱۲ و ۲۲). بنابراین، این گیاه می‌تواند در اقلیم‌های متفاوت ایران مورد کشت و زرع قرار بگیرد.

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولید محصولات کشاورزی را با محدودیت روبه‌رو می‌کند. یکی از حساس‌ترین مراحل رشدی گیاهان به تنش خشکی، مرحله زایشی و تشکیل بذر است که بعضی از گونه‌های گیاهی می‌توانند چرخه زندگی خود را در شرایط مناسب کامل کنند و یا با برخی تغییرات مورفولوژیکی و متابولیکی به آن سازگار شوند (۱، ۲۱ و ۳۰).

یکی از روش‌های گزینش برای تحمل به تنش استفاده از شاخص‌های تک و چندمتغیره مرتبط با تنش خشکی است. براساس اعتقاد فیشر، معیار مقاومت به خشکی وضعیت عملکرد دانه در شرایط خشک است. در این راستا فیشر و مائورر، با بررسی تأثیر عملکرد بالقوه بر روی عملکرد در شرایط تنش خشکی در گندم، شاخص حساسیت نسبی (*SSI*; *Stress Susceptibility Index*) را ارائه کردند (۱۱). هر چه مقدار *SSI* برای یک ژنوتیپ کمتر باشد، آن ژنوتیپ مقاومت بیشتری به تنش دارد. با وجود این گزینش براساس شاخص *SSI*، عموماً ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالقوه کمی داشته ولی در شرایط تنش عملکرد خوبی داشتند، انتخاب می‌شوند. برای ارزیابی ارقام مقاوم به خشکی، راشیل و هامبلین شاخص‌های تحمل (*TOL*) و متوسط محصول‌دهی (*MP*) را پیشنهاد دادند (۲۵).

شاخص *TOL* به صورت اختلاف عملکرد ژنوتیپ در محیط تنش و بدون تنش و شاخص *MP* میانگین عملکرد ژنوتیپ در هر دو شرایط است و به دلیل تفاوت زیاد بین عملکرد در دو محیط دارای آبیاری به طرف بالا است. در آزمایشی که فرناندز (۱۰)، روی

ژنوتیپ‌های لوییا در دو محیط تنش و بدون تنش انجام داد، ژنوتیپ‌ها را براساس تظاهر عملکرد در دو محیط به چهار گروه تقسیم کرد:

الف- ژنوتیپ‌هایی که تظاهر یکسانی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارا هستند (گروه A).

ب- ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط بدون تنش تظاهر خوبی دارند (گروه B).

ج- ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش تظاهر خوبی دارند (گروه C).

د- ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تظاهر خوبی ندارند (گروه D).

انتخاب براساس شاخص *SSI* سبب گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط بدون تنش و عملکرد بالا در شرایط همراه با تنش می‌شود. بنابراین این شاخص قادر به تفکیک گروه A و گروه C از یکدیگر نیستند. در این راستا فرناندز (۱۰)، برای شناسایی ارقام گروه A شاخص تحمل به تنش (*STI*) را ارائه کرد. از آنجایی که شدت تنش خشکی در سال‌های مختلف متفاوت است، کریستین و همکاران (۲۰) جهت تعیین میزان مقاومت ژنوتیپ‌ها به تنش از میانگین هندسی ژنوتیپ‌ها (*GMP*) در دو محیط استفاده کردند.

گاهی ممکن است هدف از گزینش، بهبود هم‌زمان چندین صفت باشد و یا ممکن است به دلیل وراثت‌پذیری پایین صفت اقتصادی مورد نظر، گزینش مستقیم کارایی نداشته باشد. بنابراین گزینش باید به صورت غیرمستقیم و به کمک صفات مرتبط با صفت اقتصادی مورد نظر انجام شود که نتیجه آن به نسل‌های بعد هم منتقل شود. بنابراین در سال‌های اخیر چندین شاخص چندمتغیره تحمل به تنش معرفی شده‌اند که در این تحقیق از دو شاخص *MFVD* و *PCAMMI* استفاده شد. شاخص *MFVD* توسط چن و همکاران برای غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گندم استفاده شد (۳). در این شاخص عملکرد و صفات مرتبط با عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش در نظر گرفته شده است. این

که در شرایط بدون تنش، آبیاری در زمان رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد آب در دسترس گیاه (PAW; Plant Available Water) انجام شد. در رژیم آبیاری تنش یکباره، آبیاری تا زمان شروع تشکیل میوه به صورت معمولی انجام و سپس تا زمان برداشت میوه قطع شد. در رژیم آبیاری تنش تدریجی، تنش در دو مرحله بدین صورت اعمال شد که تا مرحله ساقه‌دهی آبیاری به صورت معمولی و از ساقه‌دهی تا شروع تشکیل میوه در زمان رسیدن رطوبت خاک به ۳۰ درصد PAW انجام شد و از آن پس آبیاری قطع شد. لازم به ذکر است که در این گیاه با توجه به تحقیقات پیشین (۶)، تعداد روز از ساقه‌دهی تا شروع تشکیل میوه بین ۱۰ (زودرس‌ترین اکوتیپ) تا ۲۵ (دیررس‌ترین اکوتیپ) روز و از شروع تشکیل میوه تا زمان رسیدگی فیزیولوژیکی و برداشت بین ۱۵ (زودرس‌ترین اکوتیپ) تا ۲۵ (دیررس‌ترین اکوتیپ) روز زمان نیاز است.

نحوه شناسایی PAW و زمان آبیاری بدین صورت بود که ابتدا از خاک نمونه برداری شده و نقطه ظرفیت زراعی و همین‌طور نقطه پژمردگی دائم مشخص شد و رطوبت بین این دو نقطه به عنوان PAW در نظر گرفته شد. سپس هم‌زمان با انجام عملیات کاشت، یک کرت مازاد نیز کشت شد که به کمک آن منحنی رطوبتی خاک رسم و زمان تقریبی رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد و ۳۰ درصد PAW مشخص شد. سپس در آن زمان‌ها از خاک موجود در عمق ریشه کرت‌های آزمایشی نمونه برداری و رطوبت محاسبه می‌شد و در صورت نیاز آبیاری صورت می‌گرفت.

صفات ارزیابی شده و نحوه اندازه‌گیری

در این تحقیق صفات اقتصادی با وراثت‌پذیری و همبستگی بالا با عملکرد در گشنیز (۶ و ۷) شامل تعداد برگ پایه، تعداد شاخه در بوته، تعداد میوه در بوته، وزن هزار میوه، عملکرد میوه در بوته و محتوای اسانس میوه مورد ارزیابی قرار گرفتند. دلیل استفاده از صفات با وراثت‌پذیری و همبستگی بالا با عملکرد میوه، تحت تأثیر قرار دادن وراثت‌پذیری شاخص‌های چندمتغیره و افزایش اطمینان از نتیجه این شاخص‌ها برای

شاخص دارای معیابی نیز هست که عبارتند از وراثت‌پذیری پایین، عدم توانایی تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A و وجود مشکل هم‌راستایی چندگانه (۱۹). شاخص PCAMMI توسط خدادادی و همکاران ارائه شد (۱۹). این شاخص براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استوار است که به کمک نمودار دو بعدی حاوی چهار ناحیه A، B، C و D که به ترتیب تعیین کننده ژنوتیپ‌های گروه‌های A، B، C و D توصیف شده توسط فرناندز هستند، ژنوتیپ‌ها را از هم تفکیک می‌کند (۱۰).

هدف این پژوهش انتخاب برای بهبود هم‌زمان چند صفت اقتصادی از جمله عملکرد میوه و میزان اسانس میوه در گیاه گشنیز برای کشت در شرایط بدون تنش و تنش خشکی بوده است. لذا فرض تحقیق بر آن است که اکوتیپ‌های مختلف گشنیز، تنوع ژنتیکی بالایی از لحاظ صفات مورد بررسی نشان خواهند داد و با استفاده از شاخص‌های تک‌متغیره و شاخص‌های چندمتغیره تحمل به تنش خشکی مناسب‌ترین اکوتیپ برای هریک از شرایط آبیاری مشخص خواهد شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و نحوه اعمال تنش

به منظور شناسایی اکوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی یکباره و تدریجی به کمک شاخص‌های تک و چندمتغیره سه آزمایش جداگانه (بدون تنش، تنش یکباره و تنش تدریجی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. لازم به ذکر است که مطابق آزمایش پیشین آزمایش‌ها در یک مزرعه تحقیقاتی و در کنار یکدیگر اجرا شد (۱۸). در این تحقیق ۱۴ اکوتیپ گشنیز بومی ایران که از بانک ژن گیاهی ملی ایران تهیه شده بودند، به همراه یک رقم تجاری مورد استفاده قرار گرفتند. (جدول ۱)

پس از عملیات تهیه زمین، کرت‌های آزمایشی به ابعاد ۲ × ۲ متر آماده شدند و براساس تحقیقات پیشین (۵ و ۶) کشت با تراکم ۱۵ × ۳۰ سانتی‌متر مربع انجام شد. نحوه آبیاری و اعمال تنش بدین صورت بود

جدول ۱. کد، شماره و محل جمع‌آوری اکوتیپ‌های گشنیز مورد بررسی

کد	اکوتیپ	محل جمع‌آوری	کد	اکوتیپ	محل جمع‌آوری
P1	Commercial	کرج	P9	TN-59-230	بوشهر
P2	TN-59-10	یزد	P10	TN-59-306	آذربایجان غربی
P3	TN-59-36	فارس	P11	TN-59-347	لرستان
P4	TN-59-80	اصفهان	P12	TN-59-353	مرکزی
P5	TN-59-157	همدان	P13	TN-59-357	کردستان
P6	TN-59-158	همدان	P14	TN-59-422	اصفهان
P7	TN-59-160	مازندران	P15	TN-59-450	فارس
P8	TN-59-164	مرکزی			

$$DSI = \frac{Y_p - Y_s}{Y_p} \quad [6]$$

در این فرمول‌ها، Y_s عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش، Y_p عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، \bar{Y}_s میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و \bar{Y}_p میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش است.

محاسبه شاخص‌های چندمتغیره MFVD و PCAMMI

شاخص MFVD به کمک فرمول (۷) محاسبه شد:

$$U_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_{ij} \quad [7]$$

در این رابطه، U_i میانگین U_{ij} برای ژنوتیپ i ام و صفت j ام است و U_{ij} مقدار MFVD است که برابر است با (فرمول ۸):

$$U_{ij} = \frac{DC_{ij} - DC_{jmin}}{DC_{jmax} - DC_{jmin}} \quad [8]$$

در این رابطه، U_{ij} مقدار MFVD برای ژنوتیپ i ام از لحاظ صفت j ام برای تحمل به تنش خشکی، DC_{ij} ضریب تحمل به خشکی برای ژنوتیپ i ام و صفت j ام، DC_{jmax} و DC_{jmin} به ترتیب ضریب تحمل به خشکی حداکثر و حداقل محاسبه شده برای صفت j ام است. DC_{ij} به کمک فرمول (۹) قابل محاسبه است:

$$DC_{ij} = \frac{X_{ijws}}{X_{ijww}} \quad [9]$$

نسل‌های بعد بود. لازم به ذکر است که برای اندازه‌گیری محتوای اسانس ۱۰ گرم میوه توسط آسیاب پودر شده و محتوای اسانس آن توسط دستگاه کلونجر به روش موتس و همکاران (۲۴) اندازه‌گیری شد.

محاسبه شاخص‌های تک‌متغیره

شش شاخص تک‌متغیره شامل شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص تحمل (TOL)، بهره‌وری متوسط (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و حساسیت به خشکی (DSI) با استفاده از فرمول‌های ۱ تا ۶ محاسبه شدند:

$$SSI = \frac{1 - \left(\frac{Y_s}{Y_p}\right)}{1 - \left(\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}\right)} \quad [1]$$

$$STI = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(\bar{Y}_p)^2} \quad [2]$$

$$TOL = Y_p - Y \quad [3]$$

$$MP = \frac{(Y_s + Y_p)}{2} \quad [4]$$

$$GMP = \sqrt{(Y_s \cdot Y_p)} \quad [5]$$

بر اساس این روش چندمتغیره به کمک نرم‌افزار SPSS 22 (۲۷) انجام گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس مرکب تک‌متغیره برای همه صفات نشان داد که میان آزمایشات از لحاظ همه صفات به جز صفات تعداد برگ پایه و تعداد شاخه اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). همچنین میان اکوتیپ‌ها از لحاظ همه صفات اختلافات معنی‌داری وجود داشت. اثر متقابل اکوتیپ در آزمایش نیز برای همه صفات به جز تعداد برگ پایه و وزن هزار میوه معنی‌دار بود. بدین معنی که به جز در این صفات، پاسخ اکوتیپ‌های مختلف به سطوح رژیم آبیاری با یکدیگر متفاوت بوده است و لازم است که انتخاب اکوتیپ مناسب بر اساس محیط کشت هدف انجام گیرد.

شاخص‌های تک‌متغیره و شاخص چندمتغیره MFVD

در این تحقیق، شش شاخص تک‌متغیره که عموماً جهت بررسی تحمل به تنش به کار می‌روند، محاسبه شد. لازم به ذکر است که شدت تنش (SI) وارده بر روی عملکرد میوه برای رژیم رطوبتی تنش یکباره ۰/۷۱ و برای رژیم رطوبتی تنش تدریجی ۰/۷۳ محاسبه شد.

بیشترین مقادیر شاخص‌های MP، GMP، TOL و STI در رژیم رطوبتی تنش یکباره مربوط به اکوتیپ ۱۰ و برای شاخص‌های SSI و STI مربوط به اکوتیپ ۱۱ بود (جدول ۳). بالا بودن سه شاخص MP، GMP و TOL در اکوتیپ ۱۰، نشان‌دهنده بالا بودن عملکرد این اکوتیپ در شرایط بدون تنش و همچنین اختلاف زیاد عملکرد آن در شرایط بدون تنش و تنش است. بالا بودن شاخص SSI و پایین بودن نسبی شاخص‌های MP و GMP در اکوتیپ ۱۱، نشان از بالا بودن اختلاف عملکرد این اکوتیپ در شرایط بدون تنش و تنش و همچنین کم بودن مقدار عملکرد در هر دو آزمایش دارد، به طوری که این موارد به خوبی در مقادیر عملکرد شرایط بدون

در شاخص PCAMMI از ضرایب مؤلفه‌های اصلی بر اساس داده‌های ماتریس (Drought-tolerance Coefficient) DC برای تفکیک ژنوتیپ‌های گروه‌های B و D و از ضرایب مؤلفه‌های اصلی بر اساس داده‌های ماتریس (Yield Product) YPr برای تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A و C استفاده می‌شود. مراحل محاسباتی این روش به صورت زیر انجام می‌شود.

$$YPr_{ij} = Y_{ijws} \times Y_{ijww} \quad [10]$$

در این رابطه حاصل ضرب عملکرد ژنوتیپ آم برای صفت لازم، Y_{ijws} و Y_{ijww} به ترتیب ارزش صفت لازم برای ژنوتیپ آم در شرایط تنش خشکی و بدون تنش است. پس از به دست آوردن مقادیر ماتریس‌های YPr و DC، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به طور مجزا بر روی هر کدام از این ماتریس‌ها انجام شده و در هر مورد آن تعدادی از مؤلفه‌های معنی‌دار انتخاب و مطابق فرمول‌های ۱۱ و ۱۲، محورهای نمودار دو بعدی ذکر شده به دست می‌آیند.

$$Y_{axis} = \sum_{i=1}^n PCS_{YPr} \quad [11]$$

$$X_{axis} = \sum_{i=1}^n PCS_{DC} \quad [12]$$

در این رابطه $\sum_{i=1}^n PCS_{DC}$ و $\sum_{i=1}^n PCS_{YPr}$ به ترتیب مجموع ضرایب مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار برای YPr و DC ژنوتیپ آم هستند. شاخص‌ها به کمک نرم‌افزارهای EXCEL 2013، MINITAB 15 (۲۲) و SPSS 22 (۲۷) محاسبه شدند.

آنالیز گرافیکی بای‌پلات، هیت‌مپ و شاخص PCAMMI

بای‌پلات ژنوتیپ در محیط - صفت توسط نرم‌افزار MINITAB ver. 15 (۲۲) انجام شد. خوشه‌بندی اکوتیپ‌ها و شاخص‌ها به روش وارد و هوک (۲۸) و ضریب مربع فاصله اقلیدسی انجام شد و نقشه هیت‌مپ مربوطه توسط نرم‌افزار Metaboanalyst 3.0 (۲۹) رسم شد. همچنین آنالیز گرافیکی PCAMMI و گروه‌بندی اکوتیپ‌های مورد بررسی

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد استفاده برای گزینش به کمک شاخص‌های چندمتغیره در اکوتیپ‌های گشنیز بومی ایران تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییر	BLno	Bno	Fno	FTW	Yld	Es
رژیم آبیاری	۲۶۷/۶ ^{ns}	۹۹/۶ ^{ns}	۱۰۲۹۲۸۴۷/۸ ^{**}	۲۱۴/۴ ^{**}	۲۲۷۷/۱ ^{**}	۰/۰۰۱۸*
خطای اصلی	۱۰۰/۴	۲۱/۵	۱۰۴۶۴۳/۸	۳/۰	۹/۸	۰/۰۰۰۳
اکوتیپ	۶۴/۱ ^{**}	۳۱/۱ ^{**}	۵۶۰۲۲۲/۵ ^{**}	۱۸/۰ ^{**}	۴۸/۰ ^{**}	۰/۰۰۰۱ ^{**}
اکوتیپ × رژیم آبیاری	۲۲/۴ ^{ns}	۵/۰ ^{ns}	۳۳۰۲۹۴/۷ ^{**}	۷/۶ ^{ns}	۵۸/۷ ^{**}	۰/۰۰۰۴ ^{**}
خطای فرعی	۸/۷	۳/۱	۳۲۱۸۶/۶	۴/۹	۴/۹	۰/۰۰۰۲

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد. BLno، تعداد برگ پایه؛ Bno، تعداد شاخه؛ Fno، تعداد میوه در بوته؛ FTW، وزن هزار میوه؛ Yld، عملکرد میوه؛ Es و HI، میزان اسانس میوه

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های تک و چندمتغیره اکوتیپ‌ها در رژیم رطوبتی تنش یکباره

اکوتیپ	Yn	Ys1	MP	GMP	TOL	SSI	STI	DSI	MFVD
P1	۲۱/۷۷	۵/۳۰	۱۳/۵۳	۱۰/۷۴	۱۶/۴۷	۱/۰۶	۰/۳۹	۰/۷۵	۰/۳۷
P2	۱۴/۸۳	۹/۲۴	۱۲/۰۳	۱۱/۷۰	۵/۵۹	۰/۵۳	۰/۴۶	۰/۳۷	۰/۴۷
P3	۱۸/۴۶	۷/۱۳	۱۲/۸۰	۱۱/۴۷	۱۱/۳۳	۰/۸۶	۰/۴۵	۰/۶۱	۰/۲۱
P4	۲۰/۶۵	۳/۷۱	۱۲/۱۸	۸/۷۶	۱۶/۹۳	۱/۱۵	۰/۲۶	۰/۸۲	۰/۲۳
P5	۱۰/۳۷	۶/۰۵	۸/۲۱	۷/۹۲	۴/۳۲	۰/۵۸	۰/۲۱	۰/۴۱	۰/۴۰
P6	۲۰/۰۶	۵/۱۳	۱۲/۶۰	۱۰/۱۴	۱۴/۹۳	۱/۰۴	۰/۳۵	۰/۷۴	۰/۳۲
P7	۱۸/۸۵	۴/۵۱	۱۱/۶۸	۹/۲۲	۱۴/۳۴	۱/۰۷	۰/۲۹	۰/۷۶	۰/۳۳
P8	۱۲/۶۳	۶/۲۰	۹/۴۱	۸/۸۵	۶/۴۳	۰/۷۱	۰/۲۶	۰/۵۰	۰/۲۵
P9	۰/۸۰	۳/۶۳	۲/۲۲	۱/۷۱	-۲/۸۲	-۴/۹۳	۰/۰۱	-۳/۵۰	۰/۸۱
P10	۲۷/۹۸	۵/۲۸	۱۶/۶۳	۱۲/۱۵	۲۲/۷۰	۱/۱۴	۰/۵۰	۰/۸۱	۰/۳۰
P11	۱۳/۸۳	۱/۴۶	۷/۶۵	۴/۵۰	۱۲/۳۶	۱/۲۵	۰/۰۶	۰/۸۹	۰/۳۲
P12	۱۳/۶۰	۴/۶۶	۹/۱۳	۷/۹۶	۸/۹۴	۰/۹۲	۰/۲۱	۰/۶۵	۰/۳۰
P13	۲۲/۶۶	۳/۴۶	۱۳/۰۶	۸/۸۶	۱۹/۲۰	۱/۱۹	۰/۲۶	۰/۸۴	۰/۳۷
P14	۲۵/۲۲	۲/۸۱	۱۴/۰۱	۸/۴۱	۲۲/۴۱	۱/۲۵	۰/۲۴	۰/۸۸	۰/۲۲
P15	۱۴/۵۴	۵/۶۰	۱۰/۰۷	۹/۰۲	۸/۹۴	۰/۸۶	۰/۲۷	۰/۶۱	۰/۱۵

Yn، عملکرد شرایط نرمال؛ Ys1، عملکرد شرایط تنش یکباره؛ MP، میانگین بهره‌وری؛ GMP، میانگین هندسی بهره‌وری؛ TOL، شاخص تحمل؛ SSI، شاخص حساسیت به تنش؛ STI، شاخص تحمل تنش؛ DSI، شاخص حساسیت به خشکی؛ MFVD، مقدار تابع عضویت تحمل خشکی

شاخص‌های TOL ، SSI و DSI و همچنین پایین بودن MP و GMP در اکوتیپ ۱۰، نشان‌دهنده عملکرد بالای این اکوتیپ در شرایط بدون تنش و اختلاف زیاد آن با تنش تدریجی و در نتیجه حساسیت زیاد این اکوتیپ به این نوع تنش است. در این آزمایش نیز مقادیر شاخص‌های TOL ، SSI و DSI برای اکوتیپ ۹ منفی برآورد شد. به نظر می‌رسد اکوتیپ ۴ با دارا بودن بیشترین عملکرد در شرایط تنش و حساسیت کمتر به تنش تدریجی برای کشت در مناطقی که تنش خشکی طول فصل در آنها وجود دارد، مناسب‌ترین اکوتیپ است. اکوتیپ ۹ نیز به دلیل سرعت زیاد آن در تکمیل مراحل رشدی و عدم برخورد با تنش و همچنین جثه کوچک‌تر بوته نسبت به اکوتیپ‌های دیگر، با افزایش تراکم کشت می‌تواند در این مناطق توصیه شود (جدول ۴). البته باید به این نکته توجه شود که افزایش بیش از حد تراکم باعث افزایش سایه‌اندازی و کاهش تولید گل و میوه می‌شود.

بر اساس نتایج نشان داده شده در جدول‌های ۳ و ۴ و موارد ذکر شده در مورد روش چندمتغیره $MFVD$ متحمل‌ترین اکوتیپ‌ها با در نظر گرفتن همه صفات مهم اقتصادی اکوتیپ‌های ۵ و ۹ بودند. بنابراین گزینش این دو اکوتیپ می‌تواند در افزایش تحمل گیاه گشنیز به خشکی طول فصل در نسل‌های بعدی تأثیرگذار است.

همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد میوه

(جدول ۵) مقادیر ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص‌ها و عملکرد بدون تنش و تنش یکباره و آزمایش بدون تنش و تنش تدریجی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود همبستگی دو شاخص SSI و DSI در هر دو آزمایش تنش برابر یک بود. در مطالعات دیگر نیز همبستگی‌های بالایی بین این دو شاخص گزارش شده است (۲ و ۸). در هر دو آزمایش همبستگی بیشتر شاخص‌ها با عملکرد میوه در شرایط بدون تنش (Y_p) بیشتر از عملکرد در شرایط تنش (Y_s) بود. در تحقیق زینالی و همکاران (۳۰) بر روی گیاه سویا نیز نتایج

تنش (Y_p) و عملکرد رژیم رطوبتی تنش یکباره (Y_s) مشاهده می‌شود (جدول ۳). اکوتیپ ۹ به دلیل نشان دادن عملکرد بیشتر در شرایط تنش، دارای مقادیر منفی برای شاخص‌های TOL ، SSI و DSI بود. دلیل عدم کاهش عملکرد در این اکوتیپ را می‌توان سرعت بالای آن در تکمیل کردن مراحل رشدی دانست، به گونه‌ای که تا قبل از برخورد با تنش خشکی تشکیل میوه کرده و به اصطلاح از خشکی فرار می‌کند و البته این اکوتیپ به دلیل نداشتن زمان کافی برای رشد رویشی دارای عملکرد پایینی در هر دو شرایط بدون تنش و دارای تنش بود. بیشترین میانگین عملکرد در رژیم رطوبتی تنش یکباره مربوط به اکوتیپ ۳ بود و این اکوتیپ عملکرد نسبتاً پایینی در آزمایش بدون تنش داشت. بنابراین میزان شاخص TOL نیز در این اکوتیپ نسبتاً کم بود (جدول ۳).

مقادیر بالای شاخص چندمتغیره $MFVD$ اکوتیپ‌های متحمل را شناسایی می‌کند. بنابراین براساس جدول (۳) اکوتیپ‌های ۹ و ۲ از نظر کلیه صفات اقتصادی اندازه‌گیری شده متحمل‌تر از سایر اکوتیپ‌ها به تنش انتهای فصل بوده و از آنجایی که صفات اندازه‌گیری شده دارای وراثت‌پذیری بالایی بودند، می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً این اکوتیپ‌ها می‌توانند تحمل به تنش را به نسل بعد منتقل کنند. بنابراین این دو اکوتیپ را می‌توان برای مناطقی با خطر خشکی انتهای فصل توصیه کرد.

مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی مربوط به عملکرد میوه برای رژیم رطوبتی تنش تدریجی در (جدول ۴) نشان داده شده است. در این آزمایش بیشترین مقادیر شاخص‌های MP ، GMP ، TOL ، SSI ، STI و DSI به ترتیب مربوط به اکوتیپ‌های ۴، ۱۰، ۱۰، ۴ و ۱۰ بود. بالا بودن هم‌زمان شاخص‌های MP ، GMP و STI و همچنین پایین بودن نسبی شاخص TOL در اکوتیپ ۴، نشان‌دهنده بالا بودن هر دو مقدار عملکرد در آزمایش‌های بدون تنش و تنش تدریجی بوده و مقاومت نسبی این اکوتیپ را به تنش تدریجی نشان می‌دهد. همچنین در (جدول ۴) مشاهده می‌شود که بالا بودن هم‌زمان مقادیر

جدول ۴. مقادیر شاخص‌های تک و چندمتغیره اکوتیپ‌ها در رژیم رطوبتی تنش تدریجی

اکوتیپ	Yn	Ys2	MP	GMP	TOL	SSI	STI	DSI	MFVD
P1	۲۱/۷۷	۴/۳۸	۱۳/۰۷	۹/۷۶	۱۷/۳۹	۱/۰۹	۰/۳۲	۰/۷۹	۰/۳۰
P2	۱۴/۸۳	۴/۳۸	۹/۶۰	۸/۰۶	۱۰/۴۵	۰/۹۶	۰/۲۲	۰/۷۰	۰/۵۲
P3	۱۸/۴۶	۳/۸۰	۱۱/۱۳	۸/۳۷	۱۴/۶۶	۱/۰۸	۰/۲۴	۰/۷۹	۰/۳۳
P4	۲۰/۶۵	۱۲/۶۱	۱۶/۶۳	۱۶/۱۴	۸/۰۳	۰/۵۳	۰/۸۹	۰/۳۸	۰/۳۱
P5	۱۰/۳۷	۲/۷۰	۶/۵۳	۵/۲۹	۷/۶۷	۱/۰۱	۰/۰۹	۰/۷۳	۰/۶۰
P6	۲۰/۰۶	۳/۰۰	۱۱/۵۳	۷/۷۵	۱۷/۰۶	۱/۱۶	۰/۲۰	۰/۸۵	۰/۲۸
P7	۱۸/۸۵	۵/۷۰	۱۲/۲۷	۱۰/۳۶	۱۳/۱۵	۰/۹۵	۰/۳۶	۰/۶۹	۰/۳۳
P8	۱۲/۶۳	۴/۶۳	۸/۶۳	۷/۶۵	۸/۰۰	۰/۸۶	۰/۲۰	۰/۶۳	۰/۳۷
P9	۰/۸۰	۴/۸۹	۲/۸۵	۱/۹۸	-۴/۰۸	-۶/۹۲	۰/۰۱	-۵/۰۶	۰/۶۶
P10	۲۷/۹۸	۰/۸۵	۱۴/۴۲	۴/۸۹	۲۷/۱۲	۱/۳۲	۰/۰۸	۰/۹۶	۰/۱۲
P11	۱۳/۸۳	۶/۰۶	۹/۹۵	۹/۱۶	۷/۷۶	۰/۷۶	۰/۲۸	۰/۵۶	۰/۳۸
P12	۱۳/۶۰	۲/۶۷	۸/۱۴	۶/۰۳	۱۰/۹۳	۱/۰۹	۰/۱۲	۰/۸۰	۰/۳۵
P13	۲۲/۶۶	۴/۱۱	۱۳/۳۸	۹/۶۵	۱۸/۵۵	۱/۱۱	۰/۳۱	۰/۸۱	۰/۴۱
P14	۲۵/۲۲	۳/۷۱	۱۴/۴۷	۹/۶۸	۲۱/۵۱	۱/۱۶	۰/۳۲	۰/۸۵	۰/۲۹
P15	۱۴/۵۴	۵/۳۸	۹/۹۶	۸/۸۴	۹/۱۶	۰/۸۶	۰/۲۶	۰/۶۳	۰/۲۱

Yn، عملکرد شرایط نرمال؛ Ys2، عملکرد شرایط تنش تدریجی؛ MP، میانگین بهره‌وری؛ GMP، میانگین هندسی بهره‌وری؛ TOL، شاخص تحمل؛ SSI، شاخص حساسیت به تنش؛ STI، شاخص تحمل تنش؛ DSI، شاخص حساسیت به خشکی؛ MFVD، مقدار تابع عضویت تحمل خشکی

جدول ۵. ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص‌ها و عملکرد آزمایش بدون تنش و

تنش یکباره (بالای قطر) و آزمایش بدون تنش و تنش تدریجی (پایین قطر)

MFVD	DSI	STI	SSI	TOL	GMP	MP	Ys1	Yn	
-۰/۶۲*	۰/۷۲**	۰/۶۵**	۰/۷۴**	۰/۹۶**	۰/۷۱**	۰/۹۶**	-۰/۰۷	۱/۰۰	Yn
-۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۶۸**	۰/۰۶	-۰/۳۳	۰/۶۲*	۰/۲	۱/۰۰	-۰/۰۷	Ys2
-۰/۶۲*	۰/۷۴**	۰/۸۳**	۰/۷۴**	۰/۸۵**	۰/۸۷**	۱/۰۰	۰/۲۹	۰/۹۲**	MP
-۰/۵۷*	۰/۶۸**	۰/۹۶**	۰/۶۸**	۰/۵۱*	۱/۰۰	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۵	GMP
-۰/۵۸*	۰/۶۸**	۰/۴۴	۰/۶۸**	۱/۰۰	۰/۱۹	۰/۷۴**	-۰/۴۲	۰/۹۳	TOL
-۰/۸۶**	۱	۰/۵۱*	۱/۰۰	۰/۶۷**	۰/۴۹	۰/۶۲*	-۰/۱۱	۰/۷۰*	SSI
-۰/۴۰	۰/۵۱*	۱/۰۰	۰/۲۸	۰/۰۴	۰/۹۵**	۰/۶۹**	۰/۸۷**	۰/۳۸	STI
-۰/۸۶**	۱/۰۰	۰/۲۷	۱	۰/۶۷**	۰/۴۹	۰/۶۲*	-۰/۱۱	۰/۷۰*	DSI
۱/۰۰	-۰/۶۰*	-۰/۲۸	-۰/۶۰*	-۰/۷۲**	-۰/۳۹	-۰/۷۳**	۰/۰۴	-۰/۷۸**	MFVD

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

Yn، عملکرد شرایط نرمال؛ Ys1، عملکرد شرایط تنش یکباره؛ Ys2، عملکرد شرایط تنش تدریجی؛ MP، میانگین بهره‌وری؛ GMP، میانگین هندسی بهره‌وری؛ TOL، شاخص تحمل؛ SSI، شاخص حساسیت به تنش؛ STI، شاخص تحمل تنش؛ DSI، شاخص حساسیت به خشکی؛ MFVD، مقدار تابع عضویت تحمل خشکی

آزمایشات بدون تنش و تنش یکباره در (شکل ۱) نشان داده شده است. در این شکل صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش بدون تنش و تنش یکباره و شاخص MFVD محاسبه شده توسط آنها، به همراه اکوتیپ‌های بومی گشنیز رسم شده‌اند و موقعیت آنها با توجه به زاویه نمودارهای رسم شده از مرکز مختصات نسبت به یکدیگر مشخص شده است. ملاحظه می‌شود که شاخص MFVD همبستگی منفی با همه صفات به جز وزن هزار میوه در تنش خشکی یکباره داشت، لذا این شاخص نمی‌تواند به‌عنوان شاخص مناسب برای شناسایی اکوتیپ‌های دارای عملکرد مناسب در هر دو شرایط دارای تنش و بدون تنش در نظر گرفته شود. اکوتیپ ۱۰ از لحاظ محتوای اسانس در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی یکباره بهترین اکوتیپ بود (شکل ۱)، همچنین مقادیر همه صفات به جز وزن هزار میوه در عدم تنش همبستگی مثبت با مقادیر آنها در تنش خشکی یکباره داشت و اکوتیپ ۱۲ از نظر تحمل تنش خشکی یکباره و صفات مهم اقتصادی مانند عملکرد میوه و اسانس و همچنین تعداد برگ پایه در شرایط مطلوب‌تری نسبت به سایر اکوتیپ‌ها قرار داشت.

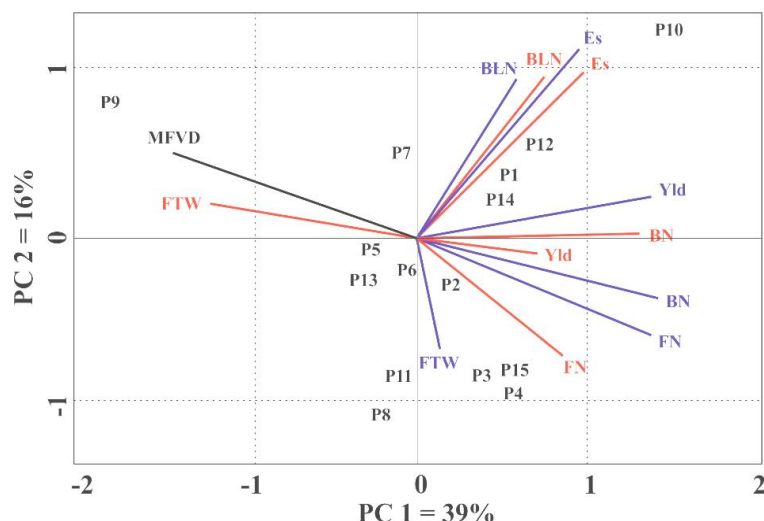
بای پلات ژنوتیپ در محیط - صفت و شاخص چندمتغیره در آزمایشات بدون تنش و تنش تدریجی در شکل (۲) نشان داده شده است. در شکل (۲) نیز مانند شکل (۱) شاخص MFVD با اکثر صفات رابطه منفی داشت. همان‌طور که ملاحظه می‌شود وزن هزار میوه در شرایط تنش با تعداد و عملکرد میوه رابطه منفی شدیدی داشت، همچنین همبستگی مقادیر صفات در عدم تنش با مقادیر آنها در تنش خشکی تدریجی در بسیاری موارد کاهش چشمگیری داشت.

در شرایط تنش گیاه به تعداد میوه‌ها افزوده شده و با کاهش وزن هزار دانه باعث افزایش عملکرد میوه شده است. بنابراین با توجه به شکل، اکوتیپ‌های ۹ و ۵ متحمل‌ترین و کم‌بازده‌ترین اکوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش بودند. با توجه به نتایج حاصل از شکل (۲) در شرایط تنش طول فصل گزینش اکوتیپ ۴ قابل توصیه است. همان‌طور که در شکل‌های (۱ و ۲)

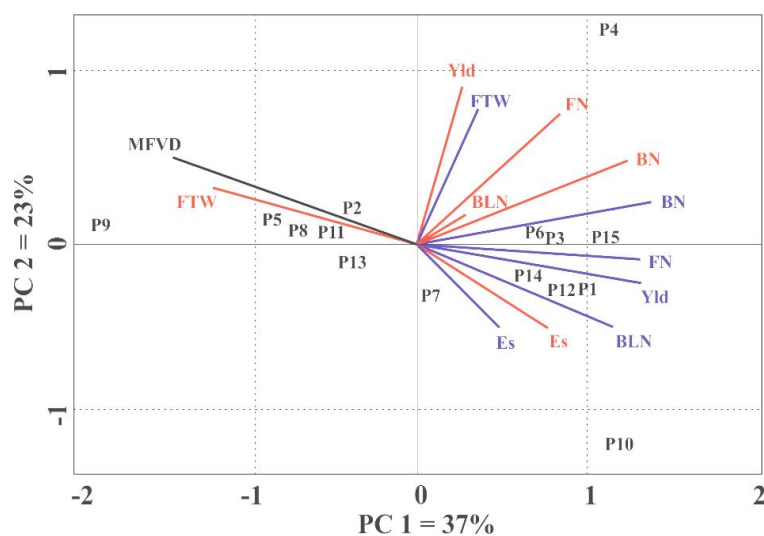
مشابهی به‌دست آمده است. شاخص GMP در هر دو آزمایش تنش دارای همبستگی زیادی با Y_p و Y_s بود. شاخص STI بیشترین همبستگی را با Y_s در هر دو آزمایش داشت و پس از آن شاخص GMP قرار داشت. صابری و همکاران (۲۶) نیز نتایج مشابهی را در مورد این دو شاخص گزارش کردند. مقادیر GMP، STI و MP می‌توانند در تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش، مورد استفاده قرار بگیرند و GMP قدرت بیشتری نسبت به MP در تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A و حساسیت کمتری به مقادیر Y_p و Y_s دارد. بنابراین MP زمانی استفاده می‌شود که اختلاف بین Y_p و Y_s بالا نباشد. (۹).

در تحقیقی شاخص‌های مقاومت به خشکی در شرایط مختلف محیطی مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که شاخص‌های STI، MP و GMP بیشترین کارایی را در شناسایی ارقام پر عملکرد در هر دو شرایط بدون تنش و همراه با تنش داشتند (۲۵). شاخص TOL دارای بیشترین همبستگی با Y_p در هر دو آزمایش بود و پس از آن شاخص SSI قرار داشت. شاخص TOL همچنین دارای کمترین میزان همبستگی با Y_s در هر دو آزمایش بود. دلیل این امر را می‌توان با توجه به فرمول شاخص TOL به‌خوبی قابل برداشت بود. با توجه به اینکه شاخص‌های تک‌متغیره تنها براساس عملکرد محاسبه شده‌اند و صفات دیگر را در نظر نمی‌گیرند، بنابراین همبستگی این شاخص‌ها با شاخص چندمتغیره منفی بود. شاخص چندمتغیره با عملکرد در شرایط تنش یکباره و تدریجی همبستگی نداشت و این به دلیل اختلاف بالای عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش است که باعث می‌شود عملکرد در شرایط بدون تنش نقش بیشتری در مقدار عددی این شاخص داشته و همبستگی معنی‌داری با آن داشته باشد.

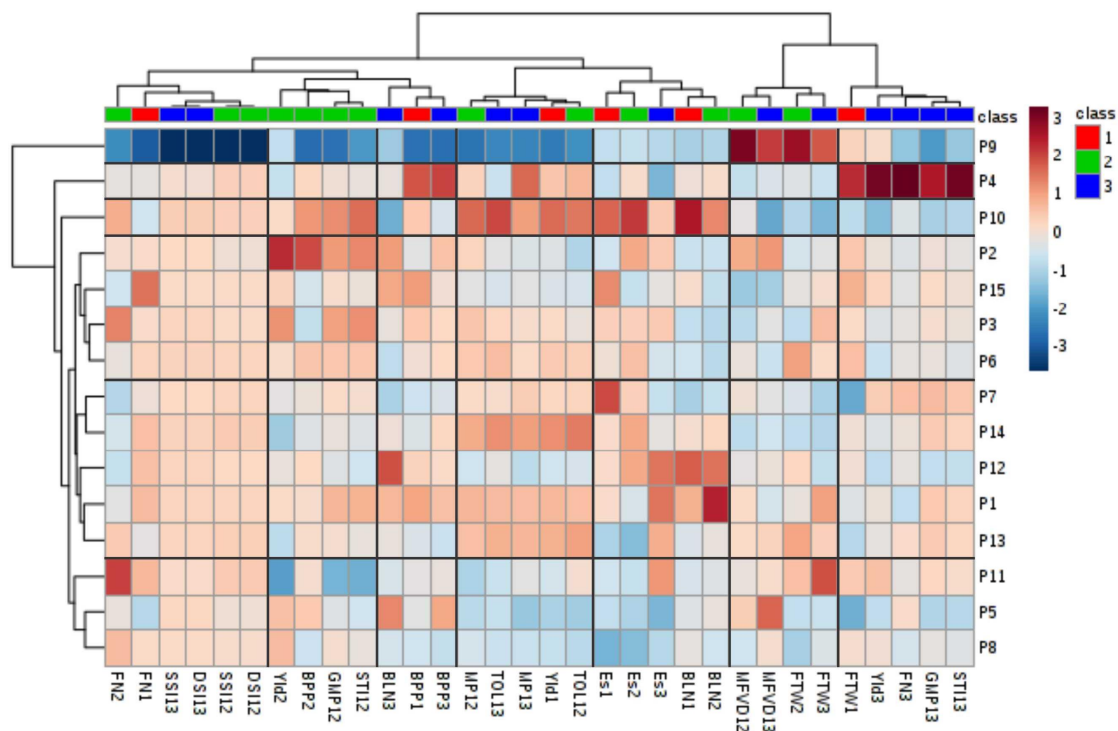
بای پلات ژنوتیپ در صفت - محیط و شاخص چندمتغیره در آزمایشات بدون تنش و تنش خشکی
بای پلات ژنوتیپ در محیط - صفت و شاخص چندمتغیره در



شکل ۱. بای پلات ژنوتیپ در محیط - صفت و شاخص چندمتغیره MFVD برای آزمایشات بدون تنش و تنش یکباره (بردارهای آبی رنگ صفات اندازه‌گیری شده در شرایط بدون تنش و بردارهای قرمز رنگ صفات اندازه‌گیری شده در تنش در تنش یکباره را نشان می‌دهند). BLN، تعداد برگ پایه؛ BN، تعداد شاخه؛ FN، تعداد میوه در بوته؛ FTW، وزن هزار میوه؛ Yld، عملکرد میوه؛ Es، محتوای اسانس میوه؛ MFVD، مقدار تابع عضویت تحمل خشکی. P1 تا P15 کد اکوتیپ‌های مورد بررسی اشاره شده در (جدول ۱) هستند (رنگی در نسخه الکترونیکی).



شکل ۲. بای پلات ژنوتیپ در محیط - صفت و شاخص چندمتغیره MFVD برای آزمایشات بدون تنش و تنش تدریجی (بردارهای آبی رنگ صفات اندازه‌گیری شده در شرایط بدون تنش و بردارهای قرمز رنگ صفات اندازه‌گیری شده در تنش تدریجی را نشان می‌دهند). BLN، تعداد برگ پایه؛ BN، تعداد شاخه؛ FN، تعداد میوه در بوته؛ FTW، وزن هزار میوه؛ Yld، عملکرد میوه؛ Es، محتوای اسانس میوه؛ MFVD، مقدار تابع عضویت تحمل خشکی P1 تا P15 کد اکوتیپ‌های مورد بررسی اشاره شده در (جدول ۱) هستند (رنگی در نسخه الکترونیکی).



شکل ۳. هیت‌مپ و گروه‌بندی اکوتیپ‌ها و نمایش نحوه بروز صفات و شاخص‌ها در محیط‌های مختلف BLN. تعداد برگ پایه؛ BN. تعداد شاخه؛ FN. تعداد میوه در بوته؛ FTW. وزن هزار میوه؛ Yld، عملکرد میوه؛ Es، محتوای اسانس میوه؛ MFVD؛ مقدار تابع عضویت تحمل خشکی، SSI؛ شاخص حساسیت به تنش، DSI؛ شاخص حساسیت به خشکی، GMP؛ میانگین هندسی بهره‌وری، MP؛ میانگین بهره‌وری، TOL؛ شاخص تحمل، STI، شاخص تحمل تنش
 پسوندها: ۱؛ آزمایش بدون تنش، پسوندها: ۲؛ آزمایش تنش یکباره، پسوندها: ۳؛ آزمایش تنش تدریجی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

در یک گروه قرار گرفتند. اکوتیپ ۴ به دلیل عملکرد و اجزاء عملکرد شامل تعداد دانه و وزن هزار دانه در آزمایش تنش تدریجی، اکوتیپ ۹ به دلیل بالا بودن وزن هزار میوه در شرایط تنش و همچنین کم بودن عملکرد و اجزاء عملکرد شامل تعداد میوه در بوته و تعداد شاخه در بوته در شرایط بدون تنش و تنش و اکوتیپ ۱۰ به دلیل داشتن عملکرد و اجزاء عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و همین‌طور بالا بودن محتوای اسانس اکوتیپ‌های مناسبی بودند. اکوتیپ ۲ نیز در شرایط تنش یکباره به‌عنوان متحمل‌ترین اکوتیپ از نظر عملکرد و محتوای اسانس مطرح بود. اکوتیپ‌های گروه چهارم شامل اکوتیپ‌های ۲، ۳، ۶ و ۱۵ از نظر گزینش برای عملکرد میوه برای شرایط تنش یکباره مناسب بودند. از طرفی اکوتیپ‌های گروه پنجم شامل رقم تجاری و اکوتیپ‌های ۷، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ جهت گزینش برای

ملاحظه شد شاخص MFVD قابلیت لازم را برای شناسایی اکوتیپ‌های پرمحصول و متحمل را نداشت، چون در اکوتیپ‌های مورد بررسی با افزایش مقدار صفات از تحمل اکوتیپ‌ها کاسته شد.

هیت‌مپ و گروه‌بندی اکوتیپ‌ها و نمایش نحوه بروز صفات و شاخص‌ها در محیط‌های مختلف

با توجه به تنوع رنگ موجود در نقشه هیت‌مپ (شکل ۳) اکوتیپ‌ها تنوع چشمگیری را از نظر صفات و شاخص‌های اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های بدون تنش، تنش یکباره و تنش تدریجی از خود نشان دادند. در این مطالعه اکوتیپ‌ها به شش گروه تقسیم شدند و اکوتیپ‌های ۴، ۹ و ۱۰ به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که داشتند هر کدام به تنهایی

برگ‌ها و در نتیجه افزایش تولید فتوسنتزی باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه مخصوصاً در شرایط تنش شده و با تجمع این متابولیت‌ها در میوه و دانه گیاهان محتوای اسانس بالاتری خواهند داشت.

وجود همبستگی بین تعداد برگ پایه و محتوای اسانس میوه در گشنیز در تحقیقات حنیفه‌ای و همکاران (۱۵) و قلی‌زاده و همکاران (۱۳) نشان داده شده است. عینی‌زاده و همکاران (۷) بیان کردند که گزینش ژنوتیپ‌هایی با ارتفاع و تعداد شاخه بیشتر، احتمالاً می‌تواند در افزایش دو صفت اقتصادی تعداد برگ پایه و محتوای اسانس میوه مؤثر باشد. همان‌طور که ملاحظه شد شاخص‌های تک‌متغیره و شاخص چندمتغیره MFVD موفق به شناسایی اکوتیپ‌های گروه A نشدند. بنابراین برای شناسایی اکوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد میوه و صفات اقتصادی دیگر در شرایط بدون تنش و تنش خشکی از روش گرافیکی PCAMMI استفاده شد.

گروه‌بندی اکوتیپ‌ها به روش PCAMMI

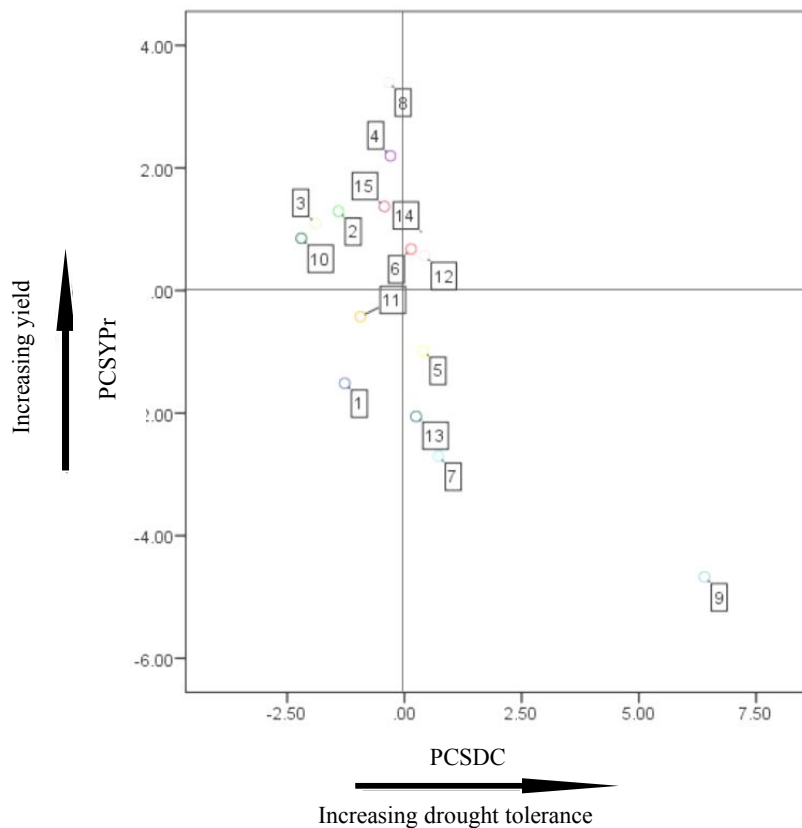
از آنجایی که شاخص چندمتغیره MFVD توانایی گروه‌بندی اکوتیپ‌های مورد بررسی را نداشت، به کمک شاخص PCAMMI این گروه‌بندی انجام شد. گروه‌بندی اکوتیپ‌های گشنیز براساس پاسخ آنها در شرایط بدون تنش و تنش یکباره در (شکل ۴) نشان داده شده است. در این روش اکوتیپ‌ها از لحاظ پاسخ به تنش خشکی به چهار گروه A، B، C و D توصیف شده توسط فرناندز (۹) تقسیم شدند. اکوتیپ ۹ متحمل‌ترین و کم عملکردترین اکوتیپ در رابطه با همه صفات بود. اکوتیپ‌های ۶، ۱۲ و ۱۴ در گروه A (عملکرد و تحمل بالا) قرار گرفتند و اکوتیپ‌های ۱ و ۱۱ ضعیف‌ترین اکوتیپ‌ها در مقابل تنش و کم عملکردترین آنها بودند (گروه D) (شکل ۴).

گروه‌بندی اکوتیپ‌های گشنیز براساس پاسخ آنها در شرایط بدون تنش و تنش تدریجی در (شکل ۵) نشان داده شده است. براساس این شکل می‌توان مشاهده کرد که اکوتیپ ۹ در این گروه‌بندی نیز به‌عنوان متحمل‌ترین و کم عملکردترین اکوتیپ

شرایط تنش تدریجی طول فصل مناسب بودند. با توجه به گروه‌بندی صفات و شاخص‌های اندازه‌گیری شده در هر سه آزمایش (شکل ۳)، ملاحظه می‌شود که شاخص‌های تک‌متغیره ارتباط بیشتری با عملکرد میوه داشتند. شاخص‌های STI و GMP مستقیماً برای گزینش اکوتیپ‌های گروه C (عملکرد بالا در شرایط تنش و عملکرد پایین در شرایط بدون تنش) مناسب بودند و این موضوع برای هر دو نوع تنش یکباره و تدریجی صادق بود. در بسیاری از پژوهش‌ها، از جمله پژوهش عینی‌زاده و همکاران (۶) روی اکوتیپ‌های گشنیز، مشاهده شده است که دو شاخص GMP و STI رابطه نزدیکی با یکدیگر داشته و به‌طور مرتب از این شاخص‌ها برای رسم نمودار سه‌بعدی فرناندز استفاده شده است. از طرفی شاخص‌های TOL و MP برای گزینش اکوتیپ‌های گروه B (عملکرد مناسب در شرایط بدون تنش و عملکرد پایین در شرایط تنش) مناسب بودند. این موضوع می‌تواند به دلیل وجود اختلاف زیاد بین عملکرد میوه در شرایط بدون تنش و تنش است که در این دو شاخص باعث ایجاد ارزیابی به سمت عملکرد در شرایط بدون تنش شده است. شاخص MFVD نیز همبستگی نسبتاً خوبی با وزن هزار میوه داشت (شکل ۳).

با توجه به شکل (۳) صفت تعداد شاخه در بوته با عملکرد میوه در شرایط تنش یکباره در یک گروه قرار گرفت، همچنین صفات تعداد میوه و وزن هزار میوه در شرایط تنش تدریجی دلیل افزایش عملکرد میوه در اکوتیپ‌ها بودند. در تحقیق کاساهون و همکاران (۱۷) و عینی‌زاده و همکاران (۷) روی همبستگی عملکرد و اجزاء عملکرد میوه در گشنیز مشاهده شد که تعداد میوه در بوته و وزن هزار میوه همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی مثبت با عملکرد میوه داشتند. همچنین در تحقیق‌هایی و همکاران با تغییر در میزان آبیاری، صفات ارتفاع، تعداد شاخه، تعداد چتر و عملکرد بذر به‌طور هماهنگ تغییر کردند (۱۴).

با توجه به شکل (۳) اکوتیپ‌های با تعداد برگ پایه بیشتر، محتوای اسانس میوه بالاتری داشتند. بنابراین افزایش تعداد



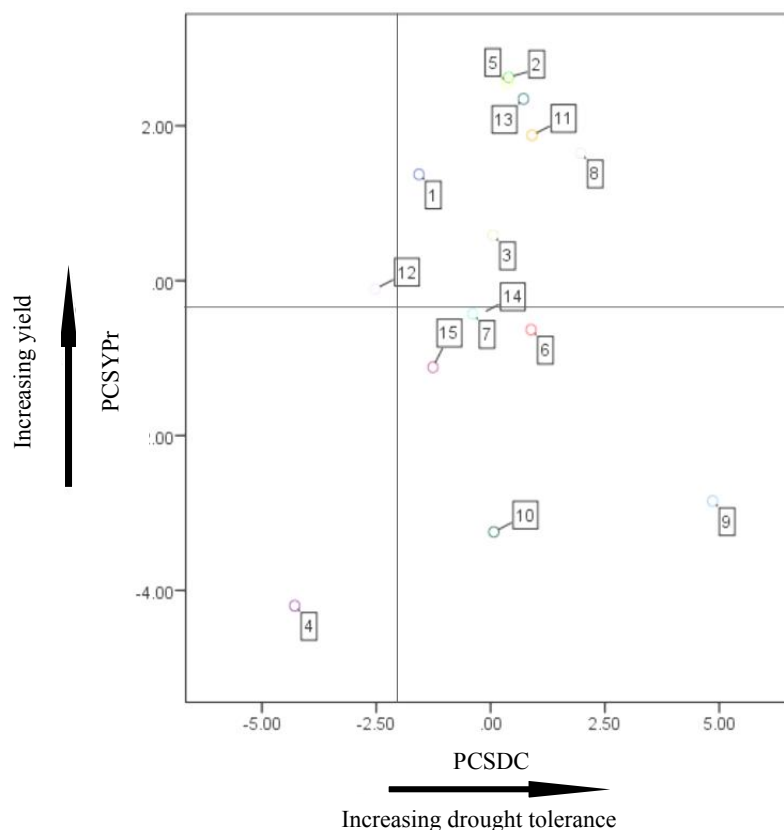
شکل ۴. گروه‌بندی اکوتیپ‌های گشنیز در تنش یکباره به چهار گروه A، B، C و D توصیف شده توسط فرناندز (۹) از لحاظ پاسخ به تنش خشکی بر اساس شاخص PCAMMI با استفاده از کلیه صفات؛ PCSDC و PCSYPr به ترتیب محورهای ضرایب مؤلفه‌های اصلی DC و YPr هستند.

شرایط تنش یکباره اکوتیپ‌های متحمل گیاه گشنیز به کمک افزایش تعداد شاخه و احتمالاً افزایش تعداد چترهای بارور نسبت به اکوتیپ‌های حساس، صدمات ناشی از تنش خشکی را بر روی عملکرد میوه کم کردند و در شرایط تنش تدریجی این امر از طریق افزایش تعداد میوه و وزن هزار میوه نسبت به اکوتیپ‌های حساس صورت گرفت. محتوای اسانس میوه با افزایش تعداد برگ‌های پایه افزایش یافت. بنابراین استفاده از ارقام با تعداد برگ زیاد احتمالاً می‌تواند در افزایش تولید متابولیت‌ها و در نتیجه افزایش اسانس میوه به‌خصوص در شرایط تنش مؤثر است. تنوع چشمگیری در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی وجود داشت و اکوتیپ‌ها به شش گروه تقسیم شدند که اکوتیپ‌های ۴، ۹ و ۱۰ به دلیل وجود برخی ویژگی‌های خاص هر کدام در یک گروه خاص قرار گرفتند.

در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی بود. در این آزمایش اکوتیپ‌های ۱، ۳، ۸، ۱۱، ۱۳، ۲ و ۵ در گروه A قرار گرفتند. اکوتیپ ۴ به‌عنوان ضعیف‌ترین و کم‌عملکردترین اکوتیپ (گروه D) در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی شناسایی شد. رقم تجاری و اکوتیپ ۱۱ حساسیت خیلی زیادی به تنش انتهایی فصل نشان داده و همان‌طور که ملاحظه می‌شود در آزمایش تنش یکباره در گروه D قرار گرفتند، حال آنکه در شرایط تنش تدریجی در گروه D قرار داشتند. بنابراین استفاده از این دو اکوتیپ برای انجام پروژه‌های اصلاحی توصیه نمی‌شود، چرا که احتمالاً از پایداری کمی برخوردار خواهند بود (شکل ۵).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان گفت که در



شکل ۵. گروه‌بندی اکوتیپ‌های گشنیز در تنش تدریجی به چهار گروه A, B, C و D توصیف شده توسط فرناندز (۹) از لحاظ پاسخ به تنش خشکی براساس شاخص PCAMMI با استفاده از کلیه صفات؛ PCSDC و PCSYPr به ترتیب محورهای ضرایب مؤلفه‌های اصلی DC و YPr هستند.

آنها بودند. در تنش تدریجی اکوتیپ‌های ۱، ۳، ۸، ۱۱، ۱۳، ۲ و ۵ در گروه A قرار گرفتند و اکوتیپ ۴ به‌عنوان ضعیف‌ترین و کم‌عملکردترین اکوتیپ (گروه D) در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی شناسایی شد. بنابراین مناسب‌ترین اکوتیپ‌ها جهت گزینش و تهیه جمعیت نسل بعد برای دستیابی به اکوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی اکوتیپ‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۱۱ و ۱۳ بودند. با توجه به اینکه تکامل هر اکوتیپ با توجه به شرایط محیط رشد آن رخ داده است، برای نمونه اکوتیپ شماره ۹ که خواستگاه آن بوشهر است، به‌طوری تکامل یافته است که سریعاً دوره رشد خود را تکمیل و از تنش خشکی فرار می‌کند (۱۸).

شاخص‌های تک‌متغیره GMP و STI برای شناسایی اکوتیپ‌های گروه C و شاخص‌های MP و TOL برای شناسایی اکوتیپ‌های گروه C مناسب بودند. از آنجایی که شاخص چندمتغیره MFVD توانایی گروه‌بندی اکوتیپ‌های مورد بررسی را نداشت، برای شناسایی اکوتیپ‌های گروه A براساس کلیه صفات اندازه‌گیری شده از روش گرافیکی PCAMMI استفاده شد. براساس این روش در هر دو تنش یکباره و تدریجی اکوتیپ ۹، متحمل‌ترین و کم‌عملکردترین اکوتیپ در همه صفات بود. برای تنش یکباره اکوتیپ‌های ۶، ۱۲ و ۱۴ در گروه A قرار گرفتند و از طرفی رقم تجاری و اکوتیپ ۱۱ ضعیف‌ترین اکوتیپ‌ها در مقابل تنش یکباره و کم‌عملکردترین

منابع مورد استفاده

- Blum, A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation* 20: 135–148.
- Chaghapur, Z., A. R. Zebarjadi and D. Kahrizi. 2014. Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in Laboratory and field conditions. *Seed and Plant Improvement Journal* 28: 17–38. (In Farsi).
- Chen, X., D. Min, T. A. Yasir and Y. G. Hu. 2012. Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). *Field Crops Research* 137: 195–201.
- Diederichsen, A. 1996. Coriander (*Coriandrum Sativum* L.): International Plant Genetic Resources Institute. Bioversity International, Rome.
- Dyulgerov, N. and B. Dyulgerova. 2013. Variation of yield components in coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Agricultural Science and Technology* 5: 35-46.
- Eynizadeh, P., H. Dehghani and M. Khodadadi. 2016. Drought stress Tolerance and Adaptation in Iranian endemic coriander (*Coriandrum sativum* L.) populations. *Iranian Journal of Horticultural Science* 47: 317–327. (In Farsi).
- Eynizadeh, P., H. Dehghani and M. Khodadadi. 2017. Multipurpose selection of some Iranian endemic Coriander (*Coriandrum sativum* L.) populations for simultaneous improvement of traits in different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. (Accepted In Farsi).
- Fakheri, B. A., M. Jabari and M. Ziaee. 2012. Mapping of drought tolerance indices genomic locations in double haploid lines of Barley. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)* 102: 118-123. (In Farsi).
- Farshadfar, E. and P. Elyasi. 2012. Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. *European Journal of Experimental Biology* 2: 577–584.
- Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. pp. 257–270.
- Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Crop and Pasture Science* 29: 897–912.
- Ghamarnia, H. and S. Daichin. 2013. Effect of different water stress regimes on different Coriander (*Coriander sativum* L.) Parameters in a semi-arid climate. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 4: 822–832.
- Gholizadeh, A., H. Dehghani, M. Khodadadi. 2017. Estimation of genetic parameters, general and specific combining ability on endemic coriander populations. *Journal of Plant Genetic Research* (Accepted In Farsi).
- Hani, M., S. A. Hussein, M. Mursy, W. Ngezimana, F. N. Mudau. 2014. Yield and Essential Oil Response in Coriander to Water Stress and Phosphorus Fertilizer Application. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 18(1): 82-92.
- Hanifei, M., H. Dehghani, M. Khodadadi. 2017. Estimation genetic parameters of some quantitative traits in coriander under drought stress using triple test cross. *Journal of Plant Genetic Research* 4(1): 25-38. (In Farsi).
- Jansen, P. C. M. 1981. Spices, Condiments and Medicinal Plants in Ethiopia, their Taxonomy and Agricultural Significance. Backhuys, Ethiopia.
- Kassahun, B. M., G. Alemaw, B. Tesfaye. 2013. Correlation studies and path coefficient analysis for seed yield and yield components in Ethiopian coriander accessions. *African Crop Science Journal* 21: 51–59.
- Khodadadi, M., H. Dehghani and M. Jalali Javaran. 2017. Quantitative genetic analysis reveals potential to genetically improve fruit yield and drought resistance simultaneously in coriander. *Frontiers in Plant Science* 8: 1-16.
- Khodadadi, M., H. Dehghani, M. Jalali Javaran and S. Rashidi-Monfared. 2014. Drought tolerance related traits in *Coriandrum sativum* L. and new multivariate statistical method for screening drought tolerant genotypes. In: Proceeding of the Phytotron Conference: In Analysis of Plants in Controlled Environments. Munich, Germany.
- Kristin, A. S., R. R. Serna, F. I. Perez and B. C. Enriquez. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science* 37: 51–60.
- Mardeh, A. S. S., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research* 98: 222–229.
- Mengesha, B., G. Alemaw and B. Tesfaye. 2011. Genetic divergence in Ethiopian coriander accessions and its implication in breeding of desired plant types. *African Crop Science Journal* 19: 24-35.
- Minitab 16 Statistical Software. 2010. State College, PA: Minitab, Inc.
- Montes, M., L. Muñoz and T. Wilkomirsky. 2001. Plantas Medicinales de uso en Chile. Química y farmacología,
- Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science* 21: 943–946.
- Saberi, M. H., H. R. Nikkhah and H. Tajali. 2013. Effects of terminal drought stress on yield and choosing best tolerance indices in promising lines of Barley. *Agronomy Journal* 111: 27–34. (In Farsi).

27. SPSS, I.B.M. 2011. IBM SPSS statistics base 20. Chicago, IL: SPSS Inc,
28. 228- Ward Jr, J. H., M. E. Hook. 1963. Application of a hierarchical grouping procedure to a problem of grouping profiles. *Educational and Psychological Measurement* 23: 69–81.
29. Xia, J., D. S.Wishart. 2016. Using metaboanalyst 3.0 for comprehensive metabolomics data analysis. *Current Protocols in Bioinformatics* 34: 10–14.
30. Zeinaly-Khanghah, H., A. Izanloo, A. H. Hoseinzadeh and N. Majnoonhoseini. 2004. Determination of the Suitable Drought Resistance Indices in Commercial Soybeans Varieties. *Iranian Journal of Agricultural Science* 35: 875–885 (In Farsi).

Selecting Drought Tolerant Endemic Coriander Ecotypes Based on Fruit Yield and Related Traits Using Univariate and Multivariate indices

P. Eynizadeh¹, H. Dehghani^{2*} and M. Khodadadi³

(Received: December 26-2017; Accepted: January 27-2018)

Abstract

Coriander is an annual plant belonging to *Apiaceae* family that its yield is affected by drought stress. Three experiments (normal irrigation regime, sudden drought stress and gradual drought stress) were conducted according to a randomized complete block design with three replications in 2015 to introduce the most drought tolerant Iranian coriander ecotypes based on several economical traits, aiming at improving them in next generations, using univariate and multivariate tolerance indices. The economic traits having high heritability and high correlation with the yield and fruit essential oil content were used to calculate multivariate index of the Membership Function Value for Drought Stress (MFVD) and multivariate graphical analysis based on Principal Component Mediated Multivariate Index (PCAMMI). Also, genotype by environment interaction was traced for normal and stress experiments. The ecotypes, traits and indices were categorized and their occurrence in the environments was showed using a Heatmap graphical mapping. Stable genotypes and suitable indices were identified. High variation was observed among ecotypes. Stress Tolerance Index and Geometric Mean Productivity indices were suitable for identification of genotypes belonging to group B, and Tolerance Index and Mean Productivity indices were suitable for identification of genotypes belonging to group C. The multivariate index of MFVD and thousand fruit weight was categorized into the same group. Therefore, this index was not effective for separating ecotypes. Ecotypes were grouped using the PCAMMI graphical technique. In sudden drought stress, ecotypes 6, 12 and 14, and in gradual drought stress, ecotypes 1, 2, 3, 5, 8, 11 and 13 were grouped in group A.

Keywords: Biplot, Drought stress adaptation, Heatmap graphical mapping, Multivariate index, Tolerance index

1, 2, 3. PhD. Student, Professor and PhD. Graduated Student, Respectively, Department of Plant Genetics and Breeding, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

*: Corresponding Author, Email: dehghanr@modares.ac.ir