Archive of SID

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال دهم / شماره دوم / تابستان ۱۳۹۹

ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)

حکیمه حسن‌زاده[۱]، احسان شهبازی[۲*]، شهرام محمدی[۳] و کرامت‌اله سعیدی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۱۷)

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین بازدارنده‌های تولید گیاهان از جمله گیاهان دارویی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک است. به‌منظور تعیین مؤثرترین شاخص‌های تحمل به خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شرایط کم آبی گیاه سیاه‌دانه، پاسخ ۳۶ ژنوتیپ گیاه سیاه‌دانه در آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی- پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ در دو شرایط رطوبتی (نرمال و تنش خشکی) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که از نظر تمام شاخص‌های تحمل به تنش خشکی بین ژنوتیپ‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد. ارتباط بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و شرایط تنش متوسط بود (R^2=۰/۴۳). عملکرد دانه در شرایط نرمال با تمام شاخص‌های مورد ارزیابی به‌جز شاخص YSI همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و شرایط تنش خشکی و شاخص‌های MP، GMP و STI همبستگی مثبت مشاهده شد. با توجه به نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه اول مقدار ۶۳ درصد تنوع بین داده‌ها را توجیه کرد که با شاخص‌های YP، MP، GMP و STI همبستگی مثبت داشت بنابراین می‌توان از شاخص‌های MP، GMP و STI در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده کرد. بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ‌های Nige۱۰۲ و Nige۵۲ از لحاظ پتانسیل عملکرد بسیار ضعیف بودند. با توجه به پتانسیل عملکرد بالا و تحمل به تنش بالای ژنوتیپ‌های Nige۵۳، Nige۵۹ و ۳۸۹۲۳ این ژنوتیپ‌ها برای کشت در شرایط تنش خشکی و برنامه‌های اصلاحی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سیاه‌دانه، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، عملکرد دانه

۱، ۲، ۳ و ۴. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار، استاد گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی و دانشیار گروه باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: eh_shahbazi@sku.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره‌برداری صحیح می‌توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشند (۲۸). کشور ایران با داشتن شرایط اقلیمی و تنوع گیاهی به‌مراتب بهتر از اروپا، در حال حاضر تنها حدود ۶۰ تا ۹۰ میلیون دلار از تجارت گیاهان دارویی را به‌خود اختصاص داده است درحالی که می‌تواند خیلی بالاتر از این ارقام باشد (۲۲). سیاه‌دانه با نام علمی (*Nigella sativa* L.)، گیاهی از تیره آلاله، یک‌ساله، بومی جنوب غرب آسیا (۱۷) یکی از گیاهان دارویی است، که در بعضی از نقاط ایران به‌صورت خودرو وجود داشته و در برخی نقاط دیگر به‌صورت زراعی کشت می‌شود و مصارف گسترده‌ای در صنایع غذایی و دارویی کشور دارد (۲۹). اگرچه نتایج گزارش‌ها حاکی از آن است که کاشت سیاه‌دانه در شرایط مطلوب رطوبتی عملکرد قابل توجهی خواهد داشت (۲۱) اما با توجه به واقع شدن کشور در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدودیت منابع آبی و تنش خشکی حاصل از آن کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سیاه‌دانه (۱۵) و برخی گیاهان زراعی مانند گلرنگ (۲۳) و جو (۱۸) اجتناب‌ناپذیر است. یکی از مشکلات اساسی اصلاح گیاهان برای تحمل به تنش خشکی نبودن معیارهای مؤثر برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل و پیچیدگی صفت تحمل به تنش خشکی است (۴). از آنجایی که ژنوتیپ‌های مختلف در پاسخ به تنش خشکی عکس‌العمل متفاوتی دارند نمی‌توان فقط بر اساس عملکرد در محیط بدون تنش اقدام به انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی کرد بنابراین برای انتخاب گیاهان بر اساس عملکرد، شاخص‌های متفاوتی پیشنهاد شده است. این شاخص‌ها بر اساس عملکرد گیاه در دو محیط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شوند. روزیل و هامبلین (۳۱)، شاخص تحمل (TOL) را به‌صورت اختلاف بین عملکرد تحت شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) و شاخص میانگین حسابی (MP) را متوسط دو مقدار Yp و Ys تعریف کردند. مقادیر پایین‌تر شاخص TOL نمایانگر تحمل بیشتر ژنوتیپ به تنش است. برخلاف شاخص TOL، در شاخص MP، مقادیر پایین‌تر دلالت بر حساسیت بیشتر ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش دارد. این دو پژوهشگر نشان دادند که در بیشتر آزمایش‌های مقایسه عملکرد، همبستگی بین Yp و MP و همچنین بین Ys و MP مثبت بوده است، بنابراین انتخاب بر اساس شاخص MP بیشتر باعث افزایش عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش خواهد شد. هنگامی که اختلاف نسبی زیادی بین Ys و Yp موجود باشد، شاخص MP دارای یک اریب به‌طرف پتانسیل عملکرد (Yp) خواهد بود. لذا برای رفع این مشکل، شاخص GMP توسط فرناندز (۱۳) ارائه شد این شاخص بر اساس میانگین هندسی عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شود، از آنجایی که این شاخص حساسیت کمتری به مقادیر بسیار متفاوت Yp و Ys دارد می‌تواند مؤثرتر از شاخص MP باشد. فرناندز (۱۳) نیز شاخص دیگری تحت عنوان شاخص تحمل به تنش (STI) را پیشنهاد کرد که این شاخص قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا تحت شرایط بدون تنش و همچنین عملکرد بالا تحت شرایط تنش است. مقادیر بالاتر شاخص‌های STI و GMP نمایانگر تحمل بالاتر ژنوتیپ‌ها به تنش است. فیسچر و موئرر (۱۴) شاخص حساسیت به تنش (SSI) را برای شناسایی ژنوتیپ‌های حساس به تنش ارائه کردند این شاخص که بر اساس عملکرد تک‌تک ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش و همچنین متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در این دو محیط بنا گذاشته شده است مانند شاخص TOL، مقادیر بالای این شاخص دلالت بر حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش است (۱۴). در اغلب آزمایش‌ها همبستگی بین دو شاخص SSI و TOL مثبت بوده و انتخاب بر اساس شاخص SSI به نفع ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد پایین در شرایط بدون تنش و عملکرد بالا تحت شرایط تنش است (۲۷). بوسلاما و اسچاپق (۵) شاخص پایداری عملکرد (YSI) را مطرح کردند که عملکرد در شرایط تنش یک رقم را وابسته به عملکرد غیرتنش

www.SID.ir

Archive of SID

آن ارزیابی می‌کند و می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی باشد، بنابراین ارقامی با YSI بالاتر انتظار می‌رود که در هر دو شرایط عملکرد بالاتری داشته باشند. ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در گیاهان مختلف از جمله ذرت دانه‌ای (۳۳)، گندم (۲۵)، گلرنگ (۳) و سویا (۳۵) انجام شد. در تحقیق اطمینان و همکاران (۱۰) روی ۲۵ ژنوتیپ گندم دوروم با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی شاخص‌های HM، YSI و SSI را به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای پیش‌بینی ارقام متحمل به تنش گزارش کردند درحالی که شاخص MP و پس از آن GMP و HM را به‌عنوان دقیق‌ترین شاخص‌های غربالگر ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی مشخص کردند.

با توجه به اهمیت سیاه‌دانه به‌عنوان گیاه دارویی با ارزش و ارزیابی ارقام مختلف آن تحت تنش خشکی به‌منظور افزایش محصول آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک، هدف از این تحقیق ارزیابی شاخص‌های مختلف تحمل به تنش خشکی در جهت انتخاب بهتر ژنوتیپ‌های برتر گیاه سیاه‌دانه در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی است.

مواد و روش‌ها

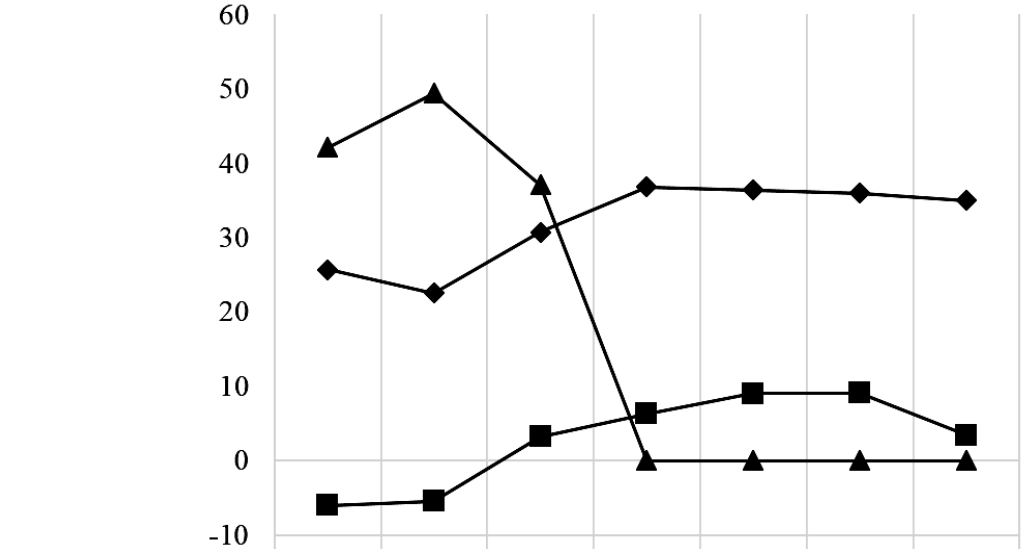
در این تحقیق ۳۶ ژنوتیپ گیاه سیاه‌دانه (داخلی و خارجی) که از بانک ژن IPK کشور آلمان و مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شدند، در آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی- پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد مورد ارزیابی قرار گرفتند که اطلاعات هواشناسی آن در طی فصل کشت در شکل ۱ نشان داده شده است. عامل آبیاری دارای دو سطح (عدم تنش و تنش) به‌عنوان کرت اصلی و عامل ژنوتیپ به‌عنوان کرت فرعی درنظر گرفته شد. بعد از عملیات شخم و دیسک، تسطیح زمین و تهیه بستر کاشت به‌صورت دستی انجام گرفت. برای هر کرت چهار ردیف کاشت با فاصله بین ردیف‌های کشت ۳۰ سانتی‌متر، فاصله بذرها روی ردیف پنج سانتی‌متر و عمق کاشت سه سانتی‌متر درنظر گرفته شد. طول ردیف کاشت یک‌ونیم متر درنظر گرفته شد و کاشت در تاریخ ۲۰ اسفند سال ۱۳۹۶ انجام گرفت. نیاز کودی بر اساس توصیه کودی و نتایج آنالیز خاک مزرعه (جدول ۱) به‌میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌صورت سرک در طی دو مرحله (قبل از کاشت و مرحله ساقه رفتن) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل (کامل قبل از کاشت) برآورد و به خاک اضافه شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کشت و آبیاری‌های بعدی با توجه به بارندگی و تیمارهای آبیاری در طول فصل رشد انجام گرفت. برای تخمین رطوبت موجود در خاک از دستگاه رطوبت‌سنج SM۳۰۰ ساخت شرکت Delta-T کشور انگلستان استفاده شد و اعمال تنش خشکی و میزان آب مورد نیاز با استفاده از روش فرشی و همکاران (۱۲) برآورد شد. آبیاری تمام کرت‌ها تا مرحله گلدهی (اواخر خرداد ماه) به‌صورت یکسان انجام گرفت بعد از گلدهی تا پایان مرحله رسیدگی تنش خشکی اعمال شد. با توجه به تحمل متوسط گیاه نسبت به کمبود آب، حداکثر تخلیه مجاز (MAD) در شرایط عدم تنش ۵۰ درصد و برای شرایط تنش ۷۰ درصد درنظر گرفته شد که با توجه به رابطه (۱) رطوبت زمان آبیاری در دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی محاسبه شد:

$$\theta_{MAD} = \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \qquad (۱)$$

در این رابطه، θ_{FC}: رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی مزرعه (درصد)، θ_{PWP}: رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم (درصد) و MAD: ضریب حداکثر تخلیه مجاز (عدم تنش ۰/۵ و تنش ۰/۷) است. رطوبت به‌صورت روزانه اندازه‌گیری و زمانی که رطوبت خاک به حدود θ_{MAD} می‌رسید آبیاری انجام می‌شد (در شرایط عدم تنش معمولاً هر ۸-۷ روز یک‌بار و در شرایط تنش ۱۵-۱۲ روز یک‌بار آبیاری انجام شد). مقدار آب آبیاری در شرایط عدم تنش و تنش یکسان و برابر با کمبود آب خاک تا حد ظرفیت زراعی در شرایط عدم تنش بود که بر

www.SID.ir

Archive of SID



	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بیشینه دما (سانتی‌گراد)	25.7	22.5	30.7	36.8	36.4	36	35
کمینه دما (سانتی‌گراد)	-6	-5.5	3.2	6.3	9	9.1	3.4
بارش (میلی‌متر)	42.1	49.4	37.1	0	0	0	0

شکل ۱. پارامترهای اقلیمی (کمینه و بیشینه دما و میزان بارش) ایستگاه سینوپتیک محل اجرای آزمایش طی سال ۹۷-۱۳۹۶

جدول ۱. نتایج آنالیز خاک مزرعه محل آزمایش

بافت خاک	ظرفیت زراعی مزرعه	مواد آلی	نیتروژن	اسیدیته	هدایت الکتریکی	فسفر قابل استفاده	پتاسیم قابل استفاده
	(%)				(dS/m)	(mg/kg)	
لومی- رسی	۳۰/۳	۰/۶۱۲	۰/۰۵۷	۷/۸	۰/۴۷	۱۵/۲	۴۲۵

اساس رابطه (۲) محاسبه شد:

$$V = (\theta_{FC} - \theta_{soil}) \times D \times A \times ۱۰۰۰ \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، θ_{soil}: رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری در تیمار عدم تنش (درصد)، D: عمق مؤثر ریشه گیاه (متر) که در این آزمایش ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر درنظر گرفته شد، A: سطح کرت (مترمربع) و V: حجم آب آبیاری (لیتر) است.

کلیه عملیات مربوط به داشت محصول به‌جز آبیاری به‌طور یکسان در همه تیمارها انجام شد. در مرحله رسیدگی در تاریخ ۱۰ شهریور۱۳۹۷ تمام مساحت کرت‌ها با حذف اثرات حاشیه در سطحی معادل دو مترمربع به‌روش دستی برداشت شد. برای محاسبه عملکرد دانه پس از جداسازی دانه از کاه مقدار کل دانه‌ها جمع آوری شده از هر کرت وزن شد. درنهایت با استفاده از تناسب عملکرد در هکتار محاسبه شد.

شاخص‌های تحمل به تنش خشکی با استفاده از روابط (۳ تا ۹) برآورد شد:

(۳) شاخص تحمل به تنش (STI)

$$STI = \frac{(Y_P \times Y_S)}{(\bar{Y}_P)^۲}$$

(۴) شاخص حساسیت به تنش (SSI)

$$SSI = ۱ - \frac{\left(\frac{Y_S}{Y_P}\right)}{SI}$$

www.SID.ir

Archive of SID

(۵) شاخص شدت تنش (SI)

$$SI = ۱ - (\frac{\overline{Y_S}}{\overline{Y_P}})$$

(۶) شاخص تحمل (TOL)

$$ToL = Yp - Ys$$

(۷) شاخص میانگین حسابی (MP)

$$MP = \frac{Yp + Ys}{۲}$$

(۸) شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)

$$GMP = \sqrt{Yp \times Ys}$$

(۹) شاخص پایداری عملکرد (YSI)

$$YSI = (Ys / Yp)$$

در این روابط Y_P، Y_S، $\overline{Y_P}$، $\overline{Y_S}$ و SI به‌ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، تنش، میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شدت تنش است.

تجزیه و تحلیل آماری

با توجه به اینکه اثر متقابل ژنوتیپ و آبیاری برای عملکرد دانه بسیار معنی‌دار بود (داده‌ها نشان داده نشده است) پس از محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی تجزیه واریانس به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. به‌منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص برای تشخیص ارقام متحمل به تنش و روابط بین شاخص‌ها از تجزیه‌های همبستگی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد و تجزیه خوشه‌ای به‌روش Ward برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها انجام شد. آنالیزهای آماری و محاسبات نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای SAS.9.2 و اکسل و R 3.4.4 انجام شد.

نتایج

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که برای تمام شاخص‌های مورد بررسی بین ژنوتیپ‌های مختلف گیاه سیاه‌دانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول ۲)، که نشان‌دهنده این است که ژنوتیپ‌های مختلف از لحاظ تحمل و حساسیت به تنش خشکی متفاوت هستند. در شرایط نرمال ژنوتیپ‌های Nige۸۷، Nige۷۹، Nige۵، ۳۸۹۲۳ و ژنوتیپ Nige۶۰ دارای بالاترین میانگین عملکرد دانه بوده‌اند درحالی که ژنوتیپ‌های Nige۵۲، Nige۱۰۲، ۲۳۷۶۸، Nige۸۱ و Nige۳۷ دارای کمترین عملکرد دانه در شرایط نرمال بوده‌اند. در شرایط تنش خشکی به ترتیب ژنوتیپ‌های Nige۵۳، Nige۵۹، ۳۸۹۲۳، Nige۷۹ و Nige۷۵ دارای بیشترین عملکرد دانه بوده‌اند و ژنوتیپ‌های Nige۵۲، Nige۵۷، Nige۱۰۲، Nige۸۱ و هندی دارای کمترین مقدار عملکرد دانه بوده‌اند (جدول ۳). بر اساس شاخص فرناندز (۱۳)، STI، ژنوتیپ‌های Nige۵۳، Nige۷۹، Nige،۵۹، ۳۸۹۲۳، Nige۷۸ و Nige۶۰ دارای بالاترین مقدار بودند؛ بنابراین این ژنوتیپ‌ها جزء ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی هستند ولی ژنوتیپ‌های Nige۵۲، Nige۱۰۲، Nige۸۱ و Nige۳۷ با کمترین مقدار STI جزء ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی هستند. با توجه به پارامتر TOL، کمترین تفاوت بین عملکرد دانه در دو شرایط (نرمال و تنش خشکی) برای ژنوتیپ‌های سمیرم، ۲۳۷۶۸، Nige۵۴ و دهاقان مشاهده شد درحالی که ژنوتیپ‌های Nige۷۸، Nige۵۷، Nige۷۹، Nige۶۰ و ۲۳۷۵۰ دارای بیشترین مقدار TOL بودند (جدول ۳). بر اساس شاخص فیسچر و موئرر (۱۴)، SSI، ژنوتیپ‌های سمیرم، Nige۵۴، دهاقان، ۲۳۷۶۸، Nige۶۱ و Nige۵۵ دارای کمترین مقدار بودند بنابراین این ژنوتیپ‌ها حساسیت کمتری به تنش خشکی داشتند و ژنوتیپ‌های Nige۵۷، Nige۷۸، Nige۶۰ و Nige۴۳ دارای بیشترین مقدار SSI بودند که این ژنوتیپ‌ها حساس به تنش خشکی هستند. ژنوتیپ‌های سمیرم، Nige۵۴، دهاقان، ۲۳۷۶۸ و Nige۶۱ دارای بیشترین مقدار YSI بودند بنابراین این ژنوتیپ‌ها جزء ژنوتیپ‌های پایدارتر ولی ژنوتیپ‌های Nige۵۷، Nige۷۸، Nige۶۰ و Nige ۴۸ با مقدار YSI کمتر جزء ژنوتیپ‌های حساس‌تر به تنش خشکی هستند. ژنوتیپ‌های Nige۵۳، Nige۷۹،

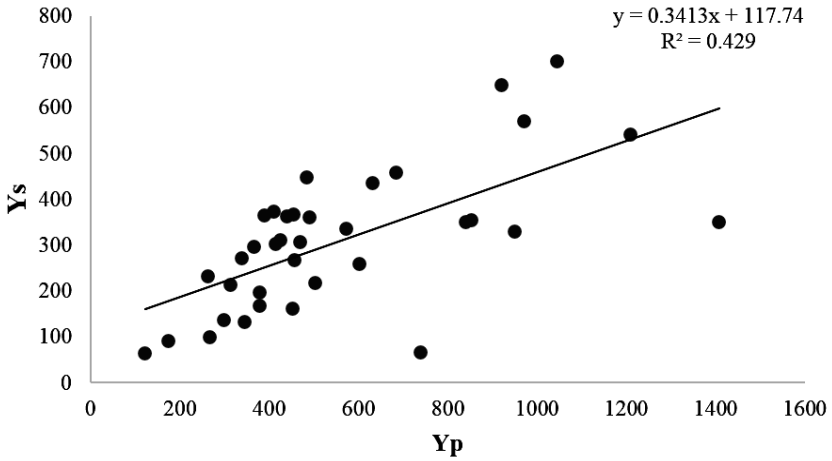
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه در شرایط نرمال، تنش خشکی و شاخص‌های مختلف تحمل برای ۳۶ ژنوتیپ سیاه‌دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		YP	YS	SSI	YSI	TOL	MP	GMP	STI
تکرار	۲	۷۷۴^{ns}	۸۰۰^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۳۱۴۸^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۳۸/۹^{ns}	۰/۰۱^{ns}
ژنوتیپ	۳۵	۲۶۰۶۵۵**	۷۰۹۹۷**	۰/۶۳**	۰/۱۳**	۱۵۳۳۴۵**	۱۲۷۴۹۰**	۱۱۱۱۴۲**	۱/۰۹**
خطا	۷۰	۲۳۵۳	۱۸۸۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۲۳۴۱/۵۲	۱۵۳۳/۴۴	۱۶۹۲	۰/۰۲

ns و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد است.



شکل۲. رابطه بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی ۳۶ ژنوتیپ سیاه‌دانه

۵۹ Nige، ۳۸۹۲۳ و Nige۷۸ بیشترین میزان GMP را دارا بودند و ژنوتیپ‌های Nige۷۸، Nige۷۹، Nige۵۳، Nige۵۹ و ۳۸۹۲۳ به‌ترتیب بیشترین مقدار MP را داشتند درحالی که ژنوتیپ‌های Nige۵۲، Nige۱۰۲، Nige۸۱، Nige۳۷ و هندی از لحاظ هر دو شاخص MP و GMP مقادیر کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۳). با توجه به شکل ۲ رابطه خطی بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی متوسط و ۰/۴۳ =R^2 است. نتایج حاصل از همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط نرمال، عملکرد در شرایط تنش خشکی و شاخص‌های مختلف بیانگر این است که عملکرد در شرایط نرمال با تمام شاخص‌های مورد ارزیابی به‌جز شاخص YSI همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (جدول ۴). همبستگی بین عملکرد در شرایط نرمال و شاخص YSI منفی و معنی‌دار (۰/۳۴-) است. که این نتایج نشان می‌دهد ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بیشتری در شرایط نرمال داشته‌اند کاهش عملکرد بیشتری در شرایط تنش خشکی نشان داده‌اند. عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی با شاخص SSI همبستگی منفی و معنی‌داری دارد (۰/۴۱-) و با سایر شاخص‌ها به‌جز شاخص TOL همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). شاخص‌های SSI و YSI همبستگی بسیار شدید و معنی‌دار منفی با هم دارند. شاخص‌های YSI و SSI با شاخص‌های MP، GMP و STI همبستگی نداشتند (جدول ۴).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

با توجه به نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی سه مؤلفه اول تقریباً تمام تنوع بین داده‌ها را توجیه کردند (جدول ۵). مؤلفه اول مقدار ۶۳ درصد تنوع بین داده‌ها توجیه کرد که با شاخص‌های YP، MP، GMP و STI همبستگی مثبت داشت همچنین این

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. برآورد شاخص‌های مختلف حساسیت و تحمل به تنش خشکی ۳۶ ژنوتیپ سیاه‌دانه

ژنوتیپ	منشاء	YP(kg/ha)	YS (kg/ha)	SSI	YSI	TOL	MP	GMP	STI
۲۳۷۵۰	ایران	۸۵۴/۴۱	۳۵۲/۵۸	۱/۳۱	۰/۴۱	۵۰۱/۵۷	۶۰۳/۶۳	۵۴۸/۵۰	۰/۹۷
۲۳۷۶۸	ایران	۲۶۳/۵۶	۲۳۱/۵۶	۰/۲۷	۰/۸۸	۳۲/۰۰	۲۴۷/۵۶	۲۴۶/۶۵	۰/۲۰
۳۸۹۲۳	ایران	۹۷۲/۷۳	۵۶۹/۱۷	۰/۹۴	۰/۵۸	۴۰۳/۵۶	۷۷۰/۹۵	۷۴۳/۴۰	۱/۸۰
دهاقان	ایران	۴۱۱/۶۸	۳۷۲/۷۸	۰/۲۳	۰/۹۰	۳۸/۹۰	۳۹۲/۲۳	۳۹۱/۲۷	۰/۵۰
هندی	هند	۳۴۵/۲۹	۱۳۱/۰۰	۱/۳۶	۰/۳۹	۲۱۴/۲۹	۲۳۸/۱۴	۲۱۱/۸۲	۰/۱۴
اصفهان	ایران	۳۳۹/۴۵	۲۷۰/۸۹	۰/۴۵	۰/۸۰	۶۸/۵۶	۳۰۵/۱۷	۳۰۳/۲۱	۰/۲۹
فریدون‌شهر۱	ایران	۳۱۴/۸۸	۲۱۲/۳۴	۰/۷۳	۰/۶۷	۱۰۲/۵۵	۲۶۳/۶۱	۲۵۸/۴۴	۰/۲۱
فریدون‌شهر۲	ایران	۴۵۵/۰۰	۳۶۴/۶۸	۰/۴۴	۰/۸۰	۹۰/۳۳	۴۰۹/۸۴	۴۰۷/۲۱	۰/۵۳
کرمان	ایران	۴۹۲/۷۳	۳۵۹/۶۳	۰/۶۱	۰/۷۳	۱۳۳/۱۰	۴۲۶/۱۸	۴۲۰/۸۷	۰/۵۷
مشهد	ایران	۴۶۹/۶۷	۳۰۶/۵۳	۰/۷۷	۰/۶۵	۱۶۳/۱۴	۳۸۸/۱۰	۳۷۹/۱۷	۰/۴۶
Nige۱۰۲	نامشخص	۱۷۶/۳۹	۸۹/۰۵	۱/۱۱	۰/۵۰	۸۷/۳۵	۱۳۲/۷۲	۱۲۵/۳۲	۰/۰۵
Nige۲	ایتالیا	۴۱۵/۰۴	۳۰۲/۰۱	۰/۵۷	۰/۷۴	۱۱۳/۰۳	۳۵۸/۵۲	۳۵۲/۹۵	۰/۴۰
Nige۳۷	نامشخص	۲۹۸/۹۶	۱۳۵/۵۴	۱/۲۲	۰/۴۵	۱۶۳/۴۲	۲۱۷/۲۵	۲۰۱/۳۰	۰/۱۳
Nige۴۵	اتیوپی	۵۰۴//۷۴	۲۱۵/۵۸	۱/۲۸	۰/۴۳	۲۸۹/۱۷	۳۶۰/۱۶	۳۲۹/۸۳	۰/۳۵
Nige۴۸	ایتالیا	۴۵۳/۶۵	۱۵۹/۳۸	۱/۴۵	۰/۳۵	۲۹۴/۲۷	۳۰۶/۵۱	۲۶۸/۸۶	۰/۲۳
Nige۵۲	ایتالیا	۱۲۲/۶۵	۶۲/۴۱	۱/۱۰	۰/۵۱	۶۰/۲۵	۹۲/۵۳	۸۷/۴۶	۰/۰۲
Nige۵۳	تاجکستان	۱۰۴۶/۱۲	۶۹۹/۷۲	۰/۷۴	۰/۶۷	۳۴۶/۴۱	۸۷۲/۹۲	۸۵۵/۵۵	۲/۳۶
Nige۵۴	ایتالیا	۴۸۵/۳۹	۴۴۷/۴۷	۰/۱۷	۰/۹۲	۳۷/۹۲	۴۶۶/۴۳	۴۶۶/۰۴	۰/۷۰
Nige۵۵	لبنان	۳۶۷/۹۹	۲۹۴/۱۷	۰/۴۲	۰/۸۱	۷۳/۸۲	۳۳۱/۰۸	۳۲۸/۵۵	۰/۳۵
Nige۵۷	ایتالیا	۷۴۰/۳۹	۶۳/۸۹	۲/۰۴	۰/۰۹	۶۷۶/۵۱	۴۰۲/۱۴	۲۱۷/۴۷	۰/۱۵
Nige۵۹	سوریه	۹۲۲/۵۵	۶۴۶/۹۰	۰/۶۷	۰/۷۰	۲۷۵/۶۵	۷۸۴/۷۳	۷۷۲/۵۲	۱/۹۱
Nige۶۰	عراق	۹۵۰/۳۰	۳۲۸/۸۱	۱/۴۷	۰/۳۴	۶۲۱/۵۰	۶۳۹/۵۵	۵۵۷/۹۶	۱/۰۱
Nige۶۱	تونس	۴۴۱/۶۸	۳۶۱/۴۶	۰/۴۰	۰/۸۲	۸۰/۲۲	۴۰۱/۵۷	۳۹۹/۵۵	۰/۵۲
Nige۶۲	الجزایر	۳۸۰/۷۳	۱۹۵/۵۲	۱/۰۹	۰/۵۱	۱۸۵/۲۱	۲۸۸/۱۲	۲۷۲/۷۴	۰/۲۴
Nige۶۳	الجزایر	۴۵۷/۷۸	۲۶۶/۶۹	۰/۸۴	۰/۶۲	۱۹۱/۱۰	۳۶۲/۲۳	۳۴۶/۲۸	۰/۳۹
Nige۶۴	الجزایر	۴۲۵/۹۳	۳۰۹/۳۸	۰/۶۲	۰/۷۲	۱۱۶/۵۵	۳۶۷/۶۵	۳۶۱/۱۲	۰/۴۲
Nige۶۸	ازبکستان	۸۴۰/۸۱	۳۴۹/۵۸	۱/۳۰	۰/۴۲	۴۹۱/۲۳	۵۹۵/۱۹	۵۳۶/۸۸	۰/۹۴
Nige۷۲	سوریه	۵۷۳/۱۱	۱۶۷/۲۹	۰/۹۱	۰/۵۹	۲۳۸/۲۸	۴۵۳/۹۷	۴۳۶/۰۱	۰/۶۱
Nige۷۳	ازبکستان	۳۸۰/۶۵	۱۶۷/۲۹	۱/۲۴	۰/۴۴	۲۱۳/۳۶	۲۷۳/۹۷	۲۵۲/۲۶	۰/۲۱
Nige۷۵	گرجستان	۶۸۶/۰۶	۴۵۷/۶۳	۰/۷۴	۰/۶۷	۲۲۸/۴۳	۵۷۱/۸۵	۵۶۰/۰۸	۱/۰۱
Nige۷۶	قرقیزستان	۶۰۴/۲۹	۲۵۸/۱۲	۱/۲۸	۰/۴۳	۳۴۶/۱۸	۴۳۱/۲۰	۳۹۴/۹۴	۰/۵۰
Nige۷۸	یمن	۱۴۰۹/۳۹	۳۴۸/۳۴	۱/۶۸	۰/۲۵	۱۰۶۱/۰۵	۸۷۸/۸۶	۷۰۰/۶۲	۱/۵۷
Nige۷۹	یمن	۱۲۱۰/۵۸	۵۴۰/۲۱	۱/۲۴	۰/۴۵	۶۷۰/۳۷	۸۷۵/۳۹	۸۰۸/۶۸	۲/۱۰
Nige۸۱	نامشخص	۲۶۹/۲۳	۹۷/۸۶	۱/۴۲	۰/۳۶	۱۷۱/۳۷	۱۸۳/۵۴	۱۶۰/۵۸	۰/۰۸
قزوین	ایران	۶۳۲/۸۱	۴۳۴/۸۸	۰/۶۹	۰/۶۹	۱۹۷/۹۳	۵۳۳/۸۵	۵۲۴/۰۸	۰/۸۸
سمیرم	ایران	۳۹۱/۵۴	۳۶۲/۷۷	۰/۱۶	۰/۹۳	۲۸/۷۷	۳۷۷/۱۵	۳۷۶/۸۲	۰/۴۶
$LSD_{(5\%)}$	–	۷۸/۹۹	۷۰/۷۱	۰/۲۹	۰/۱۳	۷۸/۸	۶۳/۷۷	۶۶/۹۸	۰/۲۵

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. ضریب همبستگی بین عملکرد دانه در محیط نرمال، و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و شاخص‌های تحمل خشکی در سیاه‌دانه

شاخص	YP	YS	SSI	YSI	TOL	MP	GMP	STI
YP	۱							
YS	۰/۶۵**	۱						
SSI	۰/۳۴*	−۰/۴۱*	۱					
YSI	−۰/۳۴*	۰/۴۱*	−۰/۹۸**	۱				
TOL	۰/۸۶**	۰/۱۷ns	۰/۷۳**	−۰/۷۳**	۱			
MP	۰/۹۶**	۰/۸۴**	۰/۰۹ns	−۰/۰۹ns	۰/۶۸**	۱		
GMP	۰/۸۹**	۰/۹۳**	−۰/۰۷ns	۰/۰۷ns	۰/۵۳**	۰/۹۸**	۱	
STI	۰/۸۸**	۰/۸۹**	۰/۰۱ns	−۰/۰۱ns	۰/۵۴**	۰/۹۶**	۰/۹۷**	۱

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

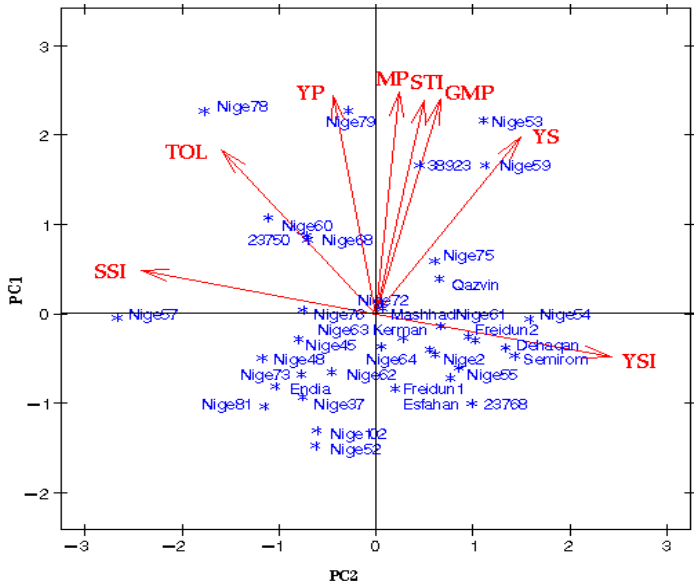
جدول ۵. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در گیاه سیاه‌دانه

شاخص	۱	۲	۳
YP	۰/۴۴	−۰/۱۱	۰/۳۱
YS	۰/۳۵	۰/۳۶	−۰/۲۸
SSI	۰/۰۹	−۰/۵۸	−۰/۳۶
YSI	−۰/۰۹	۰/۵۸	۰/۳۶
TOL	۰/۳۳	−۰/۳۸	۰/۶۰
MP	۰/۴۴	۰/۰۶	۰/۱۲
GMP	۰/۴۳	۰/۱۶	−۰/۱۰
STI	۰/۴۳	۰/۱۲	−۰/۴۲
مقادیر ویژه	۵/۰۲	۲/۸	۰/۱۵
درصد واریانس	۰/۶۳	۰/۳۵	۰/۰۲
درصد واریانس تجمعی	۰/۶۳	۰/۹۸	۱/۰۰

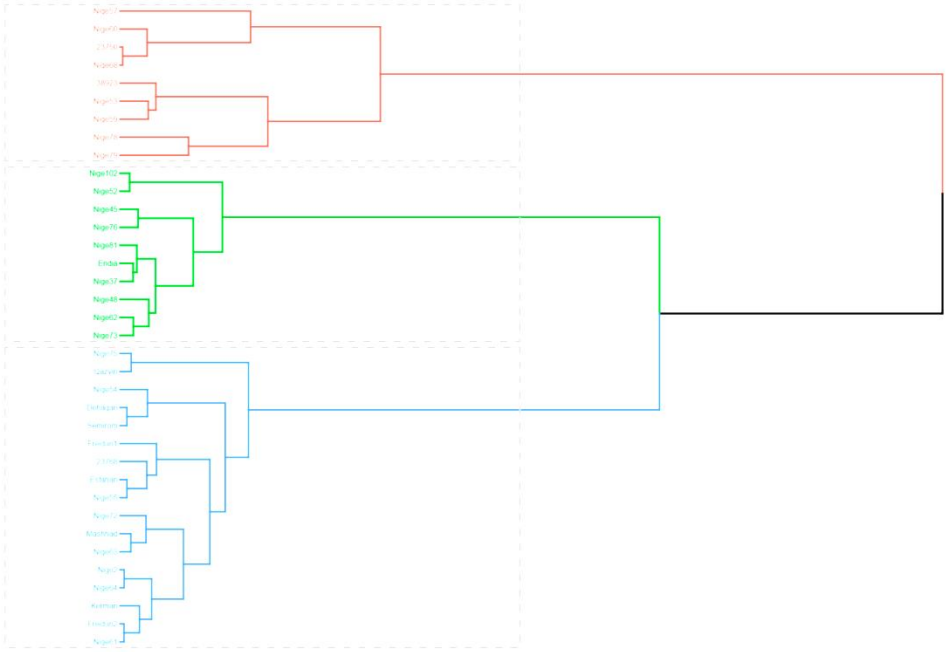
مؤلفه با عملکرد دانه در شرایط تنش همبستگی مثبت دارد (جدول ۵). مؤلفه دوم که ۳۵ درصد تغییرات را توجیه کرد با شاخص‌های STI و TOL همبستگی منفی داشت ولی با شاخص YSI همبستگی مثبت نشان داد. برای تفسیر بهتر نتایج از بای پلات مؤلفه اول در مقابل مؤلفه دوم استفاده شد. با توجه به شکل ۳ ژنوتیپ‌های Nige۵۳، Nige۵۹ و ۳۸۹۲۳ از نظر هر مؤلفه مقدار مثبت و بالایی داشتند بنابراین این ژنوتیپ‌ها جزء ژنوتیپ‌های مطلوب هستند که دارای پتانسیل عملکرد بالا و تحمل به تنش بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی هستند. ژنوتیپ‌های Nige۷۸ و Nige۷۹ از نظر مؤلفه اول مثبت و بالا ولی از نظر مؤلفه دوم دارای مقدار کمتر بودند بنابراین این ژنوتیپ‌ها پتانسیل عملکرد خوبی در محیط بدون تنش دارند ولی جزء ژنوتیپ‌های حساس به تنش هستند. ژنوتیپ‌های Nige۵۴، دهاقان و سمیرم در قسمت پایین و سمت راست شکل ۳ قرار گرفتند، این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد متوسط ولی از نظر حساسیت به تنش خشکی جزء ژنوتیپ‌های متحمل هستند یعنی کاهش عملکرد در این ژنوتیپ‌ها کم بوده است اما ژنوتیپ‌های Nige۵۷ و Nige۸۱ جزء ژنوتیپ‌هایی هستند که د حساسیت بالایی نسبت به تنش خشکی دارند و از لحاظ عملکرد دانه نیز ضعیف بوده‌اند. ژنوتیپ‌های Nige۱۰۲ و Nige۵۲ که در قسمت پایین شکل قرار گرفتند از لحاظ مقدار PC1 دارای کمترین مقدار بودند بنابراین این ژنوتیپ‌ها از لحاظ پتانسیل عملکرد بسیار ضعیف هستند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. نمایش بای پلات شاخص‌های تحمل به تنش خشکی ۳۶ ژنوتیپ سیاه‌دانه بر اساس اولین و دومین مؤلفه حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی



شکل ۴. تجزیه خوشه‌ای برای ۳۶ ژنوتیپ مختلف سیاه‌دانه بر اساس شاخص‌های مختلف تحمل به تنش خشکی با استفاده از روش Ward (رنگی در نسخه الکترونیکی)

تجزیه کلاستر

نتایج تجزیه خوشه‌ای با استفاده از عملکرد دانه در شرایط نرمال، عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و شاخص‌های تحمل برای ۳۶ ژنوتیپ مختلف سیاه‌دانه در شکل ۴ نشان داده شد. با توجه به شکل ۴ ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سه گروه قرار گرفتند در گروه اول که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتر قرار گرفتند از جمله ژنوتیپ‌ها می‌توان به ژنوتیپ‌های Nige ۷۹، Nige۷۸، Nige۵۹، Nige ۵۳، ۳۸۹۲۳ و Nige۶۸ اشاره کرد. در گروه دوم ژنوتیپ‌های Nige۱۰۲، Nige۵۲، Nige۸۱، Nige۳۷ و هندی

www.SID.ir

Archive of SID

قرار گرفتند که این ژنوتیپ‌ها حساس به تنش خشکی هستند و در هر دو شرایط عملکرد قابل قبولی نداشتند. گروه سوم شامل بیشتر ژنوتیپ‌ها است که این گروه نیمه‌حساس به تنش هستند. ژنوتیپ‌های ایرانی در گروه سوم قرار گرفتند، این ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال عملکرد متوسطی داشتند، ولی در شرایط تنش کاهش عملکرد کمی نشان داده‌اند، به‌طوری که ژنوتیپ سمیرم و دهاقان از نظر شاخص‌های TOL و SSI حداقل بوده‌اند.

بحث

با توجه به اینکه تنش خشکی جزء صفات کمی و پیچیده است و تحت تاثیر عوامل مختلف قرار می‌گیرد، انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش دشوار است.. چنانچه رابطه بین عملکرد در محیط نرمال و تنش بالا باشد (R^2=۱) برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شاخص نیاز نیست زیرا ژنوتیپ‌هایی که در محیط نرمال عملکرد بالایی دارند در محیط تنش نیز عملکرد بالایی خواهند داشت. در تحقیقی همبستگی بالا بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی گیاه یولاف (۰/۸۴ = R^2) مشاهده شد (۲۴)؛ بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌هایی که در شرایط نرمال عملکرد بهتری داشتند می‌تواند منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شود، ولی چنانچه این ارتباط پایین و ضعیف باشد انتخاب بر اساس شاخص می‌تواند مؤثر باشد (۸). در این تحقیق ارتباط بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و شرایط تنش، متوسط و ۰/۴۳= R^2 برآورد شد (شکل ۲). ابراهیمیان و همکاران (۸) نیز ارتباط متوسطی بین عملکرد علوفه در شرایط نرمال و تنش خشکی برای گیاه فستوکا گزارش کردند بنابراین انتخاب بر اساس شاخص می‌تواند مؤثرتر از انتخاب بر اساس R^2 متوسط باشد.

در پژوهش‌های مختلف برای انتخاب شاخص‌های برتر در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی از همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد در شرایط نرمال و تنش خشکی استفاده کردند (۳، ۸ و ۱۱). شاخص‌های MP، GMP و STI با عملکرد در شرایط نرمال و شرایط تنش خشکی همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند، بنابراین می‌توان از این شاخص‌ها در انتخاب ژنوتیپ‌های سیاه‌دانه متحمل به خشکی استفاده کرد. گل‌آبادی و همکاران (۱۶) با ارزیابی ۱۵۱ خانواده F۳ و F۴ گندم دوروم در شرایط تنش بعد از گلدهی و بدون تنش خشکی گزارش کردند که شاخص‌های STI، MP و GMP با عملکرد در شرایط تنش دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار و شاخص‌های TOL و SSI دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد در شرایط تنش هستند، بنابراین می‌توان ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بالای شاخص‌های STI، MP و GMP و مقادیر پایین برای شاخص‌های SSI و TOL را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش گزینش کرد. عبدلشاهی و همکاران (۱) تعداد ۴۰ رقم گندم نان را برای ارزیابی مقاومت به خشکی مورد بررسی قرار دادند و برای شناسایی ارقام مقاوم از شاخص‌های SSI، TOL، VI، GMP، STI، YSI، DRI و MP استفاده کردند در تحقیق آنها شاخص‌های STI، MP، GMP و YI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش داشتند. همچنین در تحقیق جعفری و همکاران (۲۰) و ایکلر و همکاران (۱۹) نیز چنین همبستگی گزارش شد. پیریواتلو و همکاران (۳۰) همچنین بیان کردند که شاخص STI شاخص مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالای دانه گندم است. در پژوهش‌های مختلفی نیز شاخص STI به‌عنوان شاخصی برتر برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی معرفی شده است (۷، ۱۶، ۲۶ و ۳۴). شاخص‌های SSI، STI، YSI و HM توسط آکورا و همکاران (۲) برای تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در گندم نان مورد استفاده قرار گرفت و آنها شاخص SSI را برای انتخاب در محیط تنش شدید و شاخص‌های STI و HM را برای محیط‌های با تنش کمتر پیشنهاد کردند. در بعضی تحقیقات همبستگی بین SSI و عملکرد در شرایط نرمال مشاهده نشد (۹) و شاخص SSI را برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی مناسب ندانستند (۶). ابراهیمیان و

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران (۸) نشان دادند شاخص‌های MP، GMP و STI همبستگی بالایی با عملکرد علوفه فستوکا در شرایط تنش و غیرتنش دارند بنابراین این شاخص‌ها را برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در گیاه فستوکا معرفی کردند. بهرامی و همکاران (۳) در ارزیابی شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در گلرنگ بهاره بیان داشتند که از میان شاخص‌های مورد بررسی، شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص میانگین بهره‌وری هندسی (GMP) شاخص‌های مناسبی برای ارزیابی مقاومت به خشکی و همچنین برای تعیین ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار است. زارعی و همکاران (۳۶) در بررسی مقاومت به شوری در گلرنگ ایرانی بیان داشتند که از میان شاخص‌های مورد بررسی، شاخص میانگین حسابی بهره‌وری (MP) و شاخص عملکرد (YI) در انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در دو شرایط تنش و بدون تنش مؤثرتر واقع شدند.

در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مؤلفه اول با شاخص‌های YP، MP، YS، GMP و STI همبستگی مثبت داشت بنابراین این مؤلفه را می‌توان پتانسیل عملکرد نامگذاری کرد. مؤلفه دوم با شاخص‌های STI و TOL همبستگی منفی داشت ولی با شاخص YSI همبستگی مثبت نشان داد که این مؤلفه را می‌توان تحمل به تنش نامگذاری کرد. ابراهیمیان و همکاران (۸) نیز از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های فستوکا استفاده کردند در تحقیق آنها مؤلفه اول و دوم بیش از ۹۸ درصد از تغییرات را توجیح کردند که مؤلفه اول با شاخص‌های GMP، MP، Ys، Yp و STI همبستگی داشت؛ بنابراین این مؤلفه را پتانسیل تولید عملکرد نامیدند و مؤلفه دوم با TOL و SSI همبستگی مثبت داشت و این مؤلفه را حساسیت به تنش نامیدند. در پژوهش دیگری از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شناخت بهتر روابط بین شاخص‌های انتخاب و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر یولاف استفاده شد و مشخص شد که مؤلفه اول با شاخص‌های YP، YS، MP، YI،STI و HM همبستگی مثبت دارد؛ بنابرین این مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی نامگذاری شد و مؤلفه دوم با YSI همبستگی مثبت داشت بنابراین مؤلفه دوم تحمل به خشکی نامگذاری شد (۲۴). از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای بررسی و انتخاب شاخص‌های برتر در گیاهان مختلف نیز استفاده شد (۱، ۲۰ و ۲۶).

نتایج تجزیه خوشه‌ای تقریباً با نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی همخوانی داشت به‌طوری که ژنوتیپ‌های Nige۷۹، Nige۷۸، Nige۵۹، Nige ۵۳، ۳۸۹۲۳ و Nige۶۸ جزء ژنوتیپ‌های با عملکرد بالاتر از سایر ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط در یک گروه قرار گرفتند. محمدی و همکاران (۲۶) با استفاده از تجزیه کلاستر بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی ۲۱ رقم گندم نان را در چهار گروه مجزا دسته‌بندی کردند. از تجزیه کلاستر بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در سایر گیاهان از جمله سویا (۳۵) نخود (۳۲) و گلرنگ (۳) نیز استفاده شد.

به‌طور کلی با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌هایی که پتانسیل عملکرد بالایی در شرایط نرمال دارند با وجود اینکه کاهش عملکرد بیشتری در شرایط تنش دارند ولی از نظر عملکرد از سایر ژنوتیپ‌ها برتر هستند. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی ژنوتیپ‌های Nige۵۳، Nige۵۹، ۳۸۹۲۳ و Nige۷۹ برای کشت در شرایط تنش خشکی و برنامه‌های اصلاحی پیشنهاد می‌شود. همچنین شاخص‌های MP، GMP و STI برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی برای گیاه سیاه‌دانه پیشنهاد می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Abdolshahi, R., A. Safarian, M. Nazari, S. H. Pourseyedi and G. H. Mohamadi-Nejad. 2013. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. *Archives of*

www.SID.ir

Agronomy and Soil Science 59(5): 1-20.
2. Akcura, M., F. Partigoc and Y. Kaya. 2011. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in Turkish bread wheat landraces. *The Journal of Animal and Plant Sciences* 21(4): 700-709.
3. Bahrami, F., A. Arzani and V. Karimi. 2014. Evaluation of yield-based drought tolerance indices for screening safflower genotypes. *Agronomy Journal* 106(4): 1219-1224.
4. Blum, A. 2012. Drought resistance. pp. 2-57. *In*: Blum, A. (Eds.), Plant Breeding for Water-Limited Environments. Springer, New York, Dordrecht Heidelberg London.
5. Bouslama, M. and W. T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. I: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24(5): 933-937.
6. Clarke, J. M., R. M. DePauw and T. F. Townley-Smith. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Scien*ce 32(3): 723-728.
7. Drikvand, R., B. Doosty and T. Hosseinpour. 2012. Response of rainfed wheat genotypes to drought stress using drought tolerance indices. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 4(7): 126-131.
8. Ebrahimiyan, M., M. M. Majidi, A. Mirlohi and M. Gheysari. 2012. Drought tolerance indices in a tall fescue population and its polycross progenies. *Crop and Pasture Science* 63: 360-369.
9. Ehdaie, B. and M. R. Shakiba. 1996. Relationship of internode-specific weight and water-soluble carbohydrates in wheat. *Cereal Research Communication* 24: 61-67.
10. Etminan, A., A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi, L. Shooshtari, M. Yousefiazarkhanian and H. Moradkhani. 2019. Determining the best drought tolerance indices using artificial neural network (ANN): insight into application of intelligent agriculture in agronomy and plant breeding. *Cereal Research Communications* 47(1): 170-181.
11. Farshadfar, E. and J. Sutka. 2003. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Research Communications* 31: 33-39.
12. Farshi, A., H. Siadat, S. Darbandi, M. R. Entesari, J. Kheiraee, M. Mirlatifi, A. Salamat and M. H. Sadat-Miree. 2003. Water irrigation management in field. Publication of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. (In Farsi).
13. Fernandez, G. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. PP. 257-270. *In*: Kuo, C. G., (Eds.), Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanhua, Taiwan.
14. Fischer, R. A. and R. Maurer. 1987. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research* 29(5): 897-912.
15. Ghamarnia, H., H. Khosravy and S. Sepehri. 2010. Yield and water use efficiency of (*Nigella sativa* L.) under different irrigation treatments in a semi-arid region in the west of Iran. *Journal of Medicinal Plants Research* 4(16): 1612-1616.
16. Golabadi, M., A. Arzani and S. A. M. Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research* 1(5): 162-171.
17. Harzallah, H., J. B. Kouidhi, G. Flamini, A. Bakhrouf and T. Mahjoub. 2011. Chemical composition, antimicrobial potential against cariogenic bacteria and cytotoxic activity of Tunisian (*Nigella sativa* L.) essential oil and thymoquinone. *Food Chemistry* 129(4): 1469-1474.
18. Hoseini, S., M. K. Mostafavi and F. Aghayari. 2017. Investigation of drought stress tolerance in barley varieties using drought tolerance indices. *Journal of Agronomy and Plant Breeding* 13(1): 35-42. (In Farsi).
19. Ilker, E., O. Tartar, F. Aykut-Tonk and M. Tosun. 2011. Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. *Turkish Journal of Field Crops* 16(1): 59-63.
20. Jafari, A., F. Paknejad and M. Jami-Al-Ahmadi. 2009. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Journal Plant production* 3 (4): 33–38. (In Farsi).
21. Karim, M., R. M. Himel, J. Ferdush and M. Zakaria. 2017. Effect of irrigation levels on yield performance of black cumin. *Journal Environmental Agriculture Biotechnology* 2(2): 959-966.
22. Kashfi, A. 2010. Economic comparative advantage of medical plants tradein Iranan this valuein world market. *Journal of Commerce Research* 8(44): 67-78. (In Farsi).
23. Khalili, M., M. R. Naghavi and A. Pour-Aboughadareh. 2014. Evaluation of grain yield and some of agro-morphological characters in spring safflowers genotypes under irrigated and rainfed conditions. *Journal of Crop Breeding* 7(16): 139-148. (In Farsi).
24. Mevlüt, A. and C. Sait. 2011. Evaluation of drought tolerance indices for selection of Turkish oat (*Avena sativa* L.) landraces under various environmental conditions. *Zemdirbyste Agriculture* 98(2): 157-166.
25. Mohamed, B. A. and N. E. Ashraf. 2016. Evaluation of drought tolerance indices for wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigated and rainfed conditions. *Communications in Biometry and Crop Science* 11: 77-89.
26. Mohammadi, R., E. Farshadfar, M. Aghaee and J. Shutka. 2003. Locating QTLs controlling drought tolerance criteria in rye using disomic addition lines. *Cereal Research Communications* 31: 257-263.
27. Motaghi, M., G. Najafian and M. Bihamta. 2010. Comparing of efficiency of multivariate statistical methods with

www.SID.ir

Archive of SID

a 2- step screening method for selection wheat genotypes with favorable yield potential and tolerance to water scarcity. *Crop Production in Environmental Stress* 2(1): 47-62.
28. Nessabian, S., T. GholamHosseini and F. Jabal Ameli. 2012. Compares of comparative advantage of Iran's medical plants export with other exporter countries. *Journals of Economic Modeling* 6(4): 75-92. (In Farsi).
29. Omid-baigi, R. 2015. Production and processing of medicinal plants. Publishing to Behnashr. Astan Quds Razavi. (In Farsi).
30. Pireivatlou, A. S., B. D. Masjedlou and R.T. Aliyev. 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. *Africa Journal Agriculture Researches* 5: 2829-2836.
31. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 943-946.
32. Seyedi, M., J. Hamzeie, G. Ahmadvand and M. A. Abutalebian. 2012. Evaluation of weed control possibility and crop production in pea and barley intercropping. *Iranian Journal of Sustainable Agriculture and Production Science* 3(22): 101-114. (In Farsi).
33. Shiri, M. and R. Choukan. 2015. Evaluation of maize hybrids tolerance to drought stress. *Journal of Crop Breeding* 9(21): 89-99. (In Farsi).
34. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crop Researches* 98: 222-229.
35. Yahooeian, S. H., M. R. Bihamta, H. R. Babaei and D. Habibi. 2005. Evaluation to drought stress in soybean genotype. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding* 2(2): 72-75. (In Farsi).
36. Zareie, S., G. H. Mohammadi-Nejad and S. Sardouie-Nasab. 2013. Screening of Iranian safflower genotypes under water deficit and normal conditions using tolerance indices. *Australian Journal of Crop Science* 7(7): 1032-1037.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 10, No. 2, Summer 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Drought Tolerance Indices for Selection of Superior Genotypes in Black Cumin (*Nigella sativa* L.)

H. Hasanzadeh[1], E. Shahbazi[2*], Sh. Mohamadi[3] and K. A. Saeidi[4]

(Received: August 13-2019; Accepted: September 08-2019)

Abstract

Drought stress is considered as one of the most important constraints to the crop production, including medicinal plants in many arid and semi-arid regions. This study was carried out to determine the most effective indices for drought tolerance and identification of tolerance genotypes under drought conditions in *N. sativa*. For this purpose, 36 genotypes of *N. sativa* were tested as a split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications at Agricultural Research Field of Shahrekord University, Shahrekord, Iran under two irrigation conditions (non- stress and drought stress) at 2017-2018. The results showed that there were significant differences among different genotypes in terms of all drought stress tolerance indices. A modest correlation was observed between grain yield under normal and stress conditions ($R^2 = 0.43$). Grain yield showed a positive and significant correlation with all indices under normal conditions, except for yield stability index (YSI). The MP, GMP and STI had positive and significant correlations with grain yield under both normal and drought stress conditions. According to principal component analysis, the first component explained about 63% of the total variation, which was correlated positively with YP, MP, GMP, and STI indices. Therefore, MP, GMP and STI could be used to select drought-tolerant genotypes. Based on the high grain yield potential and high drought tolerance observed for Nige53, Nige59 and 38923 genotypes, these genotypes could be recommended for cultivation under drought stress conditions and further studies in breeding programs.

Keywords: Drought stress, Black cumin, Principal component analysis, Seed yield

1, 2, 3 and 4 MSc. Student, Assistant Professor, Professor, Respectively, Department of Plant Breeding and Biotechnology, and Associate Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
*: Corresponding Author, Email: eh_shahbazi@sku.ac.ir

www.SID.ir