ارزیابی تحمل تنش کم‌آبی در برخی از ژنوتیپ‌های کنجد با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت

سپیده قطب‌زاده کرمانی[۱]، قدرت الله سعیدی[۲*] و محمدرضا سبزعلیان[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۹)

چکیده

به‌منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum* L.) برای تحمل خشکی، آزمایشی در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. در این آزمایش ۲۱ ژنوتیپ انتخاب شده از توده‌های بومی همراه با هفت رقم خارجی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با دو تکرار در سال اول و سه تکرار در سال دوم و به‌طور جداگانه در دو رژیم رطوبتی معمول و کم‌آبیاری (به‌ترتیب شامل آبیاری بر اساس ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک)، ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که اثر رژیم رطوبتی بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها معنی‌دار بود و میانگین عملکرد دانه دو سال برای محیط با آبیاری معمول ۲۱۸۶ و برای محیط کم‌آبیاری ۱۲۳۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. بر اساس داده‌های دو سال، بیشترین عملکرد دانه در حالت آبیاری معمول مربوط به ژنوتیپ شیراز ۵ و در حالت کم‌آبیاری مربوط به ژنوتیپ‌های مرکزی ۱ و شیراز ۵ بود. با بررسی شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش خشکی (TOL، MP، GMP، HARM، SSI، STI، DRI، ATI، SSPI و SNPI) به‌نظر می‌رسد که شاخص‌های STI، MP و SNPI شاخص‌های مناسب‌تری برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل در کنجد هستند و بر اساس این شاخص‌ها، ژنوتیپ شیراز ۵ در طی دو سال آزمایش به‌عنوان متحمل‌ترین و با پتانسیل تولید بالا و ژنوتیپ چینی به‌عنوان حساس‌ترین و با پتانسیل تولید کمتر معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: کنجد، تنش رطوبتی، شاخص تحمل

۱، ۲ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: gsaeidi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

گیاهان دانه روغنی از نظر تأمین انرژی مورد نیاز انسان و دام در بین محصولات زراعی از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند (۲۳). دانه کنجد به‌دلیل دارا بودن میزان قابل توجهی روغن با کیفیت (۵۳-۴۴ درصد) و ترکیبات ریزمغذی به‌عنوان یک محصول دانه روغنی مهم شناخته شده است (۲۳).

خشکسالی و تنش حاصل از آن یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را با محدودیت روبه‌رو می‌سازد. استفاده از ارقام اصلاح شده با عملکرد مطلوب و همچنین متحمل به شرایط تنش خشکی امکان استفاده بهتر از منابع آب موجود را میسر کرده است و موجب توسعه کشت می‌شود. روش‌های مختلفی برای انتخاب ارقام متحمل به خشکی پیشنهاد شده است، به‌طوری که برخی از پژوهشگران انتخاب در شرایط بدون تنش (۲۰) و بعضی انتخاب در شرایط تنش (۱۳) را برای بهبود تحمل نسبی پیشنهاد کرده‌اند. برخی نیز معتقد هستند که راه بینابین، یعنی انتخاب در شرایط تنش و غیر تنش مناسب‌تر است (۶). تحمل به خشکی را توانایی یک ژنوتیپ در تولید عملکرد بیشتر نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش تعریف کرده‌اند که بیشتر مورد توجه متخصصین به‌نژادی قرار گرفته است (۱۹). سریواستاوا و همکاران (۲۴) نیز ارقامی را متحمل به خشکی در نظر گرفتند که به‌طور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تنش را بهتر تحمل کرده و در شرایط تنش افت عملکرد کمتری نشان دادند. بلوم (۴) بیان می‌کند که ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در شرایط عدم تنش ممکن است که متحمل نباشند و عملکرد بالای آنها ناشی از پتانسیل عملکرد آنها باشد و از مکانیزم‌های متحمل بی‌بهره باشند. بنابراین وجود شاخص‌هایی که بتوانند پتانسیل عملکرد و وجود مکانیزم‌های تحمل را همزمان مدنظر قرار دهند ضروری است. روزیله و هامبلین (۲۱) شاخص تحمل (TOL) و شاخص میانگین تولید (MP) را پیشنهاد کردند و معتقدند که انتخاب بر مبنای مقادیر کمتر TOL به گزینش ژنوتیپ‌هایی منجر می‌شود که عملکرد آنها در اثر تنش کاهش کمتری داشته باشد. بعضی تحقیقات نیز نشان داده است که این شاخص در تشخیص ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند، از ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش عملکرد نسبتاً بالایی تولید می‌کند، ناتوان است (۱). شاخص میانگین هارمونیک (HARM) نیز توسط برخی از پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته است (۸).

فیشر و مورر (۱۱) با استفاده از شاخص حساسیت به تنش (SSI) مشاهده کردند که در بین ارقام گندم مورد بررسی، تنوع ژنتیکی وجود دارد و بعضی از ژنوتیپ‌ها کمترین حساسیت را به خشکی نشان دادند. ولی ضعف استفاده از شاخص SSI به‌دلیل اینکه انتخاب بر اساس آن به گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش ولی با پتانسیل عملکرد پایین منجر می‌شود، توسط کلارک و همکاران (۶)، اشنایدر و همکاران (۲۲) گزارش شده است.

فرناندز (۱۰) نیز با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی تولید (GMP) نتیجه‌گیری کرد که شاخص STI بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و متحمل به تنش است. مرده و همکاران (۱۶) ضمن مشاهده تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها نتیجه گرفتند که مؤثرترین روش برای اصلاح تحمل به خشکی در گندم، انتخاب بر مبنای مقادیر بالای شاخص‌های GMP، MP و STI در شرایط تنش متوسط و یا مقادیر کم SSI در تنش شدید است. اشنایدر و همکاران (۲۲) با به‌کارگیری شاخص‌های GMP و SSI در لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.)، ضمن مشاهده تنوع ژنتیکی، شاخص GMP را شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی معرفی کردند. گل‌آبادی و همکاران (۱۲) نیز با استفاده از شاخص‌های مختلف برای ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های گندم دوروم، تنوع ژنتیکی زیادی را برای این شاخص‌ها گزارش کردند. زارع (۲۵) نیز با بررسی نحوه واکنش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در جو بیان کرد که بعضی از ارقام این گیاه از توانایی تحمل به تنش بالایی برخوردارند.

جدول ۱. نام و منشأ ژنوتیپ‌های کنجد مورد استفاده در این پژوهش

ژنوتیپ	کد	منشا	ژنوتیپ	کد	منشأ
Tn۲۳۴	۱	ایران – خوزستان	بیرجند ۶	۱۵	ایران – خراسان
پاکستانی	۲	پاکستان	پاکستانی سفید	۱۶	پاکستان
زودرس	۳	حاشیه مدیترانه	پنجاب	۱۷	هندوستان
هندی	۴	هندوستان	جیرفت ۲	۱۸	ایران – کرمان
ورامین ۲۸۲۲	۵	ایران – اصفهان	چینی	۱۹	چین
Tn۲۴۰	۶	ایران – خوزستان	شیراز ۱۰	۲۰	ایران – فارس
یکتا	۷	ایران – ناشناخته	شیراز ۵	۲۱	ایران – فارس
داراب ۱	۸	ایران – فارس	شیراز ۸	۲۲	ایران – فارس
عراقی ۲۲	۹	عراق	گلپایگان ۳	۲۳	ایران – اصفهان
اردستان ۴	۱۰	ایران – اصفهان	گلپایگان ۱	۲۴	ایران – اصفهان
اولتان	۱۱	ایران – اردبیل	گلپایگان ۴	۲۵	ایران – اصفهان
اهواز ۱	۱۲	ایران – خوزستان	مبارکه ۴	۲۶	ایران – اصفهان
اهواز ۷	۱۳	ایران – خوزستان	مرکزی ۱	۲۷	ایران – مرکزی
برازجان	۱۴	ایران – بوشهر	ناز تک شاخه	۲۸	ایران – مازندران

به‌طورکلی هدف از این پژوهش، ارزیابی عملکرد و تحمل به خشکی برخی از ژنوتیپ‌های کنجد با استفاده از شاخص‌های مختلف و مقایسه بین شاخص‌ها بود تا بتوان ژنوتیپ‌های برتر و همچنین شاخص بهتر برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به شرایط تنش رطوبتی را معرفی کرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی دو سال متوالی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به‌منظور ارزیابی ۲۸ ژنوتیپ کنجد (شامل ۲۱ ژنوتیپ ایرانی و ۷ ژنوتیپ خارجی) در دو رژیم رطوبتی مختلف در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در منطقه لورک نجف‌آباد انجام شد. ژنوتیپ‌های مورد بررسی (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در سال اول و سه تکرار در سال دوم و به‌طور جداگانه در دو رژیم رطوبتی شامل آبیاری بر اساس ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه رطوبت از خاک، ارزیابی شدند. هر کرت آزمایشی شامل دو ردیف به طول ۲ متر و با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۷ سانتی‌متر بود. پارامترهای فیزیکی مورد نیاز نمونه‌های خاک از قبیل بافت، وزن مخصوص ظاهری خاک و همچنین درصد رطوبت خاک در گنجایش زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) با استفاده از دستگاه صفحه فشاری (Pressure plate) تعیین شد. با شروع گل‌دهی، زمان آبیاری در تیمارهای آبیاری (آبیاری معمول و کم‌آبیاری) و با توجه به نمونه‌گیری از خاک مزرعه و بر اساس تخلیه ۶۰ و ۹۰ درصد آب قابل استفاده خاک تعیین و اعمال شد. برای تعیین زمان‌های آبیاری در رژیم‌های مورد نظر، قبل از انجام آبیاری در سه بخش از مزرعه و از عمق‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متری، شش نمونه خاک تهیه و برای تعیین درصد رطوبت وزنی خاک به آزمایشگاه منتقل شد. در هر تیمار آبیاری زمانی که درصد آب قابل استفاده خاک (فرمول ۱) به سطح آستانه مورد نظر رسید، آبیاری انجام شد. میزان آب آبیاری بر اساس عمق (فرمول ۲) و حجم (فرمول ۳) آبیاری به‌دست آمد (۲).

$$\theta_{irrig} = \theta_{fc} - (\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \times \rho \quad (۱)$$

$$D_{irrig} = (\theta_{fc} - \theta_{avg}) \times Z_e \times \rho_b \quad (۲)$$

$$V_{irrig} = A_{field} \times D_{irrig} \quad (۳)$$

در فرمول‌های بالا، θ_{irrig} (٪) سطح آستانه رطوبت قابل استفاده خاک، θ_{fc} میزان رطوبت خاک در گنجایش زراعی، θ_{pwp} میزان رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم، ρ مقداری از رطوبت قابل استفاده خاک که می‌تواند در هر تیمار آبیاری کاهش یابد (۶۰ و ۹۰ درصد)، D_{irrig} عمق آب آبیاری (سانتی‌متر)، θ_{avg} رطوبت قابل دسترس در منطقه توسعه ریشه، Ze عمق توسعه ریشه، ρb چگالی ظاهری خاک، V_{irrig} حجم آب آبیاری (مترمکعب) و A_{field} سطح مزرعه است.

در زمان رسیدگی عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بر مبنای عملکرد دانه در واحد سطح تعیین شد. در این تحقیق از شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به خشکی شامل شاخص‌های جدیدتر تحمل تنش‌های غیر زنده (ATI)، درصد حساسیت به تنش (SSPI) و میزان محصول در محیط تنش و غیر تنش (SNPI) و شاخص‌های قدیمی‌تر تحمل (TOL)، میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی تولید (GMP)، میانگین هارمونیک تولید (HARM)، حساسیت به تنش (SSI)، تحمل به تنش (STI) و شاخص پاسخ به خشکی (DRI) برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها استفاده شد که با استفاده از معادلات ذیل محاسبه شدند.

$$TOL = Y_p - Y_s \quad (۲۱) \quad (۴)$$

$$MP = \frac{Y_p - Y_s}{2} \quad (۲۱) \quad (۵)$$

$$HARM = \frac{2\left(Y_p \times Y_s\right)}{Y_p + Y_s} \quad (۱۵) \quad (۶)$$

$$STI = \frac{Y_p \times Y_S}{\overline{Y}_p^2} \quad (۱۰) \quad (۷)$$

$$DRI = \frac{\left(Y_s \div Y_p\right)}{\left(\overline{Y}_s \div \overline{Y}_p\right)} \quad (۳) \quad (۸)$$

$$ATI = \left[\frac{\left(Y_p - Y_s\right)}{\left(\overline{Y}_p - \overline{Y}_s\right)}\right] \times \left[\sqrt{Y_p \times Y_s}\right] \quad (۱۷) \quad (۹)$$

$$SSPI = \left[\frac{\left(Y_p - Y_s\right)}{2 \times \overline{Y}_p}\right] \times 100 \quad (۱۷) \quad (۱۰)$$

$$SNPI = \left[\sqrt[3]{\frac{\left(Y_p + Y_s\right)}{\left(Y_p - Y_s\right)}}\right] \times \left[\sqrt[3]{\left(Y_p \times Y_s^2\right)}\right] \quad (۱۷) \quad (۱۱)$$

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \quad (۱۰) \quad (۱۲)$$

$$SSI = \frac{1 - \left(Y_s \div Y_p\right)}{1 - \left(\overline{Y}_s \div \overline{Y}_p\right)} \quad (۱۱) \quad (۱۳)$$

در معادلات فوق Y_s گویای عملکرد در محیط کم‌آبیاری، Y_p عملکرد در محیط با آبیاری معمول، $\overline{Y}_s$: میانگین عملکرد در محیط کم‌آبیاری و $\overline{Y}_p$: میانگین عملکرد در محیط با آبیاری معمول است.

بعد از محاسبه شاخص‌های مختلف، برای تعیین بهترین شاخص، همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری و آبیاری معمول با هر کدام از شاخص‌های تحمل به تنش با استفاده از نرم‌افزار SAS محاسبه شد. با توجه به اینکه یک شاخص مناسب، شاخصی است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A (ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد مطلوب و نسبتاً یکسانی دارند) را از گروه‌های دیگر (گروه B: ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط عدم تنش عملکرد خوب دارند، گروه C: ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط تنش عملکرد خوبی دارند و گروه D: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد ضعیفی دارند) تفکیک کند (۹)، بنابراین تفکیک دقیق‌تر ژنوتیپ‌ها بر اساس نمودار سه‌بعدی صورت گرفت که بدین منظور از نرم‌افزار Stat graphis استفاده شد و در این نمودار x، y و z به‌ترتیب عملکرد در شرایط کم‌آبیاری، عملکرد در شرایط با آبیاری معمول و شاخص تحمل به تنش (STI) در نظر گرفته شد. همچنین به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر ارقام متحمل به خشکی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و همچنین تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار Stat graphis انجام و سپس با رسم بای‌پلات دو مؤلفه اول، ارتباط بین شاخص‌ها و سهم هر شاخص در مؤلفه تعیین شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و شاخص‌های مورد مطالعه نشان داد. اثر متقابل بین سال و ژنوتیپ برای کلیه صفات معنی‌دار بود (جدول ۲). بنابراین با توجه به‌وجود تنوع ژنتیکی موجود در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و اثر متقابل آنها امکان شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل‌تر وجود دارد. سال اول در شرایط آبیاری معمول و کم‌آبیاری بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ اهواز ۱ (۳۶۲۱ کیلوگرم در هکتار) و ژنوتیپ ورامین ۲۸۲۲ (۱۹۶۷ کیلوگرم در هکتار) بود، درحالی که کمترین عملکرد در شرایط با آبیاری معمول متعلق به ژنوتیپ پاکستانی سفید با مقدار ۱۶۹۸ کیلوگرم در هکتار و در شرایط کم‌آبیاری ژنوتیپ چینی با مقدار ۸۲۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳)، در سال دوم نیز کمترین و بیشترین مقدار عملکرد در محیط با آبیاری معمول به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های چینی و شیراز ۵ بود و در محیط کم‌آبیاری به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های یکتا و مرکزی ۱ اختصاص داشت (جدول ۳). عکس‌العمل متفاوت ژنوتیپ‌ها در هر سال نشان‌دهنده اثر متقابل ژنوتیپ و سال است.

با توجه به اینکه هرچه شاخص‌های TOL، SSI، ATI و SSPI کوچک‌تر باشد، تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها بهتر است، لذا بر اساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های پاکستانی سفید، یکتا، اردستان ۴ و زودرس به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر در سال اول (جدول ۳) و ژنوتیپ‌های چینی، اولتان، بیرجند ۶، مرکزی ۱، اهواز ۱ و یکتا در سال دوم در نظر گرفته شدند (جدول ۳). ژنوتیپ‌های شیراز ۵، مرکزی ۱، بیرجند ۶، شیراز ۱۰ و برازجان دارای مقادیر بالایی از شاخص‌های HARM، STI، MP، SNPI، DRI و GMP در سال دوم بودند (جدول ۳)، درحالی که در سال اول ژنوتیپ‌های مبارکه ۴، ورامین ۲۸۲۲، اهواز ۱، اهواز ۷، زودس و شیراز ۵ با رتبه‌های متفاوت از لحاظ این شاخص‌ها برتر بودند (جدول ۳). انتخاب بر اساس شاخص‌های STI، GMP، MP و HARM نتایج مشابهی داشت و طی هر دو سال، ژنوتیپ شیراز ۵ از نظر این شاخص‌ها به‌عنوان ژنوتیپ متحمل‌تر شناخته شد.

بر اساس شاخص‌های فوق الذکر ژنوتیپ‌های مختلف انتخاب شدند و سپس به‌منظور اطمینان از حصول عملکرد دانه مطلوب در هر دو شرایط آبیاری معمول و کم‌آبیاری از بین ژنوتیپ‌های انتخابی آنهایی که بیشترین مقادیر عملکرد را در هر دو شرایط داشتند، مجدد انتخاب شدند. لذا بر این اساس ژنوتیپ‌های اهواز ۱، شیراز ۵، مبارکه ۴ و ورامین ۲۸۲۲ بر اساس نتایج سال اول و ژنوتیپ‌های شیراز ۵، برازجان، مرکزی ۱ و بیرجند ۶ برای سال دوم به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر درنظر گرفته شدند (جدول ۳). با توجه به اینکه گزینش لاین‌های متحمل به خشکی بر مبنای هر کدام از شاخص‌ها و یا عملکرد به‌تنهایی مشکل بوده و حتی گاهی نتایج ضد و نقیضی به‌دنبال دارد، لذا به‌منظور تعیین بهترین شاخص(ها)، همبستگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها با شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه شد (جدول ۴). در مطالعه حاضر در هر دو سال شاخص‌های STI، MP، GMP، HARM و SNPI همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو محیط داشتند (جدول ۴).

همبستگی منفی شاخص SSI با عملکرد در حالت کم‌آبیاری نشان می‌دهد که این شاخص برای تمایز ژنوتیپ‌های گروه C مناسب است (جدول ۴). بر اساس نتایج شاخص‌های TOL، ATI و SSPI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در حالت نرمال داشتند و از آنجا که انتخاب بر اساس مقادیر کم این شاخص‌ها صورت می‌گیرد، به‌نظر می‌رسد شاخص‌های مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل کنجد نباشند. اما انتخاب بر اساس مقادیر زیاد این شاخص‌ها می‌تواند ژنوتیپ‌های گروه B را تشخیص دهد (جدول ۴).

بر اساس همبستگی مشاهده شده شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا در هر دو محیط باشند، مناسب هستند و شاخص‌های SNPI، DRI و SSI قادر به تشخیص ژنوتیپ‌هایی بودند که در محیط کم‌آبیاری عملکرد بالایی دارند.

برای مطالعه روابط بین شاخص‌ها از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (جدول ۵) و ترسیم گرافیکی بای‌پلات (شکل ۱) استفاده

جدول ۲. میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌های عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش طی دو سال زراعی

منابع تغییر	درجه آزادی	Y_p	Y_s	TOL	MP	GMP	HARM	SSI	STI	DRI	ATI	SSPI	SNPI
سال	۱	۷۱۹۳۸۶۴۲**	۱۱۵۸۹۴۶۶**	۲۶۷۸۵۱۳۲**	۳۵۰۰۱۷۵۷**	۲۹۹۱۰۰۶۰**	۶۳۶۷۳۳۶**	۰/۰۶۰^{ns}	۰/۹۳۲**	۰/۰۰۷^{ns}	۲۸۳۴۶۸۴۵**	۱۳۴۱**	۷۹۲۹۵۲۲^{ns}
تکرار (سال)	۳	۳۸۶۲۵۶*	۶۲۵۷^{ns}	۲۸۰۶۲۸**	۱۳۵۷۸۶^{ns}	۸۷۴۸۱^{ns}	۱۳۷۷۸^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۱۲^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۱۳۳۳۰۳^{ns}	۳۰/۳۲^{ns}	۱۵۴۲۳۱۱^{ns}
ژنوتیپ	۲۷	۱۰۴۴۶۱۷**	۳۸۷۸۳۲**	۶۷۷۶۸۷**	۵۴۲۲۱۶**	۴۹۴۷۰۸**	۱۱۷۸۶۹**	۰/۴۹۸**	۰/۲۸۲**	۰/۱۵۲**	۴۵۷۸۹۸۴**	۳۹۶**	۲۸۱۶۲۲۷**
سال × ژنوتیپ	۲۷	۴۶۶۸۸۱**	۲۵۱۴۶۸**	۳۵۲۹۴۸**	۲۷۳۰۳۷**	۲۶۴۲۸۶**	۶۷۵۵۰**	۰/۴۱۱**	۰/۱۹۳**	۰/۱۱۴**	۲۰۹۰۹۱۴**	۲۱۱**	۲۶۱۶۸۳۸**
خطا	۸۱	۱۱۶۰۴۶	۳۹۹۶۸	۶۵۲۶۸	۶۲۰۸۱	۵۵۳۶۴	۱۲۹۴۰	۰/۰۳۱	۰/۰۳۰	۰/۰۱۱	۴۲۲۵۵۴	۲۸/۳۰	۶۴۰۴۸۸

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار (۰/۰۵>)، بسیار معنی‌دار (۰/۰۱>) و غیر معنی‌دار

Y_p: عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول (kg/ha)، Y_s: عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری (kg/ha)، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص میانگین تولید، GMP: شاخص میانگین هندسی تولید، HARM: شاخص میانگین هارمونیک تولید، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، DRI: شاخص پاسخ به خشکی، ATI: شاخص تحمل تنش‌های غیر زنده، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش و SNPI: شاخص میزان محصول در محیط غیر تنش و تنش

جدول ۳. میانگین عملکرد دانه در واحد سطح و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی برای برخی از ژنوتیپ‌های متحمل‌تر و حساس‌تر در دو سال زراعی

ژنوتیپ	سال	Y_p (Kg/ha)	Y_s (Kg/ha)	TOL	MP	GMP	HARM	SSI	STI	DRI	ATI	SSPI	SNPI
اردستان ۴	۹۳	۲۱۳۶	۱۳۰۴	۸۳۲	۱۷۲۰	۱۶۶۹	۸۱۰	۰/۷۹	۰/۳۷	۱/۲۰	۱۰۴۲	۱۵/۲	۲۴۶۷
اهواز ۱	۹۳	۳۶۲۱	۱۶۸۳	۱۹۳۸	۲۶۵۲	۲۴۶۷	۱۱۴۸	۱/۰۸	۰/۷۸	۰/۹۲	۳۴۶۳	۳۴/۹	۳۰۴۲
اهواز ۷	۹۳	۳۲۷۱	۱۷۸۵	۱۴۸۶	۲۵۲۸	۲۴۱۶	۱۱۵۵	۰/۹۲	۰/۷۸	۱/۰۸	۲۶۶۶	۲۷/۰	۳۲۸۶
پاکستانی سفید	۹۳	۱۶۹۸	۱۱۳۳	۵۶۵	۱۴۱۶	۱۳۸۷	۶۸۰	۰/۶۷	۰/۲۵	۱/۳۴	۵۶۴	۱۰/۲	۲۲۱۸
چینی	۹۳	۲۲۹۹	۸۲۴	۱۴۷۵	۱۵۶۲	۱۳۷۶	۶۰۷	۱/۲۷	۰/۲۴	۰/۷۳	۱۴۷۰	۲۶/۱	۱۴۹۰
زودرس	۹۳	۲۴۴۱	۱۷۴۰	۷۰۶	۲۰۸۸	۲۰۵۶	۱۰۱۲	۰/۶۱	۰/۵۸	۱/۳۷	۱۰۹۸	۱۳/۱	۳۵۷۹
شیراز ۵	۹۳	۳۵۷۸	۱۷۵۷	۱۸۲۲	۲۶۶۸	۲۵۰۷	۱۱۷۸	۱/۰۱	۰/۷۳	۱/۰۰	۳۰۶۸	۳۱/۱	۳۱۸۷
مبارکه ۴	۹۳	۳۵۸۳	۱۷۷۹	۱۸۰۴	۲۶۸۱	۲۵۲۳	۱۱۸۸	۰/۹۹	۰/۷۹	۱/۰۱	۳۱۴۳	۳۱/۴	۳۲۳۴
ورامین ۲۲۲۸	۹۳	۳۱۵۲	۱۹۶۷	۱۱۸۵	۲۵۵۹	۲۴۸۹	۱۲۱۰	۰/۷۷	۰/۸۴	۱/۲۲	۲۲۲۳	۲۱/۷	۳۷۵۷
یکتا	۹۳	۱۸۱۰	۱۰۱۶	۷۹۴	۱۴۱۳	۱۳۵۶	۶۵۱	۰/۸۹	۰/۲۵	۱/۱۱	۸۲۱	۱۴/۷	۱۸۸۴
اهواز ۱	۹۴	۱۵۷۸	۱۳۷۸	۲۰۰	۱۴۷۸	۱۴۷۵	۷۳۶	۰/۳۸	۰/۸۲	۱/۳۱	۵۵۷	۶/۱	۳۵۷۰
اولتان	۹۴	۱۱۰۰	۹۶۴	۱۳۶	۱۰۳۲	۱۰۳۰	۵۱۴	۰/۳۸	۰/۴۰	۱/۳۱	۲۶۴	۴/۲	۲۵۱۴
براز جان	۹۴	۲۱۶۲	۱۶۲۵	۵۳۷	۱۸۹۴	۱۸۷۲	۹۲۵	۰/۷۱	۱/۳۲	۱/۱۴	۱۸۸۶	۱۶/۳	۳۵۸۸
بیرجند ۶	۹۴	۱۸۴۲	۱۷۱۰	۱۳۲	۱۷۷۶	۱۷۷۵	۸۸۷	۰/۲۲	۱/۱۹	۱/۳۸	۴۲۰	۴/۰	۵۴۳۵
چینی	۹۴	۶۵۰	۵۴۹	۱۰۹	۵۹۶	۵۹۲	۲۹۴	۰/۴۷	۰/۱۳	۱/۲۸	۱۰۰	۲/۸۵	۱۴۹۶
شیراز ۵	۹۴	۲۸۴۶	۱۵۱۰	۱۳۳۵	۲۱۷۸	۲۰۷۱	۹۸۵	۱/۴۱	۱/۶۱	۰/۷۹	۵۱۱۲	۴۰/۷	۲۷۸۱
شیراز ۱۰	۹۴	۱۸۶۶	۱۴۸۷	۳۷۹	۱۶۷۶	۱۶۶۵	۸۲۷	۰/۶۳	۱/۰۴	۱/۱۹	۱۱۶۶	۱۱/۶	۳۳۹۷
مرکزی ۱	۹۴	۲۲۴۰	۱۹۸۷	۲۵۳	۲۱۱۳	۲۱۰۹	۱۰۵۳	۰/۳۴	۱/۶۶	۱/۳۳	۱۰۰۰	۷/۷	۵۳۸۰
یکتا	۹۴	۸۳۷	۴۷۰	۳۶۸	۶۵۳	۶۲۶	۳۰۰	۱/۳۳	۰/۱۵	۰/۸۵	۴۴۱	۱۱/۲	۸۲۳
LSD (٪۵)	۹۳	۴۲۹	۲۵۲	۳۲۱	۳۱۴	۲۹۶	۱۴۳	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۳	۸۶۵	۶/۷	۱۰۰۷
LSD (٪۵)	۹۴	۳۷۳	۲۵۷	۲۶۹	۲۹۴	۲۸۴	۱۳۹	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۱۶	۱۰۰۳	۸/۲	۱۴۷۸
دامنه تغییرات	۹۳	۱۶۹۸-۳۶۲۱	۸۲۴-۱۹۶۷	۵۶۵-۲۴۰۵	۱۴۱۳-۲۶۸۱	۱۳۴۷-۲۵۲۳	۶۰۷-۱۲۱۰	۰/۶۱-۱/۳۰	۰/۲۳-۰/۸۴	۰/۷۰-۱/۳۷	۵۶۴-۳۴۶۳	۱۰/۲-۴۱/۹	۱۴۹۰-۳۷۵۷
	۹۴	۶۵۰-۲۸۴۶	۴۷۰-۱۹۸۷	۱۰۹-۱۵۴۶	۵۹۶-۲۱۷۸	۵۹۲-۲۱۰۹	۲۹۴-۱۰۵۳	۰/۳۴-۲/۰۷	۰/۱۳-۱/۶۶	۰/۴۴-۱/۳۳	۱۱۹-۵۱۱۲	۳/۳-۴۶/۹	۸۷۳-۵۳۸۰

Y_p: عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول، Y_s: عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص میانگین تولید، GMP: شاخص میانگین هندسی تولید، HARM: شاخص میانگین هارمونیک تولید، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، DRI: شاخص پاسخ به خشکی، ATI: شاخص تحمل تنش‌های غیر زنده، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش و SNPI: شاخص میزان محصول در محیط غیر تنش و تنش

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی طی سال ۱۳۹۳ (قسمت پایین جدول) و سال ۱۳۹۴ (قسمت بالای جدول)

	Y_s	Y_p	TOL	MP	GMP	HARM	SSI	STI	DRI	SSPI	SNPI	ATI
Y_s	۱	۰/۶۳**	−۰/۱۶^{ns}	۰/۸۷**	۰/۹۳**	۰/۹۷**	−۰/۵۷**	۰/۹۳**	۰/۵۶**	−۰/۱۶^{ns}	۰/۹۶**	۰/۱۷^{ns}
Y_p	۰/۶۷**	۱	۰/۶۷**	۰/۹۳**	۰/۸۷**	۰/۷۹**	۰/۲۵^{ns}	۰/۸۴**	−۰/۲۷^{ns}	۰/۶۷**	۰/۴۷**	۰/۸۴**
TOL	۰/۱۵^{ns}	۰/۸۳**	۱	۰/۳۴^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۸۶**	۰/۱۸^{ns}	−۰/۸۷**	۰/۹۹**	−۰/۳۲^{ns}	۰/۹۱**
MP	۰/۸۵**	۰/۹۵**	۰/۶۴**	۱	۰/۹۹**	۰/۹۶**	−۰/۱۱^{ns}	۰/۹۷**	۰/۱۰^{ns}	۰/۳۴^{ns}	۰/۷۶**	۰/۶۱**
GMP	۰/۹۲**	۰/۹۰**	۰/۵۱**	۰/۹۹**	۱	۰/۹۹**	−۰/۲۵^{ns}	۰/۹۸**	۰/۲۳^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۰/۸۳**	۰/۵۱**
HARM	۰/۹۷**	۰/۸۳**	۰/۳۸*	۰/۹۶**	۰/۹۹**	۱	−۰/۳۶^{ns}	۰/۹۸**	۰/۳۴^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۸۸**	۰/۴۰*
SSI	−۰/۴۸**	۰/۲۹^{ns}	۰/۷۵**	۰/۱۵^{ns}	−۰/۱۳^{ns}	−۰/۲۶^{ns}	۱	−۰/۲۶^{ns}	−۰/۹۹**	۰/۸۶**	−۰/۶۸**	۰/۶۲**
STI	۰/۹۳**	۰/۸۵**	۰/۴۳*	۰/۹۶**	۰/۹۸**	۰/۹۸**	−۰/۱۸^{ns}	۱	۰/۲۵^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۰/۸۴**	۰/۵۰**
DRI	۰/۴۹**	−۰/۲۹^{ns}	−۰/۷۴**	−۰/۰۰۷^{ns}	۰/۱۴^{ns}	۰/۲۷^{ns}	−۰/۹۹**	۰/۱۹^{ns}	۱	−۰/۸۷**	۰/۶۷**	−۰/۶۳**
SSPI	۰/۱۵^{ns}	۰/۸۳**	۰/۹۹**	۰/۶۳**	۰/۵۱**	۰/۳۸*	۰/۷۶**	۰/۴۴**	−۰/۷۵**	۱	−۰/۳۲^{ns}	۰/۹۱**
SNPI	۰/۹۹**	۰/۵۹**	۰/۰۴^{ns}	۰/۷۹**	۰/۸۷**	۰/۹۳**	−۰/۵۸**	۰/۹**	۰/۵۸**	۰/۰۴^{ns}	۱	−۰/۰۳^{ns}
ATI	۰/۵۴**	۰/۹۸**	۰/۹۰**	۰/۸۹**	۰/۸۱**	۰/۷۲**	۰/۴۴*	۰/۷۷**	−۰/۴۳*	۰/۹۰**	۰/۴۴**	۱

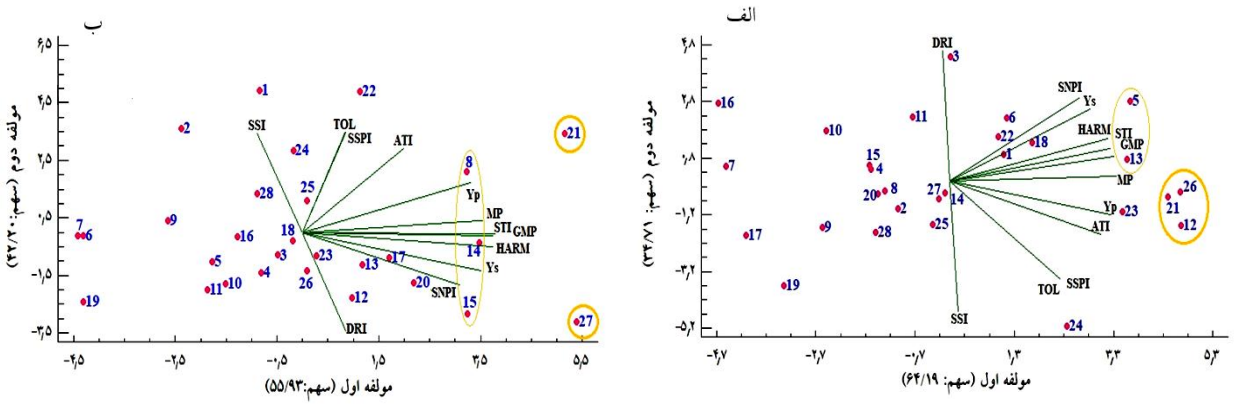
*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار (۰/۰۵>)، بسیار معنی‌دار (۰/۰۱>) و غیر معنی‌دار

Y_p: عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول (kg/ha)، Y_s: عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری (kg/ha)، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص میانگین تولید، GMP: شاخص میانگین هندسی تولید، HARM: شاخص میانگین هارمونیک تولید، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، DRI: شاخص پاسخ به خشکی، ATI: شاخص تحمل تنش‌های غیر زنده، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش و SNPI: شاخص میزان محصول در محیط غیر تنش و تنش

جدول ۵. مقدار ویژه، درصد تنوع هر مؤلفه و ضرایب صفات اندازه‌گیری شده برای مؤلفه اول و دوم در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

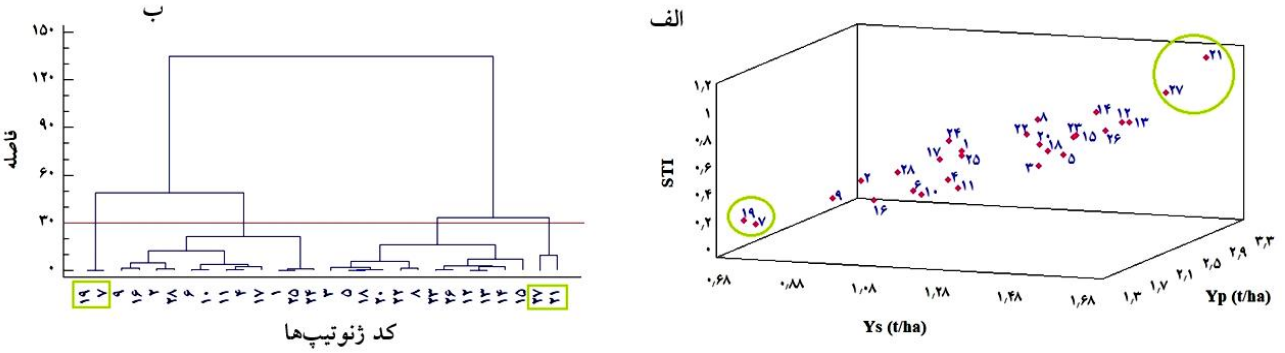
صفات	سال ۱۳۹۳		سال ۱۳۹۴	
	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه اول	مولفه دوم
Y_s (Kg/h)	۰/۸۴	۰/۵۴	۰/۹۳	−۰/۳۷
Y_p (Kg/h)	۰/۹۶	−۰/۲۵	۰/۸۷	۰/۴۸
SSI	۰/۰۵	−۰/۹۹	−۰/۲۴	۰/۹۵
STI	۰/۹۶	۰/۲۴	۰/۹۹	−۰/۰۴
TOL	۰/۶۶	−۰/۷۴	۰/۲۲	۰/۹۷
MP	۰/۹۹	۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۱۳
GMP	۰/۹۸	۰/۱۸	۰/۹۹	−۰/۰۱
HARM	۰/۹۵	۰/۳۲	۰/۹۹	−۰/۱۴
DRI	−۰/۰۴	۰/۹۹	۰/۲۲	−۰/۹۶
SSPI	۰/۶۶	−۰/۷۵	۰/۲۲	۰/۹۷
SNPI	۰/۷۷	۰/۶۳	۰/۸۳	−۰/۵۲
ATI	۰/۹۱	−۰/۴۱	۰/۵۲	۰/۸۲
مقدار ویژه	۷/۷۰	۴/۱۷	۶/۷۱	۵/۰۶
درصد تنوع	۶۴/۱۹	۳۴/۷۱	۵۵/۹۳	۴۲/۲۰
درصد تجمعی	۶۴/۱۹	۹۸/۹۰	۵۵/۹۳	۹۸/۱۳

Y_p: عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول، Y_s: عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری، TOL: شاخص تحمل، MP: شاخص میانگین تولید، GMP: شاخص میانگین هندسی تولید، HARM: شاخص میانگین هارمونیک تولید، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، DRI: شاخص پاسخ به خشکی، ATI: شاخص تحمل تنش‌های غیر زنده، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش و SNPI: شاخص میزان محصول در محیط غیر تنش و تنش



شکل ۱. نمایش بای‌پلات شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی و عملکرد دانه در واحد سطح در شرایط آبیاری معمول و کم‌آبیاری در ۲۸ ژنوتیپ (نام ژنوتیپ‌ها در جدول ۱) بر اساس دو مؤلفه اول در الف) سال ۱۳۹۳ و ب) سال ۱۳۹۴

شد. حدود ۹۸/۹۰ و ۹۸/۱۳ درصد کل تغییرات داده‌ها به‌ترتیب در سال اول و دوم به‌وسیله دو مؤلفه اصلی اول توجیه شد، لذا بر اساس دو مؤلفه اول، بای‌پلات ترسیم شد. در این بررسی اولین مؤلفه در سال اول ۶۴/۱۹ درصد و در سال دوم ۵۵/۹۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و در هر دو سال همبستگی مثبت و بالایی را با عملکرد در دو محیط و شاخص‌های STI، MP، GMP، HARM و SNPI داشت (جدول ۵). بنابراین انتظار می‌رود انتخاب بر اساس مقادیر بالای مؤلفه اول موجب انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط شود و این مؤلفه را می‌توان به‌عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی نامگذاری کرد. دومین مؤلفه در سال اول ۳۴/۷۱ و در سال دوم ۴۲/۲۰ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توصیف کرد. این مؤلفه در سال اول همبستگی مثبت و در سال دوم همبستگی منفی با عملکرد در شرایط کم‌آبیاری و بیشتر شاخص‌ها داشت (شکل ۱). بنابراین مؤلفه دوم دارای ثبات نبوده و بر اساس نتایج سال دوم به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش بود که ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط کم‌آبیاری را مشخص می‌کند، اما بر اساس نتایج سال اول به‌عنوان مؤلفه تحمل به تنش قابل نامگذاری است، زیرا ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در محیط کم‌آبیاری را تمایز داد. بر اساس بای‌پلات ترسیم شده بر مبنای مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (شکل ۱) ژنوتیپ‌ها به گروه‌هایی تقسیم شدند که بر اساس میانگین عملکرد و تحمل به تنش آنها بود. بنابراین در نتایج سال اول انتخاب بر اساس مقادیر بالای هر دو مؤلفه و در سال دوم انتخاب بر اساس مقادیر بالای مؤلفه اول، موجب انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل و با پتانسیل عملکرد بالا می‌شود. به نظر می‌رسد بر اساس نتایج سال اول (شکل ۱- الف) ژنوتیپ‌های اهواز ۷ و ورامین ۲۸۲۲ بیشتر از نظر عملکرد دانه در محیط کم‌آبیاری (مکانیزم‌های تحمل به تنش) و ژنوتیپ‌های اهواز ۱، شیراز ۵ و مبارکه ۴ از نظر عملکرد دانه در محیط با آبیاری معمول (پتانسیل عملکرد) مناسب باشند. ولی بر اساس نتایج سال دوم، ژنوتیپ‌های شیراز ۵، داراب ۱، مرکزی ۱ و برازجان به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل‌تر و با پتانسیل عملکرد بیشتر انتخاب شدند (شکل ۱- ب) و در واقع می‌توان گفت که ژنوتیپ شیراز ۵ دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های با آبیاری معمول و ژنوتیپ مرکزی ۱ دارای سازگاری خصوصی به محیط با آبیاری کم است. با توجه به زوایای بین بردار شاخص‌ها، ملاحظه می‌شود که شاخص‌های DRI و SSI همبستگی منفی و بالایی با یکدیگر داشتند و از طرفی DRI همبستگی منفی با عملکرد در شرایط با آبیاری معمول و SSI همبستگی منفی با عملکرد در شرایط کم‌آبیاری را دارد، بنابراین انتخاب بر اساس این دو شاخص موجب انتخاب ژنوتیپ‌هایی خواهد شد که در محیط کم‌آبیاری عملکرد بالایی دارند. در حقیقت این دو شاخص ژنوتیپ‌های گروه C را مشخص می‌کنند (شکل ۱). در هر دو سال عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری همبستگی مثبت و بالا با عملکرد در شرایط آبیاری معمول داشت (جدول ۴، شکل ۱) درنتیجه می‌توان انتظار داشت با انتخاب ژنوتیپ‌هایی که پتانسیل عملکرد بالا در شرایط معمول آبیاری دارند، عملکرد قابل قبولی در حالت کم‌آبیاری نیز حاصل شود. شاخص‌های TOL و SSPI در هر دو سال بر یکدیگر منطبق شده‌اند و شاخص ATI در نزدیکی آنها و با زاویه حاده قرار گرفته است که نشان از همبستگی بالای این شاخص‌ها است. این سه شاخص همبستگی مثبتی با عملکرد در حالت آبیاری معمول داشتند، بنابراین انتخاب بر اساس مقادیر پایین این شاخص‌ها موجب انتخاب ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد کمتر می‌شود و موجب انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل‌تر در کنجد نخواهد شد (شکل ۱). شاخص‌های MP، GMP، HARM، STI و SNPI همبستگی مثبت و بالایی با یکدیگر و با عملکرد در هر و محیط داشتند، بنابراین انتخاب بر اساس این شاخص‌ها موجب انتخاب ژنوتیپ‌هایی خواهد شد که دارای پتانسیل عملکرد و متحمل به خشکی هستند. با استفاده از مقادیر شاخص STI که همبستگی بالا با عملکرد در هر دو شرایط داشت، نمودار سه‌بعدی رسم شد (شکل ۲- الف). در این نمودار شاخص STI در مقابل میانگین عملکرد دو سال در شرایط کم‌آبیاری (Ys) و آبیاری معمول (Yp) ترسیم شد و بر اساس آن ژنوتیپ‌های شیراز ۵ و مرکزی ۱ به‌عنوان



شکل ۲. گزینش ژنوتیپ‌های (نام ژنوتیپ‌ها در جدول ۱) متحمل به تنش خشکی با استفاده از نمودار الف) سه‌بعدی و ب) تجزیه خوشه‌ای بر اساس میانگین‌های در دو سال زراعی

ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط رطوبتی و داشتن STI بالا، در گروه A فرناندز قرار گرفته و متحمل به خشکی بودند. همچنین بر اساس این نمودار ژنوتیپ‌های یکتا و چینی به‌عنوان ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها با کمترین مقدار عملکرد در هر دو محیط در نظر گرفته شد. به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر مبنای عملکرد دانه در هر دو محیط و شاخص‌های MP، GMP، HARM، SNPI و STI از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward استفاده و تعداد کلاسترها برابر چهار عدد تعیین و نمودار درختی آن در شکل ۲- ب ارائه شده است. بر اساس این تجزیه، ژنوتیپ‌های شیراز ۵ و مرکزی ۱ تحمل بیشتری نسبت به خشکی از خود نشان دادند و در یک گروه قرار گرفتند و دو ژنوتیپ یکتا و چینی نیز در گروهی جداگانه قرار گرفتند. نتایج حاصل از دندوگرام و تجزیه خوشه‌ای تأییدکننده نتایج حاصل از نمودار سه‌بعدی بود.

بحث

همانند نتایج این مطالعه، کاهش عملکرد در اثر تنش خشکی در مطالعات مختلف و در گیاهان متفاوت مشاهده شده است (۱، ۵، ۱۴، ۱۷ و ۲۵) که با توجه به تنش وارد شده به گیاه و کاهش کارایی فتوسنتزی گیاه دور از انتظار نیست، ولی هرچه درصد کاهش عملکرد یک ژنوتیپ کمتر باشد، نشان‌دهنده این مطلب است که آن ژنوتیپ متحمل‌تر است. بنابراین مطالعه شاخص‌های تحمل به خشکی برای تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل و بررسی دقیق‌تر درصد تغییرات عملکرد و پیدا کردن شاخص بهتر در هر گیاه مهم است. انتخاب بر اساس شاخص TOL باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در محیط با آبیاری معمول عملکرد کمتری دارند (۱۰) و انتخاب بر اساس شاخص SSI باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که متحمل به تنش هستند ولی پتانسیل عملکردشان پایین است (۲۲)، لذا این شاخص‌ها به‌تنهایی نمی‌تواند شاخص مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های گروه A باشند که این نتیجه‌گیری از مطالعه حاضر با مطالعات قبلی (۱۰، ۲۱ و ۲۲) در تطابق بود. شاخص DRI بیشتر تأکید بر عملکرد در حالت تنش دارد و در نتیجه ژنوتیپ‌هایی را مناسب می‌داند که عملکرد بالایی در حالت تنش دارند. بنابراین شاخص‌های SSI و DRI برای تمایز ژنوتیپ‌های گروه C مناسبند.

شاخص SSPI شاخص نسبتاً جدیدتری است که تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها را به تنش خشکی نشان می‌دهد، به‌طوری که هرچه درصد تغییرات عملکرد یک ژنوتیپ در اثر تنش کمتر باشد، آن ژنوتیپ متحمل‌تر است (۱۷). این شاخص شبیه دو شاخص TOL و SSI است با این تفاوت که درصد تغییرات عملکرد را واضح‌تر نشان می‌دهد. در این مطالعه از بین چهار شاخص ATI، TOL، SSI و SSPI، به نظر می‌رسد که شاخص‌های ATI، SSPI و TOL برای شناسایی ژنوتیپ‌های گروه D مناسب‌ترند و طبق نظر فیشر و مورر (۱۱) اینگونه شاخص‌ها بهتر است برای حذف ژنوتیپ‌های

حساس‌تر و نه انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل استفاده شود ولی شاخص SSI برای انتخاب ژنوتیپ‌های گروه C مناسب‌تر از سایرین است. دادبخش و همکاران (۷) نیزگزارش کردند که شاخص TOL و SSI مناسب برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در گندم نیستند. همچنین موسوی و همکاران (۱۷) بیان کردند که شاخص ATI و SSPI اگرچه بهتر از شاخص‌های TOL و SSI برای شناسایی ژنوتیپ‌های با درصد تغییرات کمتر در دو محیط تنش و بدون تنش بودند، اما کارایی لازم برای شناسایی قطعی ژنوتیپ‌های متحمل گندم را نداشتند.

بر اساس نظر فرناندز (۱۰) شاخصی که دارای همبستگی معنی‌دار و بالا با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش خشکی باشد، انتخاب بر اساس آن باعث افزایش عملکرد در هر دو شرایط محیطی می‌شود و به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص است، لذا با توجه به ضرایب همبستگی در این مطالعه، شاخص‌های MP، GMP، HARM و STI به‌عنوان شاخص‌های برتر انتخاب شدند که قادرند ژنوتیپ‌های متحمل را از سایر ژنوتیپ‌ها متمایز کنند و این نتیجه‌گیری با نتایج مرده و همکاران (۱۶) درگندم، گل‌آبادی و همکاران (۱۲) در گندم دوروم، مرادی و همکاران (۱۸) و جعفری و همکاران (۱۴) در ذرت، زارع (۲۵) در جو و بوریما و همکاران (۵) در کنجد مطابقت دارد. در این مطالعه بیشترین ضریب همبستگی عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری با شاخص SNPI به‌دست آمد که نشان‌دهنده اهمیت این شاخص در انتخاب ارقام متحمل به خشکی در کنجد است و نشان می‌دهد که انتخاب بر اساس این شاخص تأکید به عملکرد بالا در هر دو شرایط محیطی و به‌ویژه در محیط کم‌آبیاری دارد. موسوی و همکاران (۱۷) نیز دو شاخص SNPI و DRI را به‌عنوان دو شاخص برتر در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل گندم معرفی کردند.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HARM، SNPI و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر و با عملکرد دانه در دو شرایط کم‌آبیاری و آبیاری معمول داشتند و می‌توان از آنها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش خشکی در کنجد استفاده کرد. بر اساس توافق نتایج به‌دست آمده از روش ترسیم سه‌بعدی، روش بای‌پلات و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از شاخص‌ها و عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های شیراز ۵ و مرکزی ۱ متحمل به خشکی و دارای عملکرد بالا در دو شرایط محیطی بودند. در مجموع بر اساس نتایج این پژوهش، ژنوتیپ شیراز ۵ به‌واسطه عملکرد دانه بیشتر در دو محیط کم‌آبیاری و آبیاری معمول و به دست آوردن جایگاه مناسب‌تر از لحاظ بیشتر شاخص‌های تحمل به خشکی در طی دو سال، به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ و برای کاشت در هر دو شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی، قابل استفاده است و ژنوتیپ چینی به‌دلیل کسب رتبه ضعیف از نظر بیشتر شاخص‌های مورد بررسی در طی دو سال، به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ نسبت به خشکی شناسایی شد.

منابع مورد استفاده

1. Abolhasani, KH. and G. Saeidi. 2006. Evaluation of drought tolerance of safflower lines based on tolerance and sensitivity indices to water stress. *Journal of Water and Soil Science* 10: 407-419.
2. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. FAO 56 Irrigation and Drainage Paper: Crop Evapotranspiration. FAO Rome, Italy.
3. Bidinger, F. R., V. Mahalakshmi and G. D. P. Rao. 1978. Assessment of drought resistance in millet factors effecting yields under stress. *Australian Journal of Agriculture Research* 38: 37- 48.
4. Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Boca Raton.
5. Boureima, S., S. Diouf, M. Amoukou and P. Van Damme. 2016. Screening for sources of tolerance to drought in sesame induced mutants: Assessment of indirect selection criteria for seed yield. *International Journal of Pure & Applied Bioscience* 4: 45-60.

6. Clarke, J. M., R. M. De Pauw and T. F. Townley Smith. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science* 32: 723 -728.
7. Dadbakhsh, A., A. Yazdansepas and M. Ahmadizadeh. 2011. Study drought stress on yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes by drought tolerance indices. *Advances in Environmental Biology* 7: 1804-1810.
8. Dargahi, Y., A. Asghari, M. Shokrpour, A. Rasulzadeh, A. Garib Eshgi and M. R. Shiri. 2011. Evaluation of water stress tolerance in sesame varieties based on tolerance indices. *Journal of Agricultural Science* 3: 119-133.
9. Fereres, E., C. Gimenez and J. M. Fernandez. 1986. Genetic variability in sunflower cultivars under drought, I: yield relationships. *Australian Journal of Agriculture Research* 37: 573-582.
10. 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 to Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanhua, Taiwan. pp. 257-270.
11. Fischer, R. A. and R. Mourer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivar, I: grain yield responses. *Australian Journal of Agriculture Research* 29: 897- 912.
12. Golabadi, M., A. Arzani and S. A. M. Mirmohammadi Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research* 5: 162-171.
13. Grando, S. and S. Ceccarelli. 1995. Seminal root morphology and coleoptile length in wild (*Hordeum vulgare* ssp. Spontaneum) and cultivated (*Hordeum vulgare* ssp. Vulgare) barley. *Euphytica* 86: 73 - 85.
14. Jafari, A., F. Paknejad and M. Alahmadi Jami. 2009. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *International Journal of Plant Production* 3: 33-38.
15. Kristin, A. S., R. R. Serna, F. I. Perez, B. C. Enriquez and J. A. A. Gallegos. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science* 37: 51-60
16. 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.
17. Moosavi, S. S., B. Yazdi Samadi, M. R. Naghavi, A. A. Zali, H. Dashti and A. Pourshahbazi. 2007. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert* 12: 165-178.
18. Moradi, H., G. A. Akbari, S. K. Khorasani and H. A. Ramshini. 2012. Evaluation of drought tolerance in corn (*Zea mays* L.) new hybrids with using stress tolerance indices. *European Journal of Sustainable Development* 1: 543-560.
19. Parry, M. J., J. P. Androloje, S. Khan, P. J. Lea and A. J. Keys. 2002. Rubisco activity: effects of drought stress. *Annals of Botany* 89: 833-839.
20. Rajaram S. and M. Van Ginkle. 2001. Mexico, 50 years of international wheat breeding. pp. 579-604. *In:* A. P. Bonjean and W. J. Angus (Eds.), The World Wheat Book: A History of Wheat Breeding. Lavoisier Publishing, Paris, France.
21. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 943-946.
22. Schneider, K. A., R. Rosales-Serna, F. Ibarra-Perez, B. Cazares-Enriquez, J. A. Acosta-Gallegos, P. Ramirez Vallejo, N. Wassimi and J. D. Kelly. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science* 37: 43-50.
23. Shyu, Y. S. and L. S. Hwang. 2002. Antioxidative activity of the crude extract of lignan glycosides from unroasted Burma black sesame meal. *Food Research International* 35: 357-365.
24. Srivastava J. P., E. Acevedo and S. Varma. 1987. Drought Tolerance in Winter Cereal. John Wiley, USA.
25. Zare, M. 2012. Evaluation of drought tolerance indices for the selection of Iranian barley (*Hordeum vulgare*) cultivars. *African Journal of Biotechnology* 93: 15975-15981.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 9, No. 2, Summer 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of Water Stress Tolerance in Some Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes using Tolerance and Sensitivity Indices

S. Ghotbzadeh kermani[1], Gh. Saeidi[2*] and M. R. Sabzalian[3]

(Received: March 17-2018; Accepted: November 20-2018)

Abstract

This experiment was conducted at the Research Farm of Isfahan University of Technology, Najafabad, Iran in 2014 and 2015 to evaluate drought tolerance indices of some sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. In this study, 21 sesame genotypes isolated from different local populations along with seven exotic cultivars were evaluated at two irrigation regimes, using a randomized complete block design with two and three replications in the first and second years, respectively. The normal and water deficit irrigation regimes were determined based upon the depletion of 60% and 90% of soil moisture content, respectively. The results showed that the effect of irrigation regimes was significant ($p<0.01$) on seed yield. Averaged over two-years, mean of seed yield was 2186 kg ha^{-1} and 1231 kg ha^{-1} in normal and water deficit irrigation conditionS, respectively. Based upon the data of two years, the genotype Shiraz 5 had the highest seed yield in normal irrigation conditions, however, genotypes Markazi 1 and Shiraz 5 had higher seed yield in water deficit condition. Investigation of different indices of tolerance and sensitivity to drought stress (TOL, SSI, STI, MP, GMP, HARM, DRI, SNPI, SSPI and ATI) showed that STI, MP, GMP, HARM and SNPI were more suitable indices to recognize drought tolerant sesame genotypes. Based upon these indices obtained from the data of two years, genotype Shiraz 5 had the highest tolerance and more productivity and genotype China had the highest sensitivity to drought stress with less potential of productivity.

Keywords: Sesame, Water stress, Sensitivity Index

1, 2, 3. PhD. Student, Professor and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran.
*: Corresponding Author, Email: gsaeidi@cc.iut.ac.ir