نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال چهاردهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۳/ مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۱۷ تا ۳۰

ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف کنجد از نظر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش در شرایط کم‌آبی

محمد نصرتی[۱]، محمدرضا مرادی تلاوت[۲*]، علی مشتطی[۲] و مجید غلامحسینی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸)

چکیده

به‌منظور مقایسه ژنوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش کم آبی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در تابستان سال ۱۳۹۷ اجرا شد. این آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار بود. فاکتورهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری (آبیاری کامل، آبیاری جویچه یک‌درمیان متناوب و آبیاری جویچه یک‌درمیان ثابت) در کرت‌های اصلی و شش ژنوتیپ کنجد در کرت‌های فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سطوح مختلف آبیاری اختلاف معنی‌داری نشان داد. از جمله توده محلی شوشتر بیشترین عملکرد دانه و روغن را تولید نمود و در هر دوی شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری پایداری عملکرد خوبی از خود نشان داد. نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های کنجد مورد مقایسه از لحاظ شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص رتبه‌بندی (RI)، میانگین بهره‌وری هندسی (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص تحمل تنش تعدیل شده برای شرایط مطلوب (MSTI1)، شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط نامطلوب (MSTI2) و شاخص کاهش عملکرد (YRI) تفاوت معنی دار داشتند. به‌طورکلی بهترین شاخص برای ارزیابی تحمل و حساسیت ژنوتیپ‌های کنجد مورد بررسی در این آزمایش نسبت به تنش خشکی، شاخص تحمل تنش (STI) بود که بر اساس آن، متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها، به‌ترتیب ژنوتیپ‌های توده محلی شوشتر و هلیل بودند.

واژه‌های کلیدی: بیوماس، رتبه‌بندی، روغن، عملکرد، میانگین هندسی

۱ و ۲. به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران.
۳. استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، کرج، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: moraditelavat@asnrukh.ac.ir

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاه دانه‌روغنی یکساله و گرمسیری است که با محتوای فراوان پروتئین (۲۰ تا ۲۸ درصد) و روغن (۴۸ تا ۵۵ درصد) در دانه ارزش خوراکی بالایی دارد (۱۳). کنجد گیاهی است یک ساله، بوته‌ای، با سیستم ریشه‌ای دارای رشد کامل، تحمل نسبی به خشکی و دارای تیپ‌های بوته‌ای متنوع است که نشان‌دهنده سازگاری بالای آن به تغییرات محیطی است. کنجد از دانه‌های روغنی مناطق گرم و نیمه‌گرم است که در طی دوره رشد خود با تنش‌های متعدد از جمله تنش خشکی مواجه می‌شود. تنش می‌تواند بسته به میزان حساسیت در مرحله رشد گیاه، اثرات متفاوتی بر رشد، متابولیسم و عملکرد آن داشته باشد. از مجموع پتانسیل کاهش عملکرد گیاهان زراعی توسط تنش‌های غیرزنده، ۱۷ درصد مربوط به خشکی، ۲۰ درصد مربوط به شوری، ۲۰ درصد دمای بالا، ۱۵ درصد دمای پایین و ۸ درصد مربوط به سایر عوامل است (۳ و ۵).

یکی از برنامه‌های پژوهشی در مدیریت تنش خشکی در گیاهان، شناسایی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به تنش خشکی است. به این منظور محققان شاخص‌های مختلفی پیشنهاد کرده‌اند (۷ و ۱۱). محققین شاخص حساسیت به تنش (SSI) را به‌عنوان معیاری برای تشخیص ارقام حساس پیشنهاد کردند (۹). مقدار کمتر این شاخص، نشان‌دهنده تغییرات کمتر عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط مطلوب و در نتیجه پایداری بیشتر آن ژنوتیپ است. با استفاده از این شاخص، ژنوتیپ‌هایی که در محیط تنش نسبت به محیط بدون تنش، کاهش عملکرد کمتری دارند، قابل تمایز هستند. براساس مقادیر محاسبه‌شده شاخص حساسیت به تنش، این شاخص با تغییرات عملکرد در شرایط تنش نسبت به شرایط مطلوب، رابطه مستقیمی دارد، بنابراین در شرایط تنش، میزان کاهش عملکرد یک رقم در مقایسه با سایر ارقام را به خوبی نشان می‌دهد. به‌هر حال ممکن است رقمی که با استفاده از این شاخص، حساسیت و شیب تغییرات کمی برای عملکرد دانه داشته باشد، پتانسیل عملکرد کمی در شرایط مطلوب و تنش داشته و مناسب معرفی به‌عنوان رقم متحمل برای شرایط تنش نباشد. روزیله و هامبلین (۲۲) شاخص تحمل (TOL) را به عنوان شاخصی جهت تعیین تفاوت بین عملکرد در شرایط مناسب و شرایط تنش معرفی کردند. مقادیر بالاتر این شاخص نشانه حساسیت ژنوتیپ مورد بررسی به شرایط تنش است. بنابراین ژنوتیپ‌های متحمل بر اساس مقادیر کمتر این شاخص انتخاب می‌شوند. این شاخص، همانند شاخص حساسیت به تنش، قادر به تشخیص ارقام با عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و غیر تنش از ارقام با عملکرد مناسب در شرایط غیر تنش نیست و انتخاب بر اساس این شاخص تنها سبب انتخاب ارقامی می‌شود که تحت شرایط بدون تنش، عملکرد پایین ولی در شرایط تنش عملکرد بالقوه بالایی دارند. همچنین این همچنین این محققین میانگین بهره‌وری (MP) و میانگین هارمونیک (HM) را جهت ارزیابی در شرایط غیر تنش و تنش پیشنهاد کرده‌اند. با استفاده از این شاخص‌ها امکان تفکیک ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش عملکرد نسبی بالاتری دارند، وجود دارد. شاخص بهره‌وری نیز به انتخاب ارقام با عملکرد بالقوه بالاتر و تحمل به تنش پایین‌تر، تمایل داشته و قادر به تشخیص ارقام با عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و غیر تنش از ارقام با عملکرد مناسب در شرایط تنش، نیست و موجب انتخاب ارقامی می‌شود که در شرایط مطلوب عملکرد بالایی داشته ولی در شرایط نامطلوب عملکرد پایینی دارند. محققان برای تفکیک ارقام متحمل از حساس، شاخص پایداری عملکرد (YSI) را معرفی نمودند (۴، ۱۲ و ۲۳). بر اساس این شاخص، ارقام متحمل شاخص پایداری عملکرد بالاتری دارند و با استفاده از تقسیم عملکرد در شرایط تنش بر عملکرد در شرایط مطلوب محاسبه می‌شود. محققان دیگری (۱۷) شاخص رتبه‌بندی (Rank) را برای تعیین ارقام متحمل پیشنهاد کردند، که بر اساس این شاخص، ارقام متحمل رتبه عملکرد بهتری در تمام شرایط دارند، یعنی هر چه شاخص عددی رقمی کمتر باشد، آن رقم متحمل‌تر است. بنابراین کلیه شاخص‌های فوق

قادر به شناسایی ارقام با عملکرد بالا در محیط تنش و بدون تنش از ارقام با عملکرد بالا در محیط تنش نیستند. جهت تعیین عکس العمل ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط تنش و بدون تنش، شاخص تحمل تنش (STI) ارائه شده است (۸ و ۲۴). ژنوتیپی که مقادیر STI بالاتری دارد، تحمل به تنش و پتانسیل عملکرد بالایی دارد و بر این اساس کلیه ژنوتیپ‌ها را می‌توان به چهار گروه طبقه بندی نمود. در این طبقه بندی گروه (A)؛ شامل ژنوتیپ‌هایی است که عملکرد بالایی در هر دو شرایط بدون تنش و تنش دارند، گروه (B)؛ شامل ژنوتیپ‌هایی است که صرفا عملکرد بالایی در شرایط بدون تنش دارند، گروه (C)؛ شامل ژنوتیپ‌هایی است که صرفا عملکرد بالایی در شرایط تنش دارند و گروه (D)؛ شامل ژنوتیپ‌هایی است که عملکرد ضعیفی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارند. محققان (۸) همچنین بیان کردند که گزینش بر اساس شاخص TOL عمدتا منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های گروه C می‌شود و شاخص MP قابلیت شناسایی ژنوتیپ‌های گروه B را دارد ولی در تفکیک گروه A از گروه B کارایی ندارد. همچنین هنگامی که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط عادی و تنش باشد، شاخص MP اریبی به سمت عملکرد در شرایط عادی دارد. بنابراین برای رفع این مشکل شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI) را معرفی کردند (۸). شاخص STI بر اساس GMP بنا نهاده شده است و با آن همبستگی نزدیک و مثبتی دارد (۸).

برخی محققین شاخص STI را مناسب‌ترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل گزارش کردند (۱ و ۱۹). در تحقیقات دیگری بر روی گیاهان گلرنگ و کلزا شاخص‌های STI، MP و GMP همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش داشته و به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شدند (۱۵، ۱۸، ۲۱ و ۲۲). در مطالعه دیگری روی ارقام گندم در اهواز ارقام اروند و ویریناک هم در شرایط مناسب و هم در شرایط تنش گرمایی محصول قابل قبولی تولید کردند (گروه A)، ارقام چمران، بیات، دز، کویر، هیرمند، پیشتاز، S-8018، چناب، فلات و هامون، مناسب شرایط مطلوب بودند (گروه B)، ارقام مارون و اترک مناسب تنش گرمای آخر فصل بودند (گروه C) و ارقام بولانی، داراب ۲، استار، اینیا ۶۶، شعله و روشن در هر دو محیط عملکرد پایینی داشتند (گروه D) (۱۴). محققین دیگری در بررسی تنوع ژنوتیپ‌های کنجد و استفاده همزمان از شاخص‌های تنش و صفات مورفولوژیک جهت انتخاب در شرایط خشکی بیان کردند که ژنوتیپ‌های اولتان و کرج ۱ به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط کم‌آب بودند و همچنین می‌توانند جهت برنامه‌های اصلاح ژنتیکی مورد استفاده قرار گیرند (۱۱). در آزمایش دیگری روی توده‌های گندم نان، ژنوتیپ ۱۶ بیشترین مقدار عددی شاخص‌های STI (۱/۳۶)، MP (۶/۶۸)، GMP (۶/۱۷) و HM (۵/۷) و ژنوتیپ ۲۴ کمترین مقدار عددی شاخص‌های TOL (۰/۳۴) و SSI (۰/۲۰) را داشتند (۱۶).

بخش زیادی اراضی ایران در نواحی خشک و نیمه خشک واقع شده است، تعیین تحمل نسبی به خشکی در گیاهان زراعی از جمله کنجد اهمیت زیادی دارد. با این حال تاکنون مطالعاتی جهت ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های کنجد با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت نسبت به تنش کم آبی در منطقه خوزستان صورت نگرفته است، لذا این تحقیق با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های کنجد متحمل به تنش کم آبی توسط شاخص‌های مقایسه تحمل و حساسیت ارقام نسبت به تنش‌های محیطی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌منظور مقایسه ژنوتیپ‌های کنجد با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش کم آبی در تابستان سال ۱۳۹۶ در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در ۳۵ کیلومتری شمال اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۴ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۲ دقیقه با ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا، به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های

کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عوامل آزمایشی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل، آبیاری یک‌درمیان متناوب و آبیاری یک‌درمیان ثابت) به‌عنوان کرت‌های اصلی و شش ژنوتیپ کنجد (داراب، ناز تک شاخه، هلیل، یلووایت، دشتستان و توده محلی شوشتر (جدول ۱)) به‌عنوان کرت‌های فرعی ارزیابی شدند. در آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت، آبیاری یک‌درمیان جویچه‌ها در همه نوبت‌های آبیاری تا انتهای آزمایش به نحوی انجام شد که جویچه‌ها یک‌درمیان به‌صورت یک‌درمیان آبیاری شدند، به نحوی که جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان از آغاز تا انتها خشک و بدون آبیاری بودند. درحالی‌که در سطح تیماری بعدی، در هر نوبت آبیاری یک‌درمیان جویچه‌ها متفاوت از نوبت آبیاری قبلی بود.

بذرهای ضدعفونی شده کنجد در عمق حدود ۲ سانتی‌متری به‌صورت مسطح در کف شیار قرار گرفتند. عملیات کاشت به‌صورت دستی در نیمه دوم تیر با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع انجام شد. لازم به ذکر است که کود نیتروژن در سه دوره و هر دوره به میزان ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار، به‌صورت سرک استفاده شد. هر کرت شامل ۶ ردیف کشت به فواصل ۵۰ سانتی‌متر و فاصله‌ی روی ردیف ۵ سانتی‌متر با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع بود. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و سایر نوبت‌های آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به‌صورت جویچه‌ای انجام شد (۱۴). طول کرت ۴ متر و عرض کرت ۳ متر، فاصله‌ی بین دو بلوک ۲ متر و فاصله‌ی تکرارها از همدیگر ۲ متر بود. در این مطالعه شاخص حساسیت به تنش (SSI)، تحمل (TOL)، میانگین بهروری (MP) و میانگین هارمونیک (HM)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص رتبه‌بندی (RI)، میانگین بهره‌وری هندسی (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط مطلوب (MSTI1)، شاخص تحمل تنش تعدیل شده برای شرایط نامطلوب (MSTI2) و شاخص کاهش عملکرد (YRI) برای عملکرد دانه با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند (۱، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۱ و ۲۲).

$$SSI = [1-(Ys/Yp)]/[(Y's-Y'p)]$$ رابطه (۱)

$$TOL = Y_P - Y_S$$ رابطه (۲)

$$MP = (Y_P + Y_S)/2$$ رابطه (۳)

$$HM = (2Y_P.Y_S)/(Y_P + Y_S)$$ رابطه (۴)

$$YSI = Y_S / Y_P$$ رابطه (۵)

$$Rank = \sum Rn$$ رابطه(۶)

$$GPM = (Y_P.Y_S)^{1/2}$$ رابطه (۷)

$$STI = (Y_S.Y_P)/Y'^{2}_{p}$$ رابطه (۸)

$$YI = Y_S / Y'_S$$ رابطه (۹)

$$MSTI1 = (Y_P^2 / Y'^{2}_{p}).STI$$ رابطه (۱۰)

$$MSTI2 = (Y_S^2 / Y'^{2}_{S}).STI$$ رابطه (۱۱)

$$YRI = [(Y_P - Y_S)/Y_P].100$$ رابطه (۱۲)

در روابط فوق Yp، Ys، Ýp، Ýs و R_n، به‌ترتیب میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط مناسب (آبیاری کامل)، میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط تنش خشکی (آبیاری یک در میان ثابت)، میانگین عملکرد تمام ارقام تحت شرایط مناسب (آبیاری کامل)، میانگین عملکرد تمام ارقام تحت شرایط تنش خشکی (آبیاری یک‌درمیان ثابت) و میانگین رتبه رقم مورد نظر در شرایط مختلف است. برداشت در نیمه دوم مهرماه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی جهت محاسبه عملکرد نهایی دانه و عملکرد بیولوژیک از دو خط کاشت وسطی با رعایت نیم‌متر حاشیه از طرفین انجام شد. عملکرد دانه بر مبنای رطوبت دانه ۹ درصد محاسبه شد. درصد روغن دانه به روش سوکسله اندازه‌گیری شد و بر این اساس عملکرد روغن با استفاده از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد روغن دانه محاسبه شد. تجزیه واریانس عملکرد به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام و مقایسه میانگین این صفات بر اساس روش برش‌دهی صورت گرفت. در خصوص شاخص‌های حساسیت و تحمل ژنوتیپ‌های مورد

جدول ۱. ویژگی‌های ارقام مورد بررسی

رقم	خاستگاه	سال معرفی	نوع شاخه‌دهی
داراب	استان فارس (انتخاب لاین خالص از توده محلی داراب)	۱۳۸۸	چندشاخه
دشتستان	استان بوشهر (انتخاب لاین خالص از توده محلی دشتستان)	۱۳۸۵	چندشاخه
هلیل	استان کرمان (انتخاب لاین خالص از توده محلی جیرفت)	۱۳۹۲	چندشاخه
یلووایت	چین	۱۳۸۵	چندشاخه
ناز تک‌شاخه	استان مازندران (انتخاب و اصلاح از توده محلی مازندران)	۱۳۸۰	تک‌شاخه
محلی شوشتر	استان خوزستان (شهرستان شوشتر)	–	چندشاخه

بررسی، آنالیز آماری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین به روش LSD در سطح احتمال خطای ۵ درصد و همچنین ضریب همبستگی پیرسون و نیز توزیع دو طرفه توسط نرم افزار SAS 9.4 انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه، بیولوژیک و روغن در واحد سطح

عملکرد دانه تحت اثر متقابل معنی‌دار تیمارهای آبیاری و رقم قرار گرفت. در تیمار آبیاری کامل بیشترین عملکرد دانه در رقم داراب (۱۰۷۲ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که البته با عملکرد دانه در رقم دشتستان و توده محلی شوشتر تفاوت معنی‌داری نداشت. در تیمار آبیاری یک در میان متناوب نیز بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب در رقم دشتستان (۹۳۵ کیلوگرم در هکتار) و رقم هلیل (۱۸۵ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. اما در تیمار آبیاری یک در میان ثابت بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب در توده محلی شوشتر (۶۱۴ کیلوگرم در هکتار) و رقم هلیل (۷۲ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۲). یافته‌های این پژوهش با اثبات تأثیر معنی‌داری رقم بر روی تفاوت در کاهش عملکرد اثبات می‌کند که مقاومت نسبت به کاهش عملکرد بر اثر تنش خشکی در ارقام مختلف متفاوت است. محققان دیگری نیز تفاوت واکنش عملکرد ژنوتیپ‌ها به کمبود آب را گزارش کردند که با یافته‌های این آزمایش مطابقت داشت (۱).

عملکرد بیولوژیک ژنوتیپ‌ها نیز در سطوح مختلف آبیاری اختلاف معنی‌داری با همدیگر داشتند. در سطح آبیاری کامل بیشترین عملکرد بیولوژیک در رقم دشتستان (۳۸۸۴ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که با عملکرد بیولوژیک رقم داراب و توده محلی شوشتر در همین تیمار آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری یک در میان متناوب و یک در میان ثابت در توده محلی شوشتر (آبیاری متناوب و ثابت به‌ترتیب برابر ۳۳۷۵ و ۳۱۵۶۷ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. کمترین میزان عملکرد بیولوژیک در آبیاری متناوب و ثابت نیز در رقم یلووایت (آبیاری متناوب و ثابت به‌ترتیب برابر ۲۴۱۹ و ۲۱۹۲ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۳). سایر محققان نیز کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در اثر کمبود آب در ژنوتیپ‌های مختلف را گزارش و بر اهمیت مقایسه ژنوتیپ‌ها تاکید کردند (۲).

اثر متقابل سطوح آبیاری و ژنوتیپ بر عملکرد روغن معنی‌دار شد. در سطح آبیاری نرمال، بیشترین عملکرد روغن در توده محلی شوشتر، و ژنوتیپ‌های داراب و دشتستان به‌دست آمد (جدول ۴). در سطح آبیاری یک‌درمیان متناوب نیز سه ژنوتیپ مذکور بدون اختلاف معنی‌دار بیشترین عملکرد روغن را داشتند. با این‌حال، در سطح آبیاری یک‌درمیان ثابت، توده محلی شوشتر به‌تنهایی بیشترین عملکرد روغن (۱۹۲ کیلوگرم در هکتار) را داشت. با وجود افزایش اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در روش‌های آبیاری یک‌درمیان، ژنوتیپ هلیل در همه سطوح کمترین عملکرد را داشت. با توجه به این موضوع، توده محلی شوشتر با عملکرد بالاتر در سطح آبیاری نرمال، بیشترین

جدول ۲. مقایسه میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ‌ها در هر سطح آبیاری به روش برش‌دهی فیزیکی

ژنوتیپ	سطوح آبیاری		
	آبیاری کامل	آبیاری یک در میان متناوب	آبیاری یک در میان ثابت
داراب	۱۰۷۱ a	۸۸۷ a	۴۴۹ b
ناز تک شاخه	۶۸۹ c	۶۲۱ b	۲۱۳ c
هلیل	۳۲۴ d	۱۸۵ d	۷۱/۷ d
یلووایت	۹۷۰ b	۴۶۸ c	۲۷۹ c
دشتستان	۱۰۳۶ ab	۹۳۶a	۵۹۳a
توده محلی شوشتر	۱۰۵۷ ab	۹۲۱a	۶۱۳a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با همدیگر ندارند

جدول ۳. مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ‌ها در هر سطح آبیاری به روش برش‌دهی فیزیکی

ژنوتیپ	سطوح آبیاری		
	آبیاری کامل	آبیاری یک در میان متناوب	آبیاری یک در میان ثابت
داراب	۳۸۱۸ a	۲۷۷۰ cd	۲۸۵۷ ab
ناز تک شاخه	۳۱۷۰ b	۲۶۷۶ cd	۲۶۰۴ bc
هلیل	۲۸۱۹b	۲۹۵۲ bc	۲۳۷۸ cd
یلووایت	۳۰۰۵ b	۲۴۱۹ d	۲۱۹۱ d
دشتستان	۳۸۸۳ a	۳۲۶۰ ab	۲۸۹۵ ab
توده محلی شوشتر	۳۷۳۹ a	۳۳۷۵ a	۳۱۵۶ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با همدیگر ندارند

جدول ۴. مقایسه میانگین عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ‌ها در هر سطح آبیاری به روش برش‌دهی فیزیکی

ژنوتیپ	سطوح آبیاری		
	آبیاری کامل	آبیاری یک در میان متناوب	آبیاری یک در میان ثابت
داراب	۳۹۲ ab	۳۰۸ a	۱۲۳ c
ناز تک شاخه	۲۴۰ c	۲۰۲ b	۵۷/۰ d
هلیل	۱۰۸ d	۵۰/۷ d	۱۸/۸ e
یلووایت	۳۵۶ b	۱۵۵ c	۷۵/۸ d
دشتستان	۳۸۰ ab	۳۱۰ a	۱۶۴ b
توده محلی شوشتر	۴۰۱ a	۳۲۲ a	۱۹۲ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با همدیگر ندارند

پایداری عملکرد را نیز دارا بود. اما ژنوتیپ‌های داراب و دشتستان در سطوح کم‌آبیاری پایداری کمتری از خود نشان دادند. در مجموع ضروری است تا این ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش مقایسه شوند. این

موضوع قبلا در مورد گیاه گلرنگ توسط سایر محققان مورد تاکید قرار گرفته بود (۱).

تجزیه واریانس شاخص‌های مقایسه تحمل و حساسیت ژنوتیپ‌های کنجد نشان داد که اختلاف ژنوتیپ‌های مورد مقایسه از نظر تمامی شاخص‌های محاسبه‌شده معنی‌دار بود (جدول ۵). بااین‌حال، ضریب تغییرات محاسبه شده برای شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های SSI، MP، HM، GMP و YRI با نوسانات به‌ترتیب ۸/۸۰، ۶/۹۲، ۹/۴، ۷/۷۵ و ۸/۷۹ درصد، دقیق‌ترین شاخص‌ها بوده و شاخص‌های MSTI1 و MSTI2 با تغییرات به‌ترتیب ۲۲/۸ و ۵۷/۳ درصد کم دقت‌ترین شاخص‌ها بودند که علت آن، استفاده چند نوبته از یک صفت و ترکیب چندین صفت در قالب یک فرمول است که به تکرار خطاهای آن‌ها در فرمول، کاهش ارزش این دو شاخص و عدم توانایی آنها در شناسایی و تفکیک مناسب ژنوتیپ‌های متحمل و حساس منجر شد، درحالی‌که سایر شاخص‌ها ضریب تغییرات منطقی (زیر ۱۵ درصد) داشتند (جدول ۶). لذا بر اساس نتایج تجزیه واریانس، به غیر از شاخص‌های MSTI1 و MSTI2، بقیه شاخص‌ها از نظر دقت (CV≤ ۱۵٪) برای تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی مناسب بودند. بنابراین در انتخاب رقم برای منطقه، باید شاخص‌های دقیق مورد توجه بیشتری قرار گیرند.

شاخص حساسیت به تنش (SSI)

مقایسه میانگین شاخص حساسیت به تنش ژنوتیپ‌ها (جدول ۶) نشان داد که رقم هلیل (۱/۳۷) بیشترین حساسیت (کمترین تحمل) و رقم دشتستان (۰/۷۵) و توده محلی شوشتر (۰/۷۴) کمترین حساسیت (بیشترین تحمل) را داشتند(جدول ۶). یعنی توده محلی شوشتر تغییرات عملکرد کمی در شرایط تنش نسبت به شرایط مطلوب داشته و درنتیجه پایداری عملکرد بالاتری داشتند. در این رابطه محققین با بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و شاخص‌های حساسیت به تنش ارقام کنجد در سه سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی، ۵۰ درصد نیاز آبی و بدون تنش در مرکز تحقیقات کشاورزی پارس آباد اعلام کردند که در شرایط آبیاری به مقدار ۷۵ درصد نیاز آبی، رقم یلووایت بیشترین شاخص حساسیت به تنش (۱/۶۷) و رقم IS کمترین شاخص (۰/۷۱) را داشتند (۶). همچنین در یک مطالعه دیگر نیز با بررسی ژنوتیپ‌های کنجد تحت تنش در دشت مغان اعلام کردند که رقم مغان ۱۷ بیشترین شاخص حساسیت به تنش (۱/۶۸) و رقم داراب ۱۴ کمترین شاخص (۰/۳۰) را داشتند (۱۱).

شاخص تحمل (TOL)

بیشترین شاخص تحمل به تنش، مربوط به رقم یلووایت (۶۹۰) و داراب (۶۲۲) و کمترین مقدار این شاخص به رقم هلیل (۲۵۲) بود (جدول ۶). با توجه به اینکه هر چه این شاخص کمتر باشد، آن ژنوتیپ متحمل‌تر است، لذا رقم هلیل با توجه به این شاخص متحمل‌ترین ژنوتیپ بود یعنی در این رقم تغییرات عملکرد در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش کمتر بود. شاید بهتر است که اسم این شاخص به شاخص حساسیت تغییر داده شود تا اسم آن با مفهوم تغییرات عددی آن مطابقت داشته باشد (۱۶).

میانگین بهره‌وری (MP)

با توجه به این شاخص توده محلی شوشتر بالاترین میانگین بهره‌وری (۸۴۵) و رقم هلیل کمترین میانگین بهره‌وری (۱۹۸) را داشتند (جدول ۶). یعنی توده محلی شوشتر متوسط عملکرد بالاتری نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشت، ولی رقم هلیل هم در شرایط مناسب و هم در شرایط تنش خشکی عملکرد کمی داشته و لذا میانگین بهره وری پایینی دارد.

میانگین هارمونیک (HM)

بر اساس این شاخص، بیشترین مقدار میانگین هارمونیک به توده محلی شوشتر (۷۷۴) و دشتستان (۷۵۴) و کمترین مقادیر آن به رقم هلیل (۱۱۷) تعلق داشت (جدول ۶). از نظر تشخیص ژنوتیپ متحمل، نتایج این شاخص با شاخص حساسیت به تنش و میانگین بهره‌وری مطابقت داشت.

شاخص پایداری عملکرد (YSI)

این شاخص نشان داد که توده محلی شوشتر (۰/۵۸) و دشتستان (۰/۵۷) بیشترین پایداری عملکرد را داشتند. از طرف

جدول ۵. تجزیه واریانس شاخص‌های مقایسه ژنوتیپ‌های کنجد از نظر تحمل و حساسیت به تنش خشکی

منبع تغییر	df	میانگین مربعات (MS)												
		Y_P	Ys	SSI	TOL	MP	HM	YSI	Rank	GMP	STI	YI	MSTI1	MSTI2	YRI
بلوک	۳	۵۸۵۶	۱۸۶۳	۰/۰۰۴	۳۴۳۲	۳۰۰۶	۲۴۱۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰	۲۵۷۷	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۸	۱۴/۲
ژنوتیپ	۵	۳۵۴۵۰۵**	۱۸۹۷۲۹**	۰/۲۸**	۹۵۰۸۸**	۲۴۸۳۴۵**	۲۷۱۱۹۶**	۰/۰۹**	۱۲/۰۲**	۲۶۱۵۲۰**	۰/۴۸۹**	۱/۳۸**	۱/۳۱**	۴/۹۹**	۹۱۴**
خطا	۱۵	۳۷۲۰	۲۵۴۲	۰/۰۱	۵۲۹۳	۱۸۰۸	۲۲۸۲	۰/۰۰۲	۰/۱۵	۱۸۵۹	۰/۰۰۶	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۳۳	۲۷/۹
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۱	۱۳/۶	۸/۸	۱۴/۹	۶/۹	۹/۴	۱۳/۶	۱۱/۴	۷/۸	۱۶/۶	۱۳/۶	۲۲/۸	۵۷/۳۶	۸/۸

* و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و یک درصد، Yp: عملکرد در شرایط مطلوب، Ys: عملکرد در شرایط تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، TOL: تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، YSI: شاخص پایداری عملکرد، Rank: شاخص رتبه‌بندی، GMP: میانگین بهره‌وری هندسی، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، MSTI1: شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط مطلوب، MSTI2: شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط نامطلوب و YRI: شاخص کاهش عملکرد

جدول ۶. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های کنجد از نظر شاخص‌های مقایسه تحمل و حساسیت نسبت به تنش خشکی

ژنوتیپ	Yp	Ys	SSI	TOL	MP	HM	YSI	Rank	GMP	STI	YI	MSTI1	MSTI2	YRI
	(کیلوگرم در هکتار)													
داراب	۱۰۷۲^{a}	۴۴۹^{b}	۱/۰۳^{c}	۶۲۲^{a}	۷۶۱^{b}	۶۳۲^{b}	۰/۴۲^{b}	۵/۰^{a}	۶۹۳^{b}	۰/۶۵^{b}	۱/۲۱^{b}	۱/۰۳^{b}	۱/۰^{b}	۵۲^{c}
ناز تک شاخه	۶۸۹^{c}	۲۱۳^{c}	۱/۲۱^{b}	۴۷۶^{b}	۴۵۱^{d}	۳۲۴^{d}	۰/۳۱^{c}	۲/۰^{c}	۳۸۲^{d}	۰/۲۰^{d}	۰/۵۷^{c}	۰/۱۴^{d}	۰/۰۷^{c}	۶۹^{b}
هلیل	۳۲۴^{d}	۷۲^{d}	۱/۳۷^{a}	۲۵۳^{c}	۱۹۸^{c}	۱۱۷^{c}	۰/۲۲^{d}	۱/۰^{d}	۱۵۳^{c}	۰/۰۳^{c}	۰/۱۹^{d}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{c}	۷۸^{a}
یلووایت	۹۷۰^{b}	۲۸۰^{c}	۱/۲۵^{ab}	۶۹۱^{a}	۶۲۵^{c}	۴۳۴^{c}	۰/۲۹^{cd}	۳/۱^{b}	۵۲۰^{c}	۰/۳۷^{c}	۰/۷۵^{c}	۰/۴۹^{c}	۰/۲۱^{bc}	۷۱^{ab}
دشتستان	۱۰۳۶^{ab}	۵۹۳^{a}	۰/۷۵^{b}	۴۴۳^{b}	۸۱۵^{ab}	۷۵۴^{a}	۰/۵۷^{a}	۴/۹^{a}	۷۸۴^{a}	۰/۸۳^{a}	۱/۶۰^{a}	۱/۲۲^{ab}	۲/۲۵^{a}	۴۳^{d}
توده محلی شوشتر	۱۰۵۷^{ab}	۶۱۴^{a}	۰/۷۴^{d}	۴۴۳^{b}	۸۳۵^{a}	۷۷۵^{a}	۰/۵۸^{a}	۵/۰^{a}	۸۰۴^{a}	۰/۸۸^{a}	۱/۶۵^{a}	۱/۳۵^{a}	۲/۵۶^{a}	۴۲^{d}

در هر ستون میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌دار ندارند، Yp: عملکرد در شرایط مطلوب، Ys: عملکرد در شرایط تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، TOL: تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، YSI: شاخص پایداری عملکرد، Rank: شاخص رتبه‌بندی، GMP: میانگین بهره‌وری هندسی، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، MSTI1: شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط مطلوب، MSTI2: شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط نامطلوب و YRI: شاخص کاهش عملکرد

دیگر، رقم هلیل (۰/۲۲) کمترین پایداری عملکرد در بین ژنوتیپ‌ها را داشت (جدول ۶).

شاخص رتبه بندی (Rank)

در این شاخص ژنوتیپ متحمل رتبه عددی بالاتری دارد، لذا در اینجا رقم هلیل با رتبه ۱/۰۰ به‌عنوان حساس‌ترین رقم مشخص شد و توده محلی شوشتر و رقم داراب با داشتن رتبه ۵/۰۰ به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ تعیین شدند. به‌عبارت دیگر رقم هلیل میانگین رتبه (عملکرد) کمتری در سطوح مختلف تنش خشکی داشت، لذا نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها، پایداری عملکرد پایین‌تری در شرایط مختلف داشت (جدول ۶).

میانگین بهره‌وری هندسی (GMP)

این شاخص میانگین هندسی ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط تنش و غیر تنش را محاسبه می‌کند که بر اساس آن توده محلی شوشتر و رقم دشتستان بیشترین شاخص (به‌ترتیب ۸۰۴ و ۷۸۳) و بیشترین تحمل را داشتند. درحالی‌که رقم هلیل (۱۵۲) کمترین میانگین بهره‌وری هندسی و کمترین تحمل نسبت به تنش خشکی را داشت (جدول ۶).

شاخص تحمل تنش (STI)

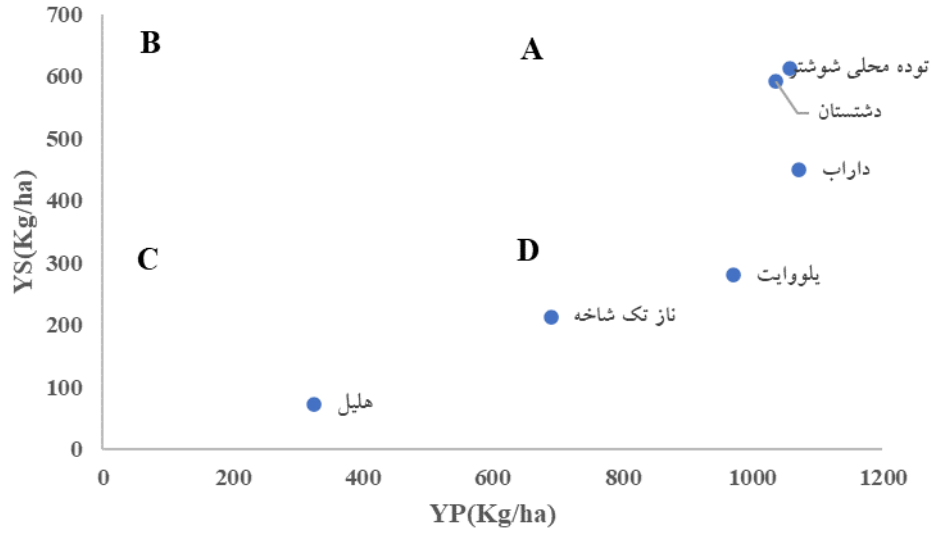
بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌هایی که در شرایط مناسب و همچنین در شرایط تنش عملکرد بالاتری داشتند، مقدار عددی بالاتری داشتند، لذا هر چه مقدار عددی آن بزرگتر باشد، آن ژنوتیپ متحمل‌تر است. مقایسه میانگین نشان داد که این شاخص بین ۰/۸۸ و ۰/۰۳ برای ژنوتیپ‌های مختلف متغیر بود که بر اساس آن توده محلی شوشتر (۰/۸۸) بیشترین تحمل (کمترین حساسیت) و رقم هلیل (۰/۰۳) کمترین تحمل (بیشترین حساسیت) نسبت به تنش خشکی را داشتند (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد که با توجه به اینکه توده محلی شوشتر بومی این منطقه بوده و به نواحی گرمسیری سازگاری دارد به‌خوبی توانسته نسبت به تنش خشکی تحمل نشان دهد و درنتیجه کمترین نوسان عملکرد را داشت. در این رابطه محققان اظهار داشتند که جهت گزینش مطلوب‌تر ژنوتیپ‌های متحمل کلزا می‌توان از شاخص‌های ذکرشده استفاده کرد. شاخص‌های MP (میانگین بهره‌وری)، GMP (میانگین بهره‌وری هندسی) و STI (شاخص تحمل تنش) مناسب‌ترین شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی در تیمارهای موردمطالعه بودند (۲). همچنین محققان دیگری نیز با بررسی ژنوتیپ‌های کنجد تحت تنش در دشت مغان اعلام کردند که رقم کرج ۱ بیشترین شاخص تحمل تنش (۱/۲۰) و رقم Indian-12 کمترین شاخص (۰/۴۲) را داشتند (۶).

توزیع دو طرفه ارقام بر حسب عملکرد در شرایط مناسب و شرایط نامناسب (آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت):

محققان نشان دادند که توزیع دوطرفه ژنوتیپ‌های مورد بررسی می‌تواند مبنای یک تقسیم‌بندی شود که ژنوتیپ‌ها را بر اساس پایداری عملکرد در شرایط نامطلوب در مقایسه با شرایط مطلوب دسته‌بندی نماید (۱). در مطالعه حاضر نیز بر اساس این توزیع (شکل ۱) نشان داد که توده محلی شوشتر و رقم دشتستان و داراب هم در شرایط مناسب و هم در شرایط تنش محصول قابل قبولی تولید کردند (گروه A)، رقم هلیل مناسب تنش خشکی بود (گروه C) و ارقام یلووایت و ناز تک شاخه در هر دو محیط عملکرد پایینی داشتند (گروه D). همچنین هیچ‌کدام از ژنوتیپ‌ها در گروه B قرار نگرفتند (جدول ۶).

شاخص عملکرد (YI)

از نظر شاخص عملکرد شاخص توده محلی شوشتر (۱/۶۵)، رقم دشتستان (۱/۶۰) و رقم داراب (۱/۲۰) عملکرد بالاتری در مقایسه با بقیه ارقام نسبت به میانگین عملکرد تمام ارقام در شرایط تنش خشکی داشتند. از طرف دیگر ارقام هلیل (۰/۱۹) و ناز تک شاخه (۰/۵۷) کمترین شاخص عملکرد را به خود اختصاص دادند، یعنی این ارقام در شرایط تنش خشکی نسبت به میانگین عملکرد سایر ارقام، تولید کمتر و حساسیت بالایی داشتند (جدول ۶).



شکل ۱. توزیع دوطرفه ارقام کنجد بر حسب عملکرد در شرایط مناسب (YP) و تنش خشکی (YS)

شاخص تحمل تنش تعدیل شده برای شرایط مطلوب (MSTI1)

این شاخص، شاخص تحمل تنش فرناندز را برای مناطق با شرایط اقلیمی مطلوب تعدیل می‌کند. به‌عنوان مثال، شاخص STI توده محلی شوشتر و رقم دشتستان شاخص فرناندز به ترتیب معادل ۰/۸۸ و ۰/۸۳ بود، درحالی‌که شاخص MSTI1 این ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب معادل ۱/۳۴ و ۱/۲۱ بود. همچنین بر اساس این شاخص توده محلی شوشتر (۱/۳۴) بیشترین تحمل و رقم هلیل (۰/۰۰۲) و ناز تک شاخه (۰/۱۳) کمترین تحمل به تنش خشکی را داشتند (جدول ۶).

شاخص تحمل تنش تعدیل شده برای شرایط نامطلوب (MSTI2)

این شاخص، شاخص تحمل تنش فرناندز را برای مناطق با شرایط اقلیمی نامطلوب تعدیل می‌کند. در برخی ژنوتیپ‌ها نتایج حاصل از این شاخص به نتایج شاخص تحمل فرناندز نزدیک بود. بر اساس این شاخص توده محلی شوشتر (۲/۵۶) و رقم دشتستان (۲/۲۵) بیشترین تحمل و ارقام هلیل (۰/۰۰) و ناز تک شاخه (۰/۰۷) کمترین تحمل را داشتند (جدول ۶).

شاخص کاهش عملکرد (YRI)

بر اساس این شاخص، رقم هلیل با ۷۸/۰۱ درصد کاهش عملکرد حساس‌ترین رقم و توده محلی شوشتر با ۴۲/۰۵ درصد کاهش عملکرد، متحمل‌ترین ژنوتیپ بود. یعنی توده محلی شوشتر در تنش خشکی توانست عملکرد نسبی بالاتری تولید کرده و نسبت به تنش خشکی این منطقه متحمل‌تر بود (جدول ۶).

همبستگی بین میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های حساسیت و تحمل محاسبه شده برای ژنوتیپ‌ها

بررسی ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش خشکی نشان داد که بین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط مناسب و شرایط تنش همبستگی معنی داری وجود داشت (جدول ۷) و این امر نشان می‌دهد که واکنش ژنوتیپ‌ها به دو تیمار آبیاری نرمال و آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت، مشابه بود و ژنوتیپ‌های مناسب در شرایط مطلوب با ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط نامطلوب در مطالعه حاضر یکسان بودند. همچنین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش بیشترین همبستگی را با شاخص میانگین بهره وری (MP) و شاخص بهره‌وری هندسی (GMP) (به‌ترتیب برابر با ۰/۹۷ و ۰/۹۳) داشت، درحالی‌که عملکرد دانه در شرایط تنش

جدول ۷. همبستگی بین میانگین‌های عملکرد دانه و شاخص‌های مقایسه تحمل و حساسیت ژنوتیپ‌های کنجد نسبت به تنش خشکی

	Yp	Ys	SSI	TI	MP	HM	YSI	Rank	GMP	STI	YI	MSTI1	MSTI2
Yp	۱												
Ys	۰/۸۴**	۱											
SSI	-۰/۶۸**	-۰/۹۶**	۱										
TI	۰/۶۹**	۰/۱۹ns	۰/۰۳ns	۱									
MP	۰/۹۷**	۰/۹۴**	-۰/۸۳**	۰/۵۰*	۱								
HM	۰/۸۹**	۰/۹۹**	-۰/۹۳**	۰/۳۰ns	۰/۹۷**	۱							
YSI	۰/۶۸**	۰/۹۶**	-۰/۹۹**	-۰/۰۴ns	۰/۸۳**	۰/۹۳**	۱						
Rank	۰/۹۰**	۰/۹۳**	۰/۸۴**	۰/۳۹ns	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۸۴**	۱					
GMP	۰/۹۳**	۰/۹۷**	-۰/۸۹**	۰/۳۹ns	۰/۹۹**	۰/۹۹**	۰/۸۹**	۰/۹۶**	۱				
STI	۰/۸۵**	۰/۹۹**	-۰/۹۳**	۰/۲۳ns	۰/۹۵**	۰/۹۹**	۰/۹۳**	۰/۹۵**	۰/۹۸**	۱			
YI	۰/۸۳**	۰/۹۹**	-۰/۹۶**	۰/۱۹ns	۰/۹۴**	۰/۹۹**	۰/۹۶**	۰/۹۲**	۰/۹۷**	۰/۹۹**	۱		
MSTI1	۰/۸۴*	۰/۹۷**	-۰/۹۰**	۰/۲۳ns	۰/۹۳**	۰/۹۷**	۰/۹۱**	۰/۹۵**	۰/۹۶**	۰/۹۹**	۰/۹۷**	۱	
MSTI2	۰/۶۱**	۰/۶۱**	-۰/۹۳**	-۰/۱۱ns	۰/۷۷**	۰/۸۶**	۰/۹۳**	۰/۷۹**	۰/۸۳**	۰/۹۱**	۰/۹۱**	-۰/۹۳**	۱

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، Yp: عملکرد در شرایط مطلوب، Ys: عملکرد در شرایط تنش، SSI: شاخص حساسیت به تنش، TOL: تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، YSI: شاخص پایداری عملکرد، Rank: شاخص رتبه‌بندی، GMP: میانگین بهره‌وری هندسی، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، MSTI1: شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط مطلوب، MSTI2: شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط نامطلوب و YRI: شاخص کاهش عملکرد

بیشترین همبستگی را با شاخص‌های STI و YI (برابر با ۰/۹۹) داشت. بنابراین در شرایط مطلوب و یا نامطلوب می‌توان از این شاخص‌ها برای تعیین ژنوتیپ‌های حساس و متحمل استفاده کرد. در بین شاخص‌ها، شاخص SSI با شاخص TI همبستگی معنی داری نداشت و با سایر شاخص‌ها، به‌جز شاخص Rank، همبستگی منفی و معنی داری داشت. همچنین شاخص STI و شاخص MSTI1 و نیز شاخص‌های MSTI1 و MSTI2 همبستگی منفی و معنی داری با هم نشان دادند (جدول ۷).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی در مناطق در معرض تنش، ژنوتیپ‌هایی مطلوب‌تر هستند که در صورت کاشت در شرایط مناسب عملکرد بالایی تولید کنند و درصورت مواجه شدن با تنش، کاهش عملکرد زیادی نداشته باشند (ژنوتیپ‌های گروه A در تقسیم بندی فرناندز). با توجه به اینکه شاخص تحمل تنش فرناندز (STI) توانایی تشخیص این ژنوتیپ‌ها را دارد، لذا در شرایط آب و هوایی این مناطق، استفاده از این شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس پیشنهاد می‌شود. در این مطالعه بر اساس این شاخص، توده محلی شوشتر (۰/۸۸) بیشترین تحمل (کمترین حساسیت) و رقم هلیل (۰/۰۳) کمترین تحمل (بیشترین حساسیت) نسبت به تنش خشکی را داشتند. از طرف دیگر اگر بر اساس پیشنهاد محققان ژنوتیپ‌های متحمل ابتدا بر اساس STI و سپس بر اساس SSI انتخاب شوند، مشاهده می شود که در بین ژنوتیپ‌ها، توده محلی شوشتر SSI کمتری (۰/۷۴۰) داشت که در حقیقت این نتیجه با نتیجه حاصل از STI یکسان است (۱۶). حتی اگر عکس حالت فوق انجام شود، یعنی ابتدا ژنوتیپ‌های با شاخص حساسیت پایین را انتخاب کرده و سپس از بین آنها ژنوتیپ‌های با شاخص تحمل تنش بالاتر انتخاب شود، باز همان نتیجه حاصل خواهد شد، چون نتیجه این دو شاخص تقریبا عکس یکدیگر است و انتخاب بر اساس یکی از آنها به‌طور غیر مستقیم نتیجه شاخص دیگر را هم در خود دارد. لذا در این شرایط استفاده از دو شاخص لزومی نداشته و استفاده از شاخص تحمل تنش (STI) به‌تنهایی توصیه می‌شود. بر این اساس پیشنهاد می‌شود که برای انجام تحقیقات مربوط به تنش خشکی از توده محلی شوشتر به‌عنوان ژنوتیپ متحمل و از رقم هلیل به‌عنوان رقم حساس (شاهد) جهت مقایسه ارقام استفاده شود.

تشکر و قدردانی

از معاونت آموزشی و تحصلات تکمیلی و همچنین معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان جهت همکاری و مساعدت در اجرای این مطالعه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Aboodeh, H., M. R. Moradi-Telavat, A. Moshatati and S. H. Mousavi. 2019. Evaluation of spring safflower genotypes by using tolerance and sensitivity indices to terminal heat stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12(2): 607-616. (In Farsi).
2. Aboodeh, H., A. Bakhshandeh, M. R. Moradi-Telavat, S. A. Siadat and S. A. Moosavi. 2023. Evaluation of drought Tolerance and Susceptibility Indices of Rapeseed Genotypes under Conditions of late Irrigation Interruption of growing season. *Journal of Crops Improvement* 25(1): 17-32. (In Farsi).
3. Abolhasani, Kh. and G. Saeidi. 2006a. Evaluation of drought tolerance of safflower lines based on tolerance and sensitivity indices to water stress. *Journal of Water and Soil Science* 10(3): 407-419. (In Farsi).
4. Abolhasani, Kh. and G. Saeidi. 2006b. Investigation of agronomic traits for safflower genotypes in two moisture regimes in Isfahan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resourcces* 13(4): 44-53. (In Farsi).
5. Ashraf, M. and P. J. C. Harrice. 2005. Abiotic Stresses: Plant Resistance through Breeding and Molecular Approaches. The Haworth Press, New York.
6. Bouslama, M. and W. T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance *Crop Science* 24: 933-937.

7. Chogan, R., T. Taher-Khani, M. R. Ghannadha and M. Khodrahmi. 2006. Drought tolerance analysis in corn-based inbred lines using drought stress tolerance indexes. *Iranian Crop Sciences* 8(1): 79-89. (In Farsi).
8. Dargahi, Y., A. Asghari, M. Shokouhpour, A. Rasoulzadeh, A. Gharibeshghi and M. R. Shiri. 2011. Evaluation of water stress tolerance in sesame varieties based on tolerance indices. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 21(3): 119-133. (In Farsi).
9. FAO. 2018. Crops and livestock products. Available online at: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC. Accessed 5 April 2020.
10. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270, In: C. G. Kuo, (Ed), International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. AVRDC Publication, Tainan.
11. Fisher, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 897-912.
12. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R. G. Campaline, G. L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science* 77: 523-531.
13. Gharibeshghi, A. and J. Mozaffari. 2017. Study of genetic variation in sesame genotypes by using both drought stress indices and morphologic traits for screening in drought stress conditions. *Crop Science Research in Arid Regions* 1(1): 89-108. (In Farsi).
14. Mehrabi, Z. and P. Ehsanzadeh. 2011. A study on physiological attributes and grain yield of sesame cultivars under different soil moisture regimes. *Journal of Crops Improvement* 13(2): 75-88. (In Farsi).
15. Moradi-Telavat, M. R. and S. A. Siadat. 2012. Introduction and Agronomy of Oilseed Crops. Agriculture Extenention Press, Tehran. (In Farsi).
16. Moshatati, A., S. A. Siadat, Kh. Alamisaeid, A. Bakhshandeh and M. R. Jalal Kamali. 2013. Comparison of wheat cultivars using indices of tolerance and susceptibility to terminal heat stress in Ahvaz. *Journal of Plant Production* 36(2): 61-73. (In Farsi).
17. Naderi, A., I. Majidi Harawan, A. H. Hashemi Dezfuli, A. L. Rezaei and Gh. Nourmohammadi. 1999. Tolerance of indicators of evaluation of crop tolerance to environmental stresses and the introduction of a new indicator. *Journal of Seed and Plant* 15(4): 402-390. (In Farsi).
18. Najafian, G. 2009. Drought tolerance indices, their relationship and manner of application to wheat breeding programs. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology* 3: 25-34.
19. Nassar, R. and M. Huhn. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures on phenotypic stability. *Biometrics* 43: 45-53.
20. Omidi, A. H. 2009. Effect of drought stress at different growth stages on seed yield and some. *Journal of Seed and Plant Production* 25(1): 15-31. (In Farsi).
21. Pourdad, S. S. and M. J. Moghaddam. 2013. Study on genetic variation in safflower collection (*Carthamus tinctorius* L.) under rainfed condition. *Iranian Journal of Rainfed Agriculture* 1(3): 1-16. (In Farsi).
22. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science* 21: 943-946.
23. Yari, P., A. H. Keshtkar and H. Mazaheri. 2016. Evaluation of water stress in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars using tolerance indices in Hamadan region. *Journal of Crop Breeding* 8(18): 88-96. (In Farsi).
24. Zarghami, R., M. Zahravi, A. Aslanzadeh and M. Abbasali. 2011. Evaluation of autumn sown genotypes of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) for tolerance to drought stress. *Journal of Seed and Plant Improvement* 1(3): 339-355. (In Farsi).

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 14, No. 1, Spring 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Different Genotypes of Sesame in Terms of Stress Sensitivity and Tolerance Indices in Water Deficit Conditions

M. Nosrati[1], M. R. Moradi Telavat[2*], A. Moshatati[2] and M. Gholamhosseini[3]

(Received: May 22-2023; Accepted: December 09-2023)

Abstract

To compare tolerance and sensitivity indices of sesame genotypes to water stress in Ahvaz (south-west of Iran) conditions, an experiment was conducted in Research Farm of Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, south-west of Iran, in summer 2018. The experimental design was split plot based on a randomized complete block design with four replicates. Experimental factors were three levels of irrigation (I1; fully irrigated, I2: changing altered irrigated and I3: fixed altered irrigated) in main plots and six sesame genotypes in subplots. The yield of studied genotypes showed a significant difference in different levels of irrigation. Genotype Shushtar produced the highest grain and oil yield and showed good performance in both normal and low irrigation conditions. The examined genotypes had significant differences in terms of Stress Sensitivity index (SSI), Tolerance Index (TI), Productivity Mean (PM), Harmonic Mean (HM), Yield Stability Index (YSI), Geometric Productivity Mean (GPM), Stress Tolerance Index (STI), Stress Damage Index (SDI), Modified Stress Tolerance for appropriate conditions (MSTI1), Modified Stress Tolerance for non-appropriate conditions (MSTI2), and Yield Reduction Index (YRI). In general, the best indicator for evaluation of tolerance and susceptibility of sesame genotypes was stress tolerance index (STI). The most tolerant and sensitive genotypes were Shushtar and Halil genotypes, respectively.

Keywords: Biomass, Geometric Productivity Mean, Oil, Ranking, Yield

1 and 2. MSc Graduated and Associate Professor, Respectively, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran.
3. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kraj, Iran
*: Corresponding Author, Email: moraditelavat@asnrukh.ac.ir