دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبیاری ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در استان آذربایجان شرقی

امیررضا صادقی بختوری[۱]، بهمن قهرمانی بکتاش[۲]، بهمن پاسبان اسلام[۳]، وحید سرابی[۲] و سعید حضرتی[۲]

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز،
(نویسنده مسوول: sadeghi.amir1@yahoo.com)
۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز
۳- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۲ تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۲۳
صفحه: ۶۵ تا ۷۷

چکیده

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی در سراسر جهان است که رشد، نمو و عملکرد نهایی گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به اینکه گیاه کلزا نقش اصلی در تامین روغن دارد، از این رو شناخت ارقام متحمل به تنش یک ضرورت در آن است. به‌منظور ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی در سه سطح: بدون تنش، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی به‌عنوان عامل اصلی و ۱۴ ژنوتیپ مختلف کلزای پاییزه به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که تنوع مطلوبی در بین ژنوتیپ‌ها براساس صفات مختلف مورد مطالعه در سطوح مختلف تنش کمبود آب وجود دارد. تنش کمبود آب موجب کاهش همه صفات مورد بررسی به‌جز صفت شاخص برداشت شد. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مختلف کلزا براساس روش UPGMA در سطوح مختلف بدون تنش، تنش از مرحله گلدهی و تنش از مرحله خورجین‌دهی، ژنوتیپ‌ها را به‌ترتیب در ۳، ٤ و ٤ گروه مجزا تفکیک نمود. در تجزیه به مولفه‌های اصلی تعداد دو عامل در همه سطوح تنش مورد بررسی بدست آمد که دارای مقدار ویژه بالاتر از یک بودند. صفات طول خورجین، مساحت خورجین، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، میزان رشد مطلق بوته، عملکرد دانه و شاخص برداشت در همه سطوح تنش بالاترین میزان بار عامل در جهت مثبت را به خود اختصاص دادند. در شرایط تنش از مرحله گلدهی عملکرد دانه با همه صفات به جز صفات ارتفاع گیاه و تعداد خورجین واقعی به پتانسیل همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱ درصد داشت. نتایج آزمایشات حاکی از آن است که در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ‌های L155 (۳۹٤۷ کیلوگرم در هکتار)، L14 (۳۹۵۲ کیلوگرم در هکتار)، HL2012 (٤۱۵۹ کیلوگرم در هکتار) و WPN6 (۳۹۲۹ کیلوگرم در هکتار) عملکردهای قابل‌قبولی داشتند ولی در شرایط کمبود آب در مرحله گلدهی ژنوتیپ‌های WPN6 (۲۱۵٦ کیلوگرم در هکتار)، L155 (۲۱۵۸ کیلوگرم در هکتار)، SW102 (۱۹۸۳ کیلوگرم در هکتار)، L14 (۲۱۷٤ کیلوگرم در هکتار) و HL3721 (۲۱۳٦ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط تنش از مرحله خورجین‌دهی ژنوتیپ HL2012 (۳۲۵۹ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها با کسب عملکرد دانه به‌مراتب بالاتر از پایداری عملکرد نسبتاً بیشتری برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تنش کمبودآب، تجزیه به مولفه‌های اصلی، کلزا، همبستگی

مقدمه

روغن یکی از مواد غذایی اصلی مورد مصرف انسان است که بخش نسبتاً قابل توجهی از کالری مورد نیاز روزانه را تامین می‌کند (۴۰). در ایران روغن خوراکی بیشتر از منابع گیاهی تامین می‌شود ولی متاسفانه تولید داخلی روغن خوراکی بسیار کم است و سالیانه مقادیر متنابهی ارز جهت واردات روغن از کشور خارج می‌شود. با توجه به موارد ذکر شده اهمیت دانه‌های روغنی بیش از پیش آشکار می‌شود (۱). کلزا گیاهی یک‌ساله از تیره‌ی شب‌بو است. این گیاه دانه روغنی گونه‌ی اهلی است که احتمالاً از ترکیب گونه‌های *Brassica compestris* و *Brassica oleracea* بوجود آمده باشد. موطن اصلی آن به احتمال زیاد آسیا و اروپاست (۳۳). روغن ماده‌ای اساسی در تغذیه بشر می‌باشد، به‌طوری که کمیت و کیفیت آن تأثیر چشمگیری روی سلامت و طول عمر انسان دارد. امروزه دانه‌های روغنی منبع عمده تولید روغن در جهان می‌باشند (۱). در جهان امروز دانه‌های روغنی در بین محصولات زراعی، اهمیت و ارزش خاصی دارند که این ارزش را به ترکیبات مهم و با ارزش انواع اسیدهای چرب آن‌ها می‌توان مرتبط دانست. کلزا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی به‌دلایل متعدد از اولویت خاصی برخوردار بوده و با توجه به نیاز مبرم به تولید دانه‌های روغنی جهت استحصال روغن گیاهی سطح زیر کشت آن در حال افزایش می‌باشد (۱۰،۶). بر اساس گزارش فائو میزان سطح زیر کشت کلزا در ایران ۷۱۹۵ هکتار بوده است. همچنین متوسط عملکرد کلزا در ایران ۳/۴ تن در هکتار برآورد شده است (۱۳).

تنش‌های محیطی اعم از زنده یا غیرزنده همواره از عوامل اصلی کاهش تولید محصولات زراعی و از موانع اصلی رسیدن به پتانسیل عملکرد محصولات مختلف بوده‌اند (۹). در بین تنش‌های محیطی، تنش خشکی بیش از سایر موارد روی رشد و تولید گیاهان زراعی اثر دارد (۱۶،۱۸،۲۳). حدود ۴۰ درصد از اراضی کره‌ی زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند. در این مناطق، آب عامل اصلی محدودیت کشاورزی بوده و خشکی از جمله مهم‌ترین عوامل تنش‌زا در گیاهان زراعی به‌حساب می‌آید (۸). خشکی در ایران نیز در بین تنش‌های غیرزنده، بزرگ‌ترین مانع رشد و تولید کلزا بشمار

می‌رود (۲۸). تنش خشکی روی عملکرد محصول اثر گذاشته و اغلب باعث کاهش آن می‌شود (۳۹). کلزا گیاهی نیمه‌حساس به کمبود آب می‌باشد و بسیاری از مطالعات نشان داده است که حساس‌ترین مرحله نمو کلزا به تنش خشکی، اواخر فصل رویشی یعنی خورجین‌بندی و سراسر دوران گلدهی است (۱۲).

به‌طورکلی وقوع تنش رطوبتی در مراحل انتهایی رشد موجب کاهش تعداد اندام‌های زایشی کلزا از جمله تعداد خورجین‌ها، تعداد دانه و همچنین عملکرد دانه می‌گردد (۳۱ و ۲۹). مندهام و سالیسبوری (۲۳) گزارش کردند که تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی کلزا موجب کاهش تعداد خورجین در بوته می‌شود، اما تاخیر در بروز تنش، سبب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین می‌گردد. فرجی و همکاران (۱۴) در آزمایشی نشان دادند که آبیاری در مرحله گلدهی و پرشدن دانه بیشترین عملکرد دانه را در بر داشت. به‌طور کلی سطح خورجین به‌عنوان سطح فتوسنتزی فعال از اهمیت ویژه‌ای در پرکردن دانه‌ها برخوردار می‌باشد. به‌طور معمول یک سوم وزن دانه‌های کلزا از طریق فتوسنتز خورجین‌ها تأمین می‌گردد. مساحت دیواره‌های خورجین در کلزا با تعداد دانه در خورجین همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (۳۹).

تجزیه کلاستر یک آنالیز چندمتغیره است که در آن با در دست داشتن نمونه‌هایی از n فرد و اندازه‌گیری p متغیر بر روی هر فرد می‌توان افراد را در کلاس‌هایی گروه‌بندی کرد که افراد مشابه در داخل یک کلاس قرار بگیرند. علاوه‌بر این تجزیه به مولفه‌های اصلی به‌همراه رسم بای‌پلات برای مولفه‌ها روش چندمتغیره دیگری است که برای مطالعه فاصله بین افراد مناسب می‌باشد. چنین روش‌های آماری اساس مطالعه بسیاری از محققین برای بررسی تنوع ژنتیکی ذخایر توارثی گیاهان قرار گرفته است (۲۲). تاکنون مطالعات زیادی در زمینه ارتباط و همبستگی صفات مهم زراعی روی گیاه کلزا انجام گرفته است که صفات وزن هزاردانه، تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته را مهم‌ترین صفات با همبستگی بالا در عملکرد معرفی کردند (۲۶). نتایج ارزیابی ژنوتیپ‌های کلزا برای تحمل به خشکی در آذربایجان غربی نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها تنوع معنی‌داری برای تحمل به خشکی وجود داشته و آن‌ها را در دو دسته متحمل و حساس گروه‌بندی کرد. این امر نشان‌دهنده پتانسیل موجود برای اصلاح کلزا جهت توسعه کشت در مناطق مواجه با کمبود آب است (۲۱). نتایج حاصل از یک مطالعه روی ژنوتیپ‌های پاییزه کلزا نشان داد که تنش خشکی آخر فصل از بین اجزای عملکرد دانه با کاهش تعداد خورجین در بوته، عملکرد دانه را کاهش داد (۳۲).

با توجه به همزمانی وقوع تنش خشکی در طی مراحل گلدهی تا رسیدگی کلزا و متفاوت‌بودن زمان وقوع و شدت تنش طی سال‌های مختلف در ایران لزوم معرفی ژنوتیپ‌های جدید به کشاورزان که به این شرایط سازگاری داشته باشد ضروری به نظر می‌رسد.

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در شرایط تنش کم‌آبی در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی به‌منظور گزینش ارقام برتر جهت توصیه در کشت پاییزه کلزا بود.

مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی محل تحقیق

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی (ایستگاه خسروشاه) با مشخصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲ دقیقه شرقی، ۳۷ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی به اجرا در آمد.

طرح آماری و تیمارهای آزمایش

به‌منظور ارزیابی پاسخ عملکرد و اجزای آن در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در شرایط شاهد و کمبود آب، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. ناحیه موردنظر دارای زمستان‌های سرد، یخبندان و تابستان‌های گرم و خشک است. این منطقه دارای متوسط دمای سالیانه ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد با ۱۶۰/۷ میلی‌متر بارندگی در سال می‌باشد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی در سه سطح: بدون‌تنش، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی به‌عنوان عامل اصلی و ۱۴ ژنوتیپ مختلف کلزای پاییزه به‌عنوان عامل فرعی در سه تکرار بودند. ژنوتیپ‌های کلزا شامل Okapi، Opera، Modena، Zarfam، Licord، Talayeh، SLM046، SW102، L72، L14، HL3721، WPN-6، L155 و HL2012 از بخش تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی تهیه شدند. کاشت در بیستم شهریورماه ۱۳۹۴ انجام گرفت. هر کرت از چهار ردیف به‌طول ۵ متر تشکیل شده بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت، ۲۴ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۷ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کوددهی مزرعه با استفاده از کودهای اوره (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله قبل از کاشت، شروع رشد بهاره و غنچه‌دهی)، سولفات‌پتاسیم و سوپرفسفات‌تریپل (هرکدام ۷۵ کیلوگرم در هکتار و قبل از کاشت) صورت گرفت. در اواسط مرحله گلدهی با استفاده از سم ایمیدا کلو پراید (کنفیدور) به نسبت نیم در هزار علیه آفت شته مومی کلم مبارزه شد. با استفاده از هالوکسی‌فوپ‌آرمتیل با نسبت نیم لیتر در ۰/۷ هکتار علیه علف‌های هرز نازک برگ مبارزه گردید و سایر علف‌های هرز به‌روش دستی و قبل از رسیدن بوته‌ها به مرحله چهار برگی حقیقی وجین گردید. خاک مزرعه مورد آزمایش لومی شنی بود. آبیاری به‌روش نشتی انجام گردید. برای جلوگیری از نشت آب بین کرت‌های آبیاری و تنش، بین کرت‌های اصلی دو متر و بین بلوک‌ها سه متر فاصله در نظر گرفته شد. اعمال تنش‌آبی بر مبنای بیلان آبی خاک بود و با رسیدن رطوبت خاک به ۳۰ درصد آب قابل استفاده تیمارهای آبیاری و با رسیدن رطوبت به ۷۰ درصد آب قابل استفاده تیمارهای تنش، آبیاری می‌شدند و برای اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک از دستگاه TDR[1] مورد استفاده قرار می‌گرفت. در انتهای فصل رشد، تعداد خورجین واقعی در بوته (خورجین‌ها پر)، تعداد خورجین پتانسیل در بوته

1- Time Domain Reflectometry

(خورجین‌های پوک)، نسبت تعداد خورجین واقعی به پتانسیل، مساحت خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، میزان رشد مطلق بوته، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک در مرحلهٔ رسیدگی گیاه، پس از حذف یک متر از حاشیه در سطح یک مترمربع، کل بوته‌ها برداشت و برای هر کرت به‌طور جداگانه شماره گذاری و وزن گردید. برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد دانه از هر کرت ۵ بوته برداشت گردید. برداشت محصول در ۲۲ و ۲۳ خرداد ماه صورت گرفت.

شاخص برداشت براساس عملکرد نهایی دانه در هر نمونه نسبت به کل ماده خشک گیاهی (کاه، کلش و دانه) محاسبه گردید.

شاخص مزبور در اواخر دوره رشد رویشی بوته‌های کلزا تعیین شد. برای اندازه‌گیری میزان رشد مطلق بوته ۵ بوته از هر کرت برداشت شد و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار داده شد. وزن خشک با ترازوی دقیق توزین شد. این کار دو بار به فاصله ۱۰ روز تکرار گردید. شاخص فوق از طریق رابطه زیر محاسبه شد (۳۰، ۲۵).

$$RGR = \frac{W2-W1}{t2-t1}$$

در این رابطه W1: وزن خشک اولیه، W2: وزن خشک ثانویه، t1: زمان اولیه، t2: زمان ثانویه و RGR: میزان رشد مطلق بوته می‌باشد.

مساحت خورجین

نمونه‌برداری در اواخر تشکیل خورجین (حصول حداکثر اندازه خورجین‌ها) صورت گرفت. خورجین‌های ۵ بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و مساحت آن‌ها از رابطه زیر محاسبه گردید (۲۵).

مساحت خورجین = طول خورجین × عرض خورجین × ۰/۸۳

در نهایت داده‌های بدست آمده در نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۲ مورد تجزیه قرار گرفتند. به‌منظور مقایسه بین گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر از آزمون کاملاً تصادفی نامتعادل استفاده شد، به‌طوری که گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر به‌عنوان تیمار و ژنوتیپ‌های موجود در هر گروه به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شد. همچنین برای مقایسه میانگین بین گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر از آزمون دانکن استفاده شد. برای رسم دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر و همچنین انجام تجزیه به مولفه‌های اصلی از نرم‌افزار XLSTAT استفاده شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج مشاهده شد که تنوع مطلوبی در بین ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مختلف مورد مطالعه در سطوح مختلف تنش کمبود آب وجود دارد (جدول ۱).

تنش کمبود آب موجب کاهش همه صفات مورد بررسی به جز صفت شاخص برداشت شد. کاهش ارتفاع گیاه در اثر اعمال تنش خشکی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به واسطه کم‌آبی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم‌دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع بوته نسبت داد (۵). به‌نظر می‌رسد کمبود عرضه مواد فتوسنتزی در شرایط تنش، باعث عدم‌تامین مواد فتوسنتزی به‌میزان کافی برای خورجین‌ها و در نتیجه ریزش آن‌ها و در نهایت کاهش تعداد خورجین می‌شود. تعداد دانه در خورجین یکی از صفات تعیین‌کننده عملکرد محسوب می‌شود (۱۱). هر چه تعداد دانه در خورجین بیشتر باشد، مخزن بزرگتری برای مواد فتوسنتزی تولیدشده توسط گیاه ایجاد می‌شود که در نهایت منجر به افزایش عملکرد می‌گردد. مندهام و همکاران (۲۶) دریافتند که افزایش تعداد دانه در خورجین یک عامل کلیدی در افزایش عملکرد ارقام جدید می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که طی مرحله زایشی کمبودآب موجب کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی شده و همین عامل در افت تعداد گل‌های بارور در گیاه موثر می‌باشد. نتایج دیگر محققین نیز نشان داد که تعداد دانه در خورجین در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد (۲۶). پاسبان اسلام و همکاران (۳۱) در پژوهشی مشاهده نمودند که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار مساحت خورجین گردید، به‌طوری که بیشترین میزان مساحت خورجین در آبیاری کامل و کمترین مساحت خورجین در قطع آبیاری از مرحله گلدهی به‌دست آمد. محققین گزارش کردند که آبیاری تکمیلی با طولانی کردن مرحله گلدهی در کلزا باعث افزایش تعداد و مساحت خورجین و پیرو آن افزایش عملکرد می‌گردد (۲۵). نتایج سایر محققین نیز نشان داده است که تنش خشکی در مرحله گلدهی و رشد خورجین‌ها سبب کاهش مساحت خورجین گردید (۲۹،۲۶).

کاهش وزن هزاردانه به دنبال تنش خشکی نیز احتمالاً به‌دلیل کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به‌دنبال آن کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی و آسیمیلات‌ها به دانه بوده است. که در این شرایط گیاه حتی با انتقال مجدد ذخایر اندوخته‌شده خود نیز نتوانسته کاهش آسیمیلات ناشی از تنش را جبران نماید و این وضعیت منجر به کاهش وزن دانه‌ها گردیده است. قلی‌پور و همکاران (۱۵) اظهار داشتند هنگامی که در مرحله رشد خورجین‌ها با کمبود آب مواجه گردد، انتقال مواد غذایی به دانه‌ها تقلیل‌یافته و عملکرد کاهش می‌یابد که ناشی از کاهش تعداد و اندازه خورجین‌ها می‌باشد. محققین گزارش کردند که کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی متاثر از کاهش اجزای عملکرد از جمله تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، ارتفاع بوته و وزن ماده خشک می‌باشد (۲). حسن‌زاده و همکاران (۱۷) در بررسی خود واکنش سه رقم کلزای پاییزه به چهار رژیم آبیاری (قطع آبیاری از مرحله گلدهی، قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی، قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه و تیمار آبیاری معمول) مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده کردند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و طول خورجین)، عملکرد دانه و اجزای عملکرد (تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه) و عملکرد روغن گردید.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی مربوط به صفات مختلف مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های کلزا تحت تنش کمبود آب

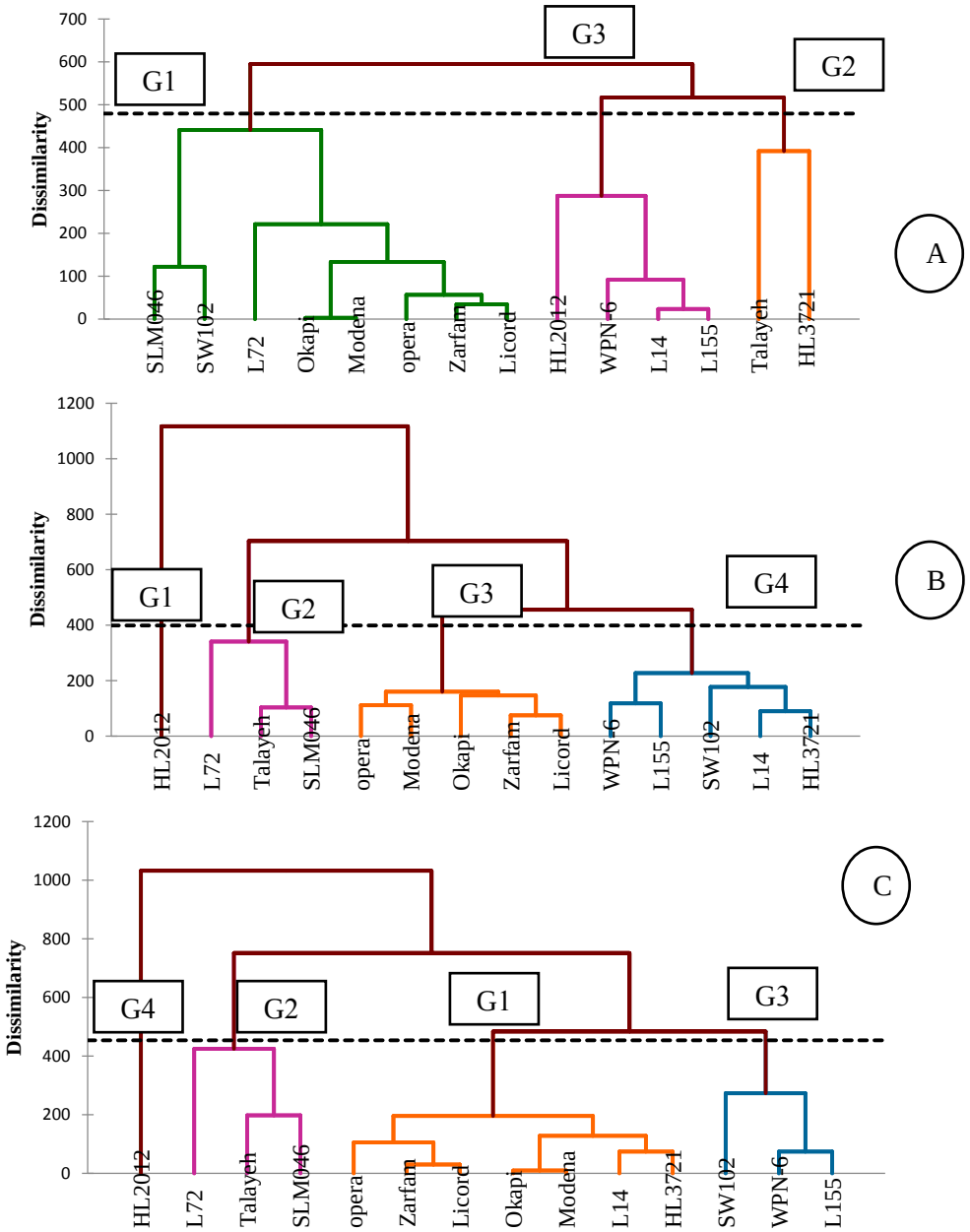
Table 1. Descriptive statistics related to different traits studied in rapeseed genotypes under water deficit stress

سطوح تنش کم‌آبی	صفات	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
بدون تنش کم‌آبی	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) (x_1)	۱۲۲/۲۰	۱۳۱/۴۰	۱۲۵/۷۰	۳/۱۴
	طول خورجین (سانتی‌متر) (x_2)	۶/۳۸	۷/۵۶	۶/۸۵	۰/۳۴
	مساحت خورجین (سانتی‌متر مربع) (x_3)	۲۴/۹۵	۲۹/۵۶	۲۶/۵۳	۱/۴۶
	تعداد خورجین در بوته (x_4)	۹۵/۷۸	۱۰۷/۲۰	۹۹/۶۰	۳/۴۰
	تعداد دانه در خورجین (x_5)	۲۶/۳۰	۳۲/۱۰	۲۸/۸۹	۱/۸۳
	نسبت تعداد خورجین واقعی به پتانسیل (x_6)	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۰۱
	میزان رشد مطلق بوته (گرم روز) (x_7)	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۰۱
	وزن هزاردانه (گرم) (x_8)	۳/۲۴	۰/۸۲	۳/۵۲	۰/۱۶
	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (x_9)	۳۵۶۱/۰۰	۴۱۵۹/۰۰	۳۷۷۶/۲۸	۱۶۶/۶۴
	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) (x_{10})	۱۶۶۷۸/۲۶	۱۷۹۳۳/۳۳	۱۷۳۴۲/۱۹	۳۲۹/۲۱
	شاخص برداشت (درصد) (x_{11})	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۰۱
تنش کم‌آبی از مرحله گلدهی	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) (x_1)	۱۰۲/۳۰	۱۱۵/۳۰	۱۰۸/۴۹	۳/۰۷
	طول خورجین (سانتی‌متر) (x_2)	۵/۱۵	۶/۲۳	۵/۵۴	۰/۳۵
	مساحت خورجین (سانتی‌متر مربع) (x_3)	۱۷/۹۸	۲۲/۰۳	۱۹/۳۹	۱/۴۴
	تعداد خورجین در بوته (x_4)	۶۸/۳۶	۸۲/۱۳	۷۵/۰۶	۳/۴۹
	تعداد دانه در خورجین (x_5)	۲۰/۵۶	۲۴/۱۱	۲۱/۹۶	۱/۰۸
	نسبت تعداد خورجین واقعی به پتانسیل (x_6)	۰/۷۵	۰/۸۴	۰/۷۹	۰/۰۲
	میزان رشد مطلق بوته (گرم روز) (x_7)	۰/۴۱	۰/۴۹	۰/۴۴	۰/۰۱
	وزن هزار دانه (گرم) (x_8)	۲/۴۴	۲/۸۰	۲/۶۵	۰/۰۹
	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (x_9)	۱۸۶۱/۰۰	۲۴۵۹/۰۰	۲۰۳۲/۹۲	۱۶۷/۰۶
	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) (x_{10})	۷۵۶۰/۰۰	۹۳۲۵/۰۰	۸۳۸۳/۳۸	۴۴۸/۸۹
	شاخص برداشت (درصد) (x_{11})	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۰۱
تنش کم‌آبی از مرحله خورجین‌دهی	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) (x_1)	۱۱۲/۲۰	۱۱۹/۷۰	۱۱۵/۸۰	۲/۴۶
	طول خورجین (سانتی‌متر) (x_2)	۵/۸۵	۶/۸۸	۶/۳۰	۰/۳۴
	مساحت خورجین (سانتی‌متر مربع) (x_3)	۲۰/۹۸	۲۵/۹۱	۲۲/۶۲	۱/۶۲
	تعداد خورجین در بوته (x_4)	۸۰/۷۸	۹۳/۵۶	۸۵/۷۲	۳/۳۳
	تعداد دانه در خورجین (x_5)	۲۳/۵۶	۲۷/۱۱	۲۴/۹۶	۱/۰۸
	نسبت تعداد خورجین واقعی به پتانسیل (x_6)	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۰۱
	میزان رشد مطلق بوته (گرم روز) (x_7)	۰/۶۷	۰/۷۳	۰/۶۸	۰/۰۱
	وزن هزار دانه (گرم) (x_8)	۲/۹۱	۳/۱۱	۲/۹۸	۰/۰۶
	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (x_9)	۲۶۶۱/۰۰	۳۲۵۹/۰۰	۲۸۵۹/۵۰	۱۶۵/۱۸
	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) (x_{10})	۱۰۷۶۰/۰۰	۱۲۵۳۴/۶۱	۱۱۶۶۵/۹۲	۴۵۳/۵۲
	شاخص برداشت (درصد) (x_{11})	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۰۱

شاخص برداشت معیاری از کارآیی تخصیص مواد فتوسنتزی تولیدشده در گیاه به دانه است (۳۴). در این بررسی شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمار تنش کمبود آب قرار گرفت. به‌نظر می‌رسد تنش خشکی رشد اندام رویشی را بیشتر از عملکرد دانه کاهش داده است یا به‌عبارتی تاثیر منفی تنش بر عملکرد دانه کمتر از عملکرد زیست‌توده بوده است (۳۶).

تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مختلف کلزا بر اساس روش UPGMA در سطوح مختلف بدون‌تنش، تنش از مرحله گلدهی و تنش از مرحله خورجین‌دهی به‌تفکیک در شکل ۱ نشان داده شد. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای در سطح بدون‌تنش نشان داد که ۱۴ ژنوتیپ کلزا در سه گروه مجزا از هم تفکیک شدند. به‌طوری که در خوشه اول، دوم و سوم به‌ترتیب تعداد هشت ژنوتیپ (SLM046، SW102، L72، Okapi، Modena، opera، Zarfam و Licord)، چهار ژنوتیپ (L14، WPN-6، L155 و HL2012) و دو ژنوتیپ (شامل HL3721 و Talayeh) قرار گرفتند. همچنین تجزیه خوشه‌ای در سطح تنش از مرحله گلدهی ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه مجزا تفکیک نمود. به‌طوری‌که ژنوتیپ HL2012 در خوشه اول و ژنوتیپ‌های WPN-6، L155، SW102، L14 و HL3721 در خوشه چهارم قرار گرفتند و سایر ژنوتیپ‌ها در خوشه‌های دوم و سوم جای گرفتند. براساس دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر در سطح تنش از مرحله خورجین‌دهی مشاهده شد که ژنوتیپ‌ها در چهار گروه مجزا از هم تفکیک شدند. ژنوتیپ‌های Opera، Zarfam، Licord، Okapi، Modena، L14 و HL3721 در خوشه اول جای گرفتند. در صورتی‌که ژنوتیپ HL2012 در خوشه چهارم قرار گرفت. صفات مورفولوژیک به‌سادگی و بادقت زیاد قابل‌اندازه‌گیری بوده و وراثت‌پذیری بالاتری دارند، پس بررسی این صفات و انتخاب براساس آن‌ها ممکن است راه مطمئن و سریعی برای غربال جوامع گیاهی و بهبود عملکرد باشد (۳۵). برای استفاده بهینه از پروژه‌های دورگ‌گیری در اصلاح‌نباتات باید والدین را با توجه به صفات موردنظر در فاصله مناسبی از هم انتخاب نمود، در این راستا برنر و همکاران (۹) اظهار داشتند که هر

چه فاصله والدین بیشتر باشد شانس به‌دست‌آوردن تنوع افزایش می‌یابد. بررسی تنوع بین ژنوتیپ‌های مختلف براساس صفات زراعی اهمیت ویژه‌ای دارد. در بررسی تنوع به‌طور معمول از تجزیه و تحلیل‌های چندمتغیره به‌منظور توصیف و ارزیابی مواد ژنتیکی جهت بهره‌گیری بهینه و مطالعه روابط داخلی بین صفات استفاده می‌شود (۲۰).



شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر مربوط به سطوح مختلف تنش کمبود آب در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا. A: بدون تنش، B: تنش از مرحله گلدهی و C: تنش از مرحله خورجین‌دهی

Figure 1. Dendrograms derived from cluster analysis related to different levels of water deficit stress in different rapeseed genotypes. A: Non stress, B: water stress from flowering stage and C: water stress from pod formation stages

براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین بین گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر برای صفات مختلف موردمطالعه در سطح بدون‌تنش، بیشترین میزان صفات طول خورجین (۷/۲۵۱ سانتی‌متر)، مساحت خورجین (۲۸/۳۷۰ سانتی‌متر مربع)، میزان رشد مطلق بوته (۰/۹۵۵ گرم روز)، عملکرد دانه (۳۹۹۶/۷۵۰ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت (۰/۲۳۳ درصد) در گروه سوم مشاهده شد (جدول ۲). در مقابل کمترین میزان صفات عملکرد بیولوژیک (۱۷۵۵۰ کیلوگرم در هکتار) در گروه دوم حاصل از تجزیه کلاستر مشاهده شد. همچنین کمترین میزان صفت شاخص برداشت مربوط به

گروه اول به‌میزان ۰/۲۱۰ درصد بود. قابل ذکر است که در سطح بدون‌تنش برای صفات ارتفاع گیاه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین واقعی به پتانسیل و میزان وزن هزاردانه اختلاف معنی‌داری بین سه گروه حاصل از تجزیه کلاستر مشاهده نشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین بین گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر برای صفات مختلف موردمطالعه در سطح بدون‌تنش
Table 2. Mean comparison between different groups of cluster analysis based on for different traits studied at non-stress level

صفات	گروه		
	اول	دوم	سوم
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) (x_1)	۱۲۴/۲۸^{a}	۱۲۶/۳۰^{a}	۱۲۸/۲۲^{a}
طول خورجین (سانتی‌متر) (x_2)	۶/۶۶^{b}	۶/۸۰^{b}	۷/۲۵^{a}
مساحت خورجین (سانتی‌متر مربع) (x_3)	۲۵/۵۷^{b}	۲۶/۷۳^{b}	۲۸/۳۷^{a}
تعداد خورجین در بوته (x_4)	۹۷/۹۴^{a}	۱۰۰/۰۰^{a}	۱۰۲/۷۲^{a}
تعداد دانه در خورجین (x_5)	۲۸/۲۰^{a}	۲۸/۶۴^{a}	۳۰/۳۹^{a}
نسبت تعداد خورجین واقعی به پتانسیل (x_6)	۰/۹۶^{a}	۰/۹۸^{a}	۰/۹۷^{a}
میزان رشد مطلق بوته (گرم روز) (x_7)	۰/۹۳^{b}	۰/۹۴^{b}	۰/۹۵^{a}
وزن هزار دانه (گرم) (x_8)	۳/۴۴^{a}	۳/۵۲^{a}	۳/۶۸^{a}
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (x_9)	۳۶۸۵/۵۰^{b}	۳۶۹۸/۵۰^{b}	۳۹۹۶/۷۵^{a}
عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) (x_{10})	۱۷۵۵۰/۰۰^{a}	۱۶۸۱۷/۷۰^{c}	۱۷۱۸۸/۸۱^{b}
شاخص برداشت (درصد) (x_{11})	۰/۲۱^{c}	۰/۲۲^{b}	۰/۲۳^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند

مقایسه میانگین بین گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر در سطح تنش از مرحله گلدهی نشان داد که بیشترین میزان شاخص برداشت (۰/۲۶۰ درصد)، عملکرد بیولوژیک (۹۳۲۵ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۲۴۵۹ کیلوگرم در هکتار)، میزان رشد مطلق بوته (۰/۴۹۰ گرم روز)، تعداد خورجین واقعی به پتانسیل (۰/۸۴۰)، تعداد دانه در خورجین مساحت خورجین (۸۲/۱۳۰) و طول خورجین (۶/۲۳۰ سانتی‌متر) در گروه چهارم مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین میزان وزن هزاردانه به‌میزان ۲/۷۱۰ و ۲/۷۳۲ گرم به‌ترتیب در گروه‌های سوم و چهارم مشاهده شد که با گروه دوم در یک سطح آماری قرار دارند. همچنین بیشترین میزان ارتفاع مربوط به گروه‌های اول، دوم و سوم بود. در مقابل کمترین میزان تعداد دانه در خورجین در گروه اول مشاهده شد. نتایج نشان داد که کمترین میزان صفات عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب به‌میزان ۱۸۸۶ و ۷۷۸۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به گروه دوم می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین بین گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر برای صفات مختلف مورد مطالعه در سطح تنش از مرحله گلدهی
Table 3. Mean comparison between different groups of cluster analysis based on different traits studied under water stress condition at flowering stage

صفات	گروه			
	اول	دوم	سوم	چهارم
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) (x_1)	۱۰۷/۳۷^{a}	۱۰۷/۸۰^{a}	۱۱۱/۲۸^{a}	۱۰۲/۳۰^{b}
طول خورجین (سانتی‌متر) (x_2)	۵/۲۸^{b}	۵/۴۴^{b}	۵/۷۳^{ab}	۶/۲۳^{a}
مساحت خورجین (سانتی‌متر مربع) (x_3)	۱۸/۲۳^{b}	۱۸/۶۹^{b}	۲۰/۴۳^{a}	۲۲/۰۳^{a}
تعداد خورجین در بوته (x_4)	۷۴/۳۱^{b}	۷۴/۲۵^{b}	۷۴/۸۹^{b}	۸۲/۱۳^{a}
تعداد دانه در خورجین (x_5)	۲۰/۸۲^{d}	۲۱/۸۵^{c}	۲۲/۷۳^{b}	۲۴/۱۱^{a}
تعداد خورجین واقعی به پتانسیل (x_6)	۰/۷۸^{b}	۰/۸۰^{b}	۰/۸۰^{b}	۰/۸۴^{a}
میزان رشد مطلق بوته (گرم روز) (x_7)	۰/۴۲^{b}	۰/۴۴^{b}	۰/۴۴^{b}	۰/۴۹^{a}
وزن هزار دانه (گرم) (x_8)	۲/۵۷^{b}	۲/۶۲^{ab}	۲/۷۳^{a}	۲/۷۱^{a}
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (x_9)	۱۹۴۷/۰۰^{c}	۱۸۸۶/۰۰^{c}	۲۱۲۱/۸۰^{b}	۲۴۵۹/۰۰^{a}
عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) (x_{10})	۸۲۶۳/۰۳^{c}	۷۷۸۶/۶۱^{d}	۸۶۷۳/۴۶^{b}	۹۳۲۵/۰۰^{a}
شاخص برداشت (درصد) (x_{11})	۰/۲۴^{b}	۰/۲۴^{b}	۰/۲۵^{ab}	۰/۲۶^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

مقایسه میانگین بین گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر برای صفات مختلف موردمطالعه در سطح تنش از مرحله خورجین‌دهی نشان داد که گروه چهارم در اکثر صفات مورد مطالعه بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است (جدول ۴). بیشترین میزان عملکرد دانه به‌میزان ۳۲۵۹ کیلوگرم در هکتار در گروه چهارم مشاهده شد. در مقابل کمترین میزان عملکرد مربوط به گروه‌های اول و دوم بود. از نظر صفت وزن هزاردانه بین گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر اختلاف

معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین قابل ذکر است که کمترین میزان صفت ارتفاع در گروه چهارم به‌میزان ۱۱۲/۲۰۰ سانتی‌متر مشاهده شد.

جدول ۴- مقایسه میانگین بین گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر برای صفات مختلف مورد مطالعه در سطح تنش از مرحله خورجین‌دهی
Table 4. Mean comparison between different groups of cluster analysis based on different traits under water stress condition at pod formation stage

صفات	گروه			
	اول	دوم	سوم	چهارم
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) (x_1)	۱۱۶/۱۴^{ab}	۱۱۴/۰۶^{ab}	۱۱۷/۹۶^{a}	۱۱۲/۲۰^{b}
طول خورجین (سانتی‌متر) (x_2)	۶/۲۰^{b}	۶/۱۴^{b}	۶/۵۱^{ab}	۶/۸۸^{a}
مساحت خورجین (سانتی‌متر مربع) (x_3)	۲۱/۸۸^{b}	۲۲/۰۱^{b}	۲۳/۸۸^{ab}	۲۵/۹۱^{a}
تعداد خورجین در بوته (x_4)	۸۵/۰۵^{b}	۸۴/۲۵^{b}	۸۶/۲۵^{b}	۹۳/۵۶^{a}
تعداد دانه در خورجین (x_5)	۲۴/۴۱^{b}	۲۴/۸۵^{b}	۲۵/۶۳^{ab}	۲۷/۱۱^{a}
تعداد خورجین واقعی به پتانسیل (x_6)	۰/۸۹	۰/۸۹^{b}	۰/۸۹^{b}	۰/۹۲^{a}
میزان رشد مطلق بوته (گرم روز) (x_7)	۰/۶۷^{b}	۰/۶۸^{b}	۰/۶۹^{b}	۰/۷۳^{a}
وزن هزار دانه (گرم) (x_8)	۲/۹۶^{a}	۲/۹۴^{a}	۳/۰۶^{a}	۳/۰۱^{a}
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (x_9)	۲۸۲۴/۸۵^{c}	۲۶۸۶/۰۰^{c}	۲۹۸۰/۶۶^{b}	۳۲۵۹/۰۰^{a}
عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) (x_{10})	۱۱۶۳۰/۸۵^{c}	۱۱۰۴۲/۲۲^{d}	۱۲۰۸۱/۸۸^{b}	۱۲۵۳۴/۶۱^{a}
شاخص برداشت (درصد) (x_{11})	۰/۲۴^{b}	۰/۲۴^{b}	۰/۲۴^{b}	۰/۲۶^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

گزارش شده است کلزاهای با ارتفاع بوته بیشتر با داشتن برگ زیادتر در طول ساقه و در نتیجه سطح فتوسنتزکننده بالاتر عملکرد بیشتری داشتند (۳۷) که با نتایج بدست آمده هم‌خوانی ندارد. در آزمایش حاضر بیشترین عملکرد دانه با ارتفاع کمتر همراه بوده است. هرچند ارتفاع بوته در زمان رسیدگی گیاه به‌عنوان یک فاکتور در واکنش گیاه نسبت به خشکی در نظر گرفته می‌شود، ولی اعتقاد بر این است که ارتفاع بوته به خودی خود اثر ویژه‌ای بر روابط آب در گیاه ندارد و بین ارتفاع مناسب برای شرایط تنش کمبود آب، با در نظرگرفتن سایر ملاحظات زراعی مورد توجه است (۷).

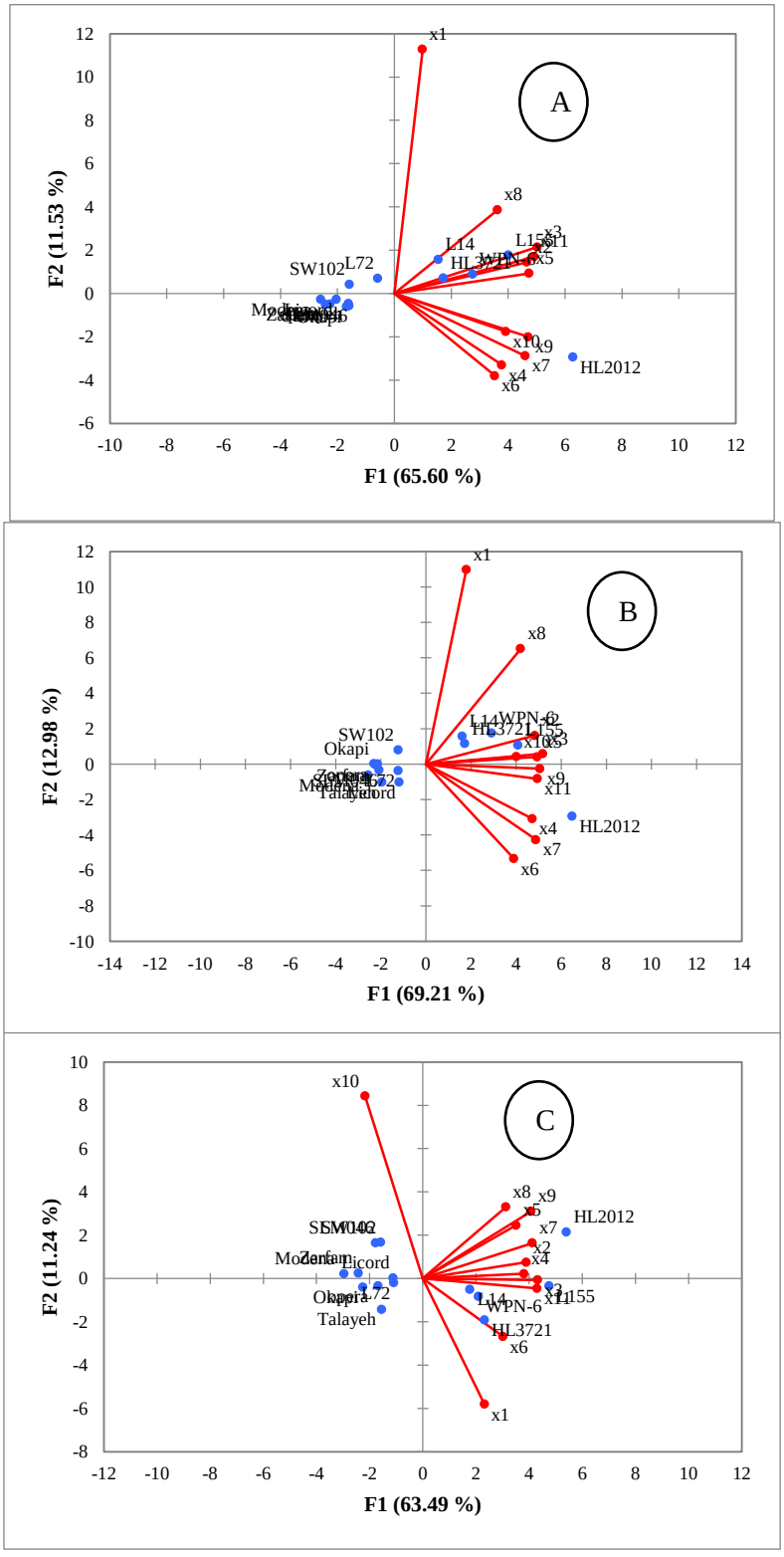
بر اساس تجزیه به مولفه‌های اصلی تعداد دو عامل در شرایط بدون‌تنش مشخص گردید که دارای مقدار ویژه بالاتر از یک بودند و این دو مولفه در مجموع توانستند ۷۴/۷۳ درصد از واریانس کل را توجیه نمایند (جدول ۵). مولفه اول به‌تنهایی ۶۳/۴۹ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص داد. در این مولفه صفات طول خورجین، مساحت خورجین، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، میزان رشد مطلق بوته، عملکرد دانه و شاخص برداشت از بیشترین میزان بار عامل در جهت مثبت برخوردار بودند. همچنین در مولفه دوم صفت عملکرد بیولوژیک بیشترین میزان بار عامل را در جهت مثبت به خود اختصاص داد. همچنین قابل ذکر است که مولفه دوم به‌تنهایی میزان ۱۱/۲۴ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص داد.

جدول ۵- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی براساس صفات مختلف مورد بررسی در شرایط بدون‌تنش، تنش از مرحله گلدهی و تنش از مرحله خورجین‌دهی

Table 5. The Results of principal component analysis based on different traits at non stress, stress at flowering stage water stress from pod formation stages

صفات	بدون تنش		تنش از مرحله گلدهی		تنش از مرحله خورجین‌دهی	
	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه اول	مولفه دوم
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) (x_1)	۰/۵۱	-۰/۵۴	۰/۱۹	۰/۹۱	۰/۳۳	۰/۸۷
طول خورجین (سانتی‌متر) (x_2)	۰/۸۶	۰/۰۷	۰/۹۰	۰/۱۱	۰/۸۹	۰/۱۲
مساحت خورجین (سانتی‌متر مربع) (x_3)	۰/۹۶	۰/۰۰	۰/۹۷	۰/۱۷	۰/۹۵	۰/۰۴
تعداد خورجین در بوته (x_4)	۰/۸۴	۰/۰۲	۰/۷۳	-۰/۲۶	۰/۸۷	-۰/۲۴
تعداد دانه در خورجین (x_5)	۰/۷۷	۰/۲۲	۰/۹۱	۰/۰۷	۰/۹۱	۰/۰۳
تعداد خورجین واقعی به پتانسیل (x_6)	۰/۶۷	-۰/۲۵	۰/۶۸	-۰/۳۰	۰/۷۲	-۰/۴۲
میزان رشد مطلق بوته (گرم روز) (x_7)	۰/۹۱	۰/۱۵	۰/۸۸	-۰/۲۳	۰/۹۰	-۰/۳۴
وزن هزاردانه (گرم) (x_8)	۰/۶۹	۰/۳۰	۰/۷۰	۰/۳۱	۰/۷۷	۰/۵۲
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (x_9)	۰/۹۰	۰/۲۸	۰/۹۱	-۰/۱۶	۰/۹۳	-۰/۰۲
عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) (x_{10})	-۰/۴۸	۰/۷۸	۰/۷۵	-۰/۱۴	۰/۷۴	۰/۰۳
شاخص برداشت (درصد) (x_{11})	۰/۹۵	-۰/۰۴	۰/۹۵	۰/۱۳	۰/۹۱	-۰/۰۶
مقدار ویژه	۶/۹۸	۱/۲۳	۷/۲۱	۱/۲۶	۷/۶۱	۱/۴۲
واریانس نسبی (٪)	۶۳/۴۹	۱۱/۲۴	۶۵/۵۹	۱۱/۵۳	۶۹/۲۱	۱۲/۹۸
واریانس تجمعی (٪)	۶۳/۴۹	۷۴/۷۳	۶۵/۵۹	۷۷/۱۲	۶۹/۲۱	۸۲/۱۹

نتایج مربوط به تجزیه به مولفه‌های اصلی در شرایط تنش از مرحله گلدهی تا حدودی با شرایط بدون‌تنش متفاوت بود. به‌طوری که دو مولفه اول که دارای مقداره ویژه بالای یک بودند میزان واریانس بیشتری را نسبت به شرایط بدون‌تنش نشان دادند. نتایج نشان داد که دو مولفه اول میزان ۷۷/۱۲ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص دادند که میزان ۶۵/۵۹ درصد مربوط به مولفه اول و میزان ۱۱/۵۳ درصد مربوط به مولفه دوم بود. در مولفه اول صفات طول خورجین، مساحت خورجین، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، عملکرد بیولوژیک، میزان رشد مطلق بوته، عملکرد دانه و شاخص برداشت بیشترین میزان بار عامل در جهت مثبت را دارا بودند. در مقابل در مولفه دوم صفت ارتفاع گیاه بیشترین میزان بار عامل در جهت مثبت را به خود اختصاص داد. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی در شرایط از مرحله خورجین‌دهی با دو سطح دیگر تنش متفاوت بود. به‌طوری‌که بیشترین میزان واریانس کل مربوط به این سطح از تنش بوده است. مولفه اول و دوم مجموعا ۸۲/۱۹ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص دادند. مولفه اول ۶۹/۲۱ درصد و مولفه دوم ۱۲/۹۸ درصد از واریانس کل را به‌تنهایی دارا بودند. در مولفه اول تمامی صفات به‌جز صفت ارتفاع گیاه دارای بار عامل بالا در جهت مثبت بودند. در صورتی که صفت ارتفاع گیاه در مولفه دوم بیشترین میزان بار عامل در جهت مثبت را به‌خود اختصاص داد. توزیع مکانی ژنوتیپ‌های مختلف بر اساس مولفه‌های اول و دوم در سطوح مختلف تنش در شکل ۲ نشان داده شد.



شکل ۲- نمودار بای‌پلات مربوط به مولفه‌های اول و دوم در سطوح مختلف تنش کمبود آب مربوط به ژنوتیپ‌های مختلف کلزا
(A: شرایط بدون‌تنش، B: تنش از مرحله گلدهی و C: تنش از مرحله خورجین‌دهی)

Figure 2. Biplot of the first and second components at different levels of water deficit stress related to different rapeseed genotypes A: Non stress, B: water stress from flowering stage and C: water stress from pod formation stages

در نمودار بای‌پلات ژنوتیپ‌های مختلف براساس دو مولفه موردنظر تفکیک می‌شوند. با توجه به این که در تجزیه به مولفه‌های اصلی، مولفه‌ها مستقل و غیرهمبسته هستند، ازاین‌رو نقش مهمی در شناسایی جنبه‌های مختلف صفات و گزینش ارقام در برنامه‌های اصلاح‌نباتات ایفا می‌کند (۱۹). عدم‌همبستگی این مولفه‌ها به یکدیگر به‌دلیل اندازه‌گیری جنبه‌های مختلف داده‌ها بسیار مفید است.

نتایج تجزیه همبستگی در شرایط بدون‌تنش نشان داد که صفت عملکرد با همه صفات موردمطالعه به‌جز صفات ارتفاع گیاه، تعداد خورجین واقعی به پتانسیل و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد (جدول ۶). در بین صفات موردمطالعه صفت‌های مساحت خورجین، شاخص برداشت و میزان رشد مطلق بوته بیشترین میزان همبستگی با عملکرد را دارا بودند. در شرایط بدون‌تنش، صفت مساحت خورجین با همه صفات به‌جز ارتفاع گیاه و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد. اما با اعمال تنش کمبود آب صفت عملکرد بیولوژیک نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد با صفت مساحت خورجین نشان داد.

جدول ۶- تجزیه همبستگی بین صفات مختلف مورد مطالعه در شرایط بدون‌تنش کم‌آبی

Table 6. Correlation analysis between different traits under no-stress

صفات	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) (x_1)	۱										
طول خورجین (سانتی‌متر) (x_2)	۰/۳۳	۱									
مساحت خورجین (سانتی‌متر مربع) (x_3)	۰/۴۴	۰/۹۴**	۱								
تعداد خورجین در بوته (x_4)	۰/۲۱	۰/۷۲**	۰/۷۹**	۱							
تعداد دانه در خورجین (x_5)	۰/۳۱	۰/۶۶*	۰/۶۵*	۰/۷۱**	۱						
تعداد خورجین واقعی به پتانسیل (x_6)	۰/۳۷	۰/۳۰	۰/۵۳*	۰/۷۴**	۰/۵۳*	۱					
میزان رشد مطلق بوته (گرم روز) (x_7)	۰/۴۳	۰/۷۷**	۰/۸۹**	۰/۷۶**	۰/۶۱*	۰/۶۴*	۱				
وزن هزار دانه (گرم) (x_8)	۰/۲۸	۰/۴۵	۰/۶۳*	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۴۳	۰/۷۲**	۱			
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (x_9)	۰/۳۹	۰/۷۹**	۰/۸۵**	۰/۶۸**	۰/۷۵**	۰/۴۲	۰/۸۴**	۰/۶۹**	۱		
عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) (x_{10})	-۰/۴۸	-۰/۴۲	-۰/۵۰	-۰/۴۰	-۰/۱۶	-۰/۴۴	-۰/۲۵	-۰/۱۲	-۰/۱۹	۱	
شاخص برداشت (درصد) (x_{11})	۰/۵۲	۰/۸۴**	۰/۹۲**	۰/۷۳**	۰/۷۱**	۰/۵۲	۰/۸۱**	۰/۶۴*	۰/۹۳**	-۰/۵۳*	۱

در شرایط تنش از مرحله گلدهی عملکرد دانه با همه صفات به‌جز صفات ارتفاع گیاه و تعداد خورجین واقعی به پتانسیل همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۷). بیشترین میزان همبستگی عملکرد دانه با صفات مساحت خورجین، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت مشاهده شد. در صورتی که در شرایط تنش از مرحله خورجین‌دهی عملکرد دانه با همه صفات به‌جز ارتفاع گیاه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۸). بیشترین میزان همبستگی بین عملکرد دانه با صفات مساحت خورجین، میزان رشد مطلق بوته، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت مشاهده شد. نتایج حاصل از تحقیقات پاسبان اسلام (۳۰) نشانگر آن است که حدود یک سوم وزن دانه در کلزا به وسیله فتوسنتز خورجین تامین می‌گردد، بین مساحت خورجین و عملکرد دانه در یک بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری گزارش شده است، بنابراین به‌نظر می‌رسد در مراحل گلدهی و پرشدن خورجین‌ها به‌ویژه در شرایطی که گیاه با محدویت آب مواجه است سطح خورجین به‌عنوان سطح فعال فتوسنتزی در پرکردن دانه‌ها از اهمیت ویژه ای برخوردار باشند. حسن‌زاده و همکاران (۱۷) وجود همبستگی مثبت و قوی بین ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی با عملکرد دانه در گیاه کلزا را گزارش کردند که با نتایج بدست آمده مطابقت نداشت.

جدول ۷- تجزیه همبستگی بین صفات مختلف مورد مطالعه در شرایط تنش از مرحله گلدهی

Table 7. Correlation analysis between different traits under water stress from flowering stage

صفات	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) (x_1)	۱										
طول خورجین (سانتی‌متر) (x_2)	۰/۳۵	۱									
مساحت خورجین (سانتی‌متر مربع) (x_3)	۰/۳۱	۰/۹۱**	۱								
تعداد خورجین در بوته (x_4)	۰/۱۴	۰/۶۸**	۰/۸۰**	۱							
تعداد دانه در خورجین (x_5)	۰/۳۰	۰/۸۸**	۰/۸۸**	۰/۷۳**	۱						
تعداد خورجین واقعی به پتانسیل (x_6)	۰/۰۰	۰/۴۶	۰/۶۰*	۰/۸۰**	۰/۵۸*	۱					
میزان رشد مطلق بوته (گرم روز) (x_7)	۰/۰۰	۰/۷۲**	۰/۸۶**	۰/۸۴**	۰/۸۳**	۰/۷۶**	۱				
وزن هزار دانه (گرم) (x_8)	۰/۶۷**	۰/۶۷**	۰/۷۷**	۰/۵۶*	۰/۶۹**	۰/۳۹	۰/۵۲	۱			
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (x_9)	۰/۲۶	۰/۷۹**	۰/۸۴**	۰/۷۷**	۰/۷۷**	۰/۶۵*	۰/۸۳**	۰/۷۰**	۱		
عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) (x_{10})	۰/۲۶	۰/۵۲	۰/۶۰*	۰/۵۹*	۰/۵۲	۰/۵۶*	۰/۶۴*	۰/۶۳*	۰/۹۱**	۱	
شاخص برداشت (درصد) (x_{11})	۰/۲۱	۰/۹۳**	۰/۹۲**	۰/۷۹**	۰/۸۹**	۰/۵۶*	۰/۸۳**	۰/۶۰*	۰/۸۰**	۰/۴۹	۱

جدول ۸- تجزیه همبستگی بین صفات مختلف مورد مطالعه در شرایط تنش از مرحله خورجین‌دهی
Table 8. Correlation analysis between different traits under water stress from pod formation stages

صفات	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) (x_1)	۱										
طول خورجین (سانتی‌متر) (x_2)	۰/۲۲	۱									
مساحت خورجین (سانتی‌متر مربع) (x_3)	۰/۳۴	۰/۹۳**	۱								
تعداد خورجین در بوته (x_4)	۰/۰۰	۰/۵۸*	۰/۶۶**	۱							
تعداد دانه در خورجین (x_5)	۰/۱۸	۰/۸۳**	۰/۹۰**	۰/۵۶*	۱						
تعداد خورجین واقعی به پتانسیل (x_6)	۰/۰۱	۰/۴۳	۰/۵۹*	۰/۶۶**	۰/۶۳*	۱					
میزان رشد مطلق بوته (گرم روز) (x_7)	-۰/۰۳	۰/۸۳**	۰/۸۱**	۰/۶۴*	۰/۷۷**	۰/۶۸**	۱				
وزن هزار دانه (گرم) (x_8)	۰/۳۰	۰/۵۲	۰/۶۶**	۰/۳۷	۰/۷۰**	۰/۳۲	۰/۴۹	۱			
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) (x_9)	-۰/۰۲	۰/۷۸**	۰/۸۳**	۰/۵۹*	۰/۷۷**	۰/۵۲	۰/۸۲**	۰/۶۶**	۱		
عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) (x_{10})	۰/۰۰	۰/۵۸*	۰/۷۰**	۰/۴۷	۰/۶۲*	۰/۴۳	۰/۵۸*	۰/۵۷*	۰/۸۸**	۱	
شاخص برداشت (درصد) (x_{11})	۰/۳۲	۰/۹۳**	۰/۹۷**	۰/۶۹**	۰/۸۶**	۰/۵۹*	۰/۸۴**	۰/۵۸*	۰/۸۰**	۰/۵۹*	۱

وقوع تنش خشکی در دو مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی باعث کاهش معنی‌دار در میزان رشد و عملکرد کلزا گردید. نتایج آزمایشات حاکی از آن است که در شرایط بدون‌تنش، ژنوتیپ‌های L155، L14، HL2012 و WPN6 عملکردهای قابل‌قبولی داشتند ولی در شرایط کمبود آب در مرحله گلدهی ژنوتیپ‌های WPN6، L155، SW102، L14 و HL3721 و در شرایط تنش از مرحله خورجین‌دهی ژنوتیپ HL2012 در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها با کسب عملکرد دانه به‌مراتب بالاتر از پایداری عملکرد نسبتاً بیشتری برخوردار بودند. به‌طور کلی در صورت محدویت منابع آب، آبیاری در مرحله گل‌دهی دارای اولویت بیشتری خواهد بود.

منابع

1. Ahmadi, M. and F. Javidfar. 1998. Oil canola plant nutrition, oily seeds committee in Tehra, 194 pp (In Persian).
2. Ahmadi, M. and M.J. Bahrani. 2009. Yield and yield components of rapeseed as influenced by water stress at different growth stages and nitrogen levels. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 5: 755-761.
3. Algan, N. and H. Aygun. 2001. Correlations between yield and yield components in some winter rape genotypes. Ziraat Fakultesi Dergisi, 38(1): 9-16.
4. Ali, N., F. Javidfar. J.Y. Elmira and M.Y. Mirza. 2003. Relationship among yield components and selection criteria for yield improvement in winter rapeseed (*Brassica napus* L.). Pakistan Journal of Botany, 35(2): 167-174.
5. Anjum, S.A., X. Xie, Y. Wang, L.C. Saleem, M.F. Man and C.W. Lei. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research, 6(9): 2026-2032.
6. Arshadi Bidgoli, M., H. Amiri, Oghan, H.M. Fotokian and B. Alizadeh. 2018. Evaluation of diversity and relationship among yield and yield components of rapeseed genotypes (*Brassica napus* L.). Journal of Crop Breeding, 10(27): 115-124.
7. Blum, A. and W.R. Jordan. 1985. Breeding crop varieties for stress environments. Critical Reviews in Plant Sciences, 2(3): 199-238.
8. Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. Science, 218(4571): 443-448.
9. Brenner, D.M., D.D. Baltensperger, P.A. Kulakow, J.W. Lehmann, R.L. Myers, M.M. Slabbert and B.B Sleugh. 2010. Genetic resources and breeding of Amaranthus. Plant Breeding Reviews, 19: 227-285.
10. Chaghakabiidi, Z., A.L. Zebarjadi and D. Kahrizi. 2011. Evaluation of rapeseed genotypes response to drought stress via callus culture. Agricultural biotechnology, 2: 49-57.
11. Champolivier, L. and A. Merrien. 1996. Effects of water stress applied at different growth stages to Brassica napus L. var. oleifera on yield, yield components and seed quality. European Journal of Agronomy, 5(3-4): 153-160.
12. Diepenbrock, W. 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. Field Crops Research, 67(1): 35-49.
13. FAO. 2016. Food outlook. Global Market Analysis. http://www.fao.Food outlook.com.
14. Faraji, A., N. Latifi, A. Soltani and A.H.S Rad. 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. Agricultural Water Management, 96(1): 132-140.

15. Golipoor, A., N. Latifi, K. Ghasemi Golezani, H. Aliary and M. Moghaddam. 2004. Comparison of growth and grain yield of rapeseed cultivars under rainfed conditions. Agricultural Journal of Science, Nature Resource, 11(1): 5-13 (In Persian).
16. Golldack, D., C. Li, H. Mohan and N. Probst. 2014. Tolerance to drought and salt stress in plants: unraveling the signaling networks. Frontiers in Plant Science, 5: 151.
17. Hassan-Zade, M., M.R. Naderi Darbaghshahi and A.H. Shirani Rad. 2005. Evaluation of drought stress effects on yield and yield components of autumn rapeseed varieties in Isfahan region. Iranian Journal of Research in Agriculture, 2(2): 51-62 (In Persian).
18. Hosseini, S.Z. 2016. Evaluation of drought tolerancein canola (*Brassica napus* L.) genotypes, using Biplot analysis. Journal of Crop Breeding, 8(19): 192-199.
19. Jahani, M., G. Nematzadeh and G. Mohammadi-Nejad. 2016. Assessment of genetic diversity through morphologic characteristics in rice genotypes. Electoronic Journal of Crop Production, 9: 181-198.
20. Johnson, D.E. 1998. Applied multivariate methods for data analysts. Duxbury Resource Center.
21. Khalili, M., M.R. Naghavi, A.P. Aboughadareh and S.J. Talebzadeh. 2012. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in spring canola cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of Agricultural Science, 4(11): 78.
22. Manly, F. 1986. Multivariate Statistical Methods. Chapman and Hall. 224p. Press. New York. USA, 455p.
23. Majidi, M.M., M. JafarzadehGhahdarijani, F. Rashidi and A. Mirlohi. 2016. Relationship of different traits in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under normal and drought conditions. Journal of Crop Breeding, 8(17): 55-65.
24. Mehrnia, S., B. Pasban Eslam and R. Mohsen. 2008. Effect of water deficit stress on pod characteristics in spring rapeseed. Journal of Research in Crop Sciences, 1(2): 25-34.
25. Mendham, N.J. and P.A. Salisbury. 1995. Physiology: Crop Development, Growth and Yield, Oilseeds, CAB International, Kimber, DS & McGregor, DI (ed), Wallingford Oxon OX10 8DE UK, pp. 11-64.
26. Mendham, N.J., J. Russell and G.C. Buzza. 1984. The contribution of seed survival to yield in new Australian cultivars of oil-seed rape (Brassica napus). The Journal of Agricultural Science, 103(2): 303-316.
27. Moradshahi, A., B. Salehi and B. Kholdebarin. 2004. Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) to water deficit stress under laboratory conditions. Iranian Journal of Science and Technology (Sciences), 28(1): 43-50.
28. Moradi, M., M. Soltani Hoveize and E. Shahbazi. 2017. Study the relations between grain yield and related traits in canola by multivariate analysis. Journal of Crop Breeding, 9(23): 187-194.
29. Norton, G., P.E. Bilsborrow and P.A. Shipway. 1991. Comparative physiology of divergent types of winter rapeseed. Organizing Committee, Saskatoon, 578-582.
30. Pasban Eslam, B., M. Shakiba, M. Nyshaburi, M. Moghadam and M. Ahmadi. 2000. Effect of water stress on quality and quantity traits of canola. Journal of Agricultural Science, 4: 75-85.
31. Pasban Eslam, B. 2009. Evaluation of physiological indices, yield and its components as screening techniques for water deficit tolerance in oilseed rape cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology, 11: 413-422.
32. Poma, I., G. Venezia and L. Gristina. 1999. Rapeseed (*Brassica napus* L. var. Oleifera DC) ecophysiological and agronomical aspects as affected by soil water availability. In Proc 10th International Rapeseed Congress, pp: 27-29.
33. Rastegar, M.A. 2005. Industrial plants cultivation, 469.
34. Reynolds, M.P., A.J. Pask, W.J. Hoppitt, K. Sonder, S. Sukumaran, G. Molero and F.G. Gonzalez. 2018. Correction to: Strategic crossing of biomass and harvest index-source and sink-achieves genetic gains in wheat. Euphytica, 214(1): 9.
35. Richards, R.A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. Plant Growth Regulation, 20(2): 157-166.
36. Ruttanaprasert, R., S. Joglov, N. Vorasoot, T. Kesmala, R.S. Kanwar, C.C. Holbrook and A. Patanothai. 2016. Effects of water stress on total biomass, tuber yield, harvest index and water use efficiency in Jerusalem artichoke. Agricultural Water Management, 166: 130-138.
37. Sinaki, J.M., E. Majidi Heravan, A.H. Shirani Rad, G. Noormohamadi and G. Zarei. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*B. napus* L.). American- Eurasian Journal of Agricultural, Environment Science, 2(4): 417-422.
38. Srinivasan, A. and D.G. Morgan. 1996. Growth and development of the pod wall in spring rape (*Brassica napus*) as related to the presence of seeds and exogenous phytohormones. The Journal of Agricultural Science. 127(4): 487-500.
39. Tardieu, F., T. Simonneau and B. Muller. 2018. The physiological basis of drought tolerance in crop plants: a scenario-dependent probabilistic approach. Annual review of Plant Biology, 69: 733-759.
40. Ullah, F., A. Bano and A. Nosheen. 2012. Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. Pakistan Journal of Botany, 44(6): 1873-1880.

Evaluation of Rapeseed's Different Genotypes Tolerance to Water Deficit Stress in East Azarbaijan Province

Amir Reza Sadeghi Bakhtvari[1], Bahman Ghahrmani Bektash[2], Bahman Pasban Eslam[3], Vahid Sarabi[2] and Saeid Hazrati[2]

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz-Iran, (Corresponding author: sadeghi.amir1@yahoo.com)
2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz-Iran
3- Department of Crop and Horticulture Science Research, East Azarbaijan, Agricultural and Natural Resources Research and Education Centers, AREEO, Tabriz, Iran
Recived: September 24, 2018 Accepted: May 13, 2019

Abstract

Drought is one of the most important abiotic stress factors worldwide that affects growth, development and final yield of crops. In order to evaluate the different genotypes of rapeseed under water stress conditions, an experiment was carried out as a split-plot design based on randomized complete block design (RCBD) with three replications. Three irrigation levels were applied in main plot included: non water stress, water stress from flowering stage and water stress from pod formation stages to growth of the seed and 14 different genotypes was in the sub factor. The results showed that there was a significantly variation among the genotypes based on the different traits studied at different levels of water stress. Water deficit stress reduced all studied traits except the harvest index. The cluster analysis of different genotypes of rapeseed based on UPGMA method at different levels non-stress, water stress from flowering stage and pod formation stage, distinguished genotypes in 3, 4 and 4 groups, respectively. In principal component analysis two factors was found at all levels of water stress, which had an eigenvalue higher than one. Pod length, pod area, number of pods per plant, number of seeds per pod, absolute growth rate, grain yield and harvest index at all stress levels were the highest factor load in the positive direction (1% level). In water stress at flowering stage level, grain yield showed significant correlation with all traits except plant height and number of actual pods to potential. The results of the experiments showed that in non-stress conditions, L155(3929 ha^{-1}), L14 (3947 ha^{-1}), HL2012 (3952 ha^{-1}) and WPN6 (4159 ha^{-1}) genotypes had suitable yields, but under water stress conditions at flowering stage WPN6 (2156 ha^{-1}), L155 (2158 ha^{-1}), SW102 (1983 ha^{-1}), L14 (2174 ha^{-1}) and HL3721 (2136 ha^{-1}) genotypes and under water stress at the pod formation stages, the genotype HL2012 (3295 ha^{-1}) had a significantly higher grain yield than that of other genotypes.

Keywords: Canola, Cluster analysis, Correlation, Principal component analysis, Water stress