ارزیابی واکنش مورفو-فیزیولوژیک ارقام تجاری کلزا (*Brassica napus* L.) به تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی در اقلیم اهواز

فاطمه پورنبی[۱]، محمدرضا سیاهپوش[۲*] و پیمان حسیبی[۳]

۱، ۲ و ۳) گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

نویسنده مسئول[*]: Siahpoosh@scu.ac.ir

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد می باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۶ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۸**

چکیده

کلزا یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه‌روغنی است که تولید آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور با چالش جدی تنش کم‌آبی مواجه است. به همین منظور، پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه آزمایشی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. عامل اصلی شامل دو سطح آبیاری (شاهد با دور آبیاری ۷ روزه و تنش کم‌آبی با دور آبیاری ۱۴ روزه از مرحله گل‌دهی) و عامل فرعی شامل پنج رقم تجاری هایولا۵۰، هایولا۴۸۱۵، هایولا۴۰۱، هایولا۶۱ و تراپر بود. در این تحقیق صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، عملکردی و درصد روغن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار ۲۵ درصدی هدایت روزنه‌ای، ۲۹ درصدی محتوای نسبی آب، ۲۴ درصدی ارتفاع بوته، ۴۴ درصدی تعداد شاخه بارور، ۱۶ درصدی عملکرد بیولوژیک، ۵۵ درصدی عملکرد دانه و ۹ درصدی درصد روغن شد. در مقابل، محتوای نسبی کلروفیل و دمای کانوپی به ترتیب ۱۸ و ۲۴ درصد افزایش یافت. تحلیل هیت‌مپ همبستگی صفات در شرایط نرمال و تنش نشان داد که علاوه بر بیوماس، صفات فیزیولوژیک هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه ارقام داشتند. همچنین براساس تحلیل‌های چندمتغیره، ارقام هایولا۶۱ و هایولا۵۰ با حفظ مقادیر بالاتر صفات فیزیولوژیک، عملکردی و درصد روغن، به‌عنوان متحمل‌ترین ارقام نسبت به تنش کم‌آبی معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: درصد روغن، دمای کانوپی، محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای .

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی جهان است که پس از سویا و پالم، مقام سوم تولید روغن خوراکی را دارا می‌باشد و به دلیل کیفیت بالای روغن، محتوای پروتئین مناسب در کنجاله و کاربردهای صنعتی، نقش کلیدی در امنیت غذایی و اقتصادی جوامع ایفا می‌کند (Elahi *et al.*, 2023). تولید جهانی کلزا در سال ۲۰۲۴ حدود ۸۷ میلیون تن برآورد شده است که کانادا، اتحادیه اروپا و چین بزرگ‌ترین تولیدکنندگان آن هستند (USDA, 2024). در ایران، توسعه کشت کلزا به منظور کاهش وابستگی به واردات روغن خوراکی در اولویت برنامه‌های کشاورزی قرار گرفته و سطح زیر کشت آن در سال‌های اخیر افزایش چشمگیری داشته است، بطوری‌که در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در استان خوزستان سطح زیر کشت کلزا حدود ۶۵۶۳۲ هکتار و میزان تولید آن ۱۲۳۷۵۷ تن گزارش شده و کماکان سطح زیر کشت و میزان تولید آن در مناطق مختلف رو به گسترش است (جشنی و همکاران، ۱۳۹۶; شیرانی‌راد و همکاران، ۱۳۹۸). با این حال، اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران همراه با تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی، محدودیت‌های جدی برای تولید پایدار کلزا ایجاد کرده است (زالی و همکاران، ۱۳۹۹). تنش کم‌آبی به عنوان اصلی‌ترین عامل محدودکننده عملکرد محصولات زراعی در مناطق خشک ایران، به ویژه در مرحله گلدهی که حساس‌ترین مرحله رشد کلزا است، باعث کاهش شدید عملکرد دانه، روغن و اجزای عملکرد می‌شود (پسندیده و همکاران، ۱۴۰۱؛ Ghobadi *et al*., 2006; Zhu *et al*., 2016). مطالعات نشان داده‌اند که قطع آبیاری در مرحله گلدهی می‌تواند ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه را تغییر دهد و عملکرد را به طور قابل توجهی کاهش دهد (جباری و همکاران، ۱۳۹۶). هیبریدهای تجاری کلزا مانند هایولا۵۰، هایولا۴۸۱۵، هایولا۴۰۱، تراپر و هایولا ۶۱ به دلیل برخورداری از قدرت هیبریدی بالا، عملکرد برتر و تحمل نسبی بهتر به تنش‌های محیطی، مورد توجه برنامه‌های اصلاحی قرار گرفته‌اند (Din *et al*., 2011). مطالعات متعددی واکنش ژنوتیپ‌های کلزا به تنش کم‌آبی را بررسی کرده و تفاوت‌های ژنتیکی قابل توجهی در تحمل ارقام گزارش نموده‌اند (فیاض و همکاران، ۱۴۰۴؛ Ashraf and Mehmood, 2007; Wan *et al*., 2009). از دیدگاه فیزیولوژیکی، تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده فرآیندهای متابولیکی گیاهان است که ابتدا بر تعادل آبی سلول‌ها تأثیر گذاشته و منجر به بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. این بسته شدن روزنه‌ها، هدایت روزنه‌ای را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد و در نتیجه، ورود CO_2 به برگ محدود شده و نرخ فتوسنتز خالص کاهش می‌یابد(Elferjani and Soolanayakanahally, 2018; McDormand et al., 2025). همزمان، محتوای کلروفیل به ویژه کلروفیل a و b به دلیل تخریب رنگدانه‌ها و آسیب به غشای تیلاکوئید کاهش یافته و شاخص کلروفیل پایین می‌آید که این امر کارایی فتوسنتزی را بیشتر مختل می‌کند (Rezayian *et al*., 2018; Khodabin *et al*., 2020). کاهش محتوای نسبی آب برگ نیز یکی از اولین پاسخ‌های گیاه به تنش است که منجر به از

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

دست رفتن تورژسانس سلولی و اختلال در گسترش سلولی می‌شود (Ayyaz *et al*., 2021; Abedi and Pakniyat, 2010). علاوه بر این، محدودیت تعرق به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، باعث افزایش دمای کانوپی (سطح برگ) می‌شود که این افزایش دما می‌تواند آسیب حرارتی غیرمستقیم ایجاد کرده و فرآیندهای فتوسنتزی را تشدید کند (Elferjani and Soolanayakanahally, 2018). این تغییرات در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه و روغن در این گیاه می‌شود. با توجه به شرایط کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک کشور این پژوهش با هدف ارزیابی پاسخ مورفو-فیزیولوژیک پنج رقم مهم تجاری کلزا (هایولا۵۰، هایولا۴۸۱۵، هایولا۴۰۱، تراپر و هایولا ۶۱) به تنش کم‌آبی اعمال‌شده در مرحله گلدهی تحت شرایط آب و هوایی اهواز اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه آزمایشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در جنوب غربی شهرستان اهواز، با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی، به ارتفاع ۲۰ متر از سطح دریا اجرا شد. قبل از کشت، برای ارزیابی خصوصیات خاک منطقه، آزمون خاک انجام شد. مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه گردیده است. هر چند تدابیر لازم جهت بکارگیری پوشش پلاستیکی هنگام بارندگی در تیمار کم آبی در نظر گرفته شده بود ولی کل میزان بارندگی سال اجرا در دوره گلدهی کلزا حدود ۱۵ میلی‌متر بود که اثر آن نادیده گرفته شد.

جدول ۱: مشخصات خاک مزرعه آزمایشی

عمق (سانتی‌متر)	اسیدیته	مواد آلی (درصد)	نیتروژن کل خاک (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰-۳۰	۷/۰۱	۰/۵۵	۰/۰۵	۱۰/۱۳	۱۸۳
۳۰-۶۰	۶/۸	۰/۶۳	۰/۰۵۳	۹/۰۴	۱۲۲

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. عامل اصلی شامل دو سطح آبیاری (آبیاری نرمال با دوره ۷ تا ۱۰ روزه به عنوان شاهد و تنش کم‌آبی با دوره ۱۴ تا ۱۶ روزه از مرحله گلدهی) و عامل فرعی شامل پنج رقم کلزای با تیپ رشدی بهاره (هایولا۵۰، هایولا۴۸۱۵، هایولا۴۰۱، هایولا ۶۱ و تراپر) بود. پس از آماده‌سازی زمین بر اساس آزمون خاک، کودهای پایه بر اساس فرمول کودی ۷۰:۱۰۰:۱۵۰ کیلوگرم در هکتار NPK از منابع اوره، سولفات پتاسیم و سوپرفسفات تریپل محاسبه و به خاک داده شد. کود اوره در سه مرحله بصورت ۵۰ کیلوگرم پایه، ۵۰ کیلوگرم در مرحله روزت و ۵۰ کیلوگرم در آغاز گلدهی اعمال گردید. کشت در ۱۴ آبان ۱۴۰۰ به صورت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

جوی و پشته با در نظر گرفتن دو خط کشت بر روی هر پشته و برای هر کرت چهار پشته ۷۵ سانتی‌متری در طول چهار متر و با تراکم ۸۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. برای جداسازی تیمارهای تنش آبیاری، سه پشته نکاشت بین تیمارها در نظر گرفته شد. آبیاری کرت‌ها بصورت کنترل شده با هیدروفلوم در شرایط نرمال در ۸ نوبت در شرایط تنش در ۵ نوبت صورت پذیرفت. در طی اجرای آزمایش مبارزه با علف‌های هرز بصورت دستی انجام شد. برداشت در بازه اواخر فروردین تا اوایل اردیبهشت ۱۴۰۱ انجام شد. قبل از برداشت نهایی، نمونه‌برداری از ده بوته تصادفی از هر کرت انجام شد و صفات مورفولوژیک شامل: ارتفاع بوته، قطر ساقه (میانگین قطر بوته از ۴-۵ سانتی‌متر بالای طوقه با کولیس)، تعداد شاخه فرعی بارور و نابارور، عملکرد بیولوژیک (توزین وزن خشک بوته‌های کف بر شده از دو متر مربع از وسط هر کرت، عملکرد دانه (جداسازی و توزین دانه‌های دو متر مربع از بوته‌های برداشت شده از وسط هر کرت)، شاخص برداشت (نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک) اندازه‌گیری شد. صفات فیزیولوژیک شامل: محتوای نسبی کلروفیل (با دستگاه SPAD Minolta, Japan) در چهار نقطه برگ پرچم پنج بوته تصادفی درهر کرت، هدایت روزنه‌ای (با دستگاه Porometer ELE, England) در ساعات ۱۵-۱۲ روی برگ توسعه‌یافته پنج بوته در هر کرت، دمای کانوپی (با دماسنج مادون قرمز MS 6530, Germany) در ساعت ۱۲، محتوای نسبی آب برگ[1] بر اساس روش Ritchie *et al*. (1990) چهار هفته بعد از اعمال تنش بر روی ارقام ارزیابی شدند.

قبل از انجام تجزیه واریانس صفات توزیع نرمال آنها با استفاده از آزمون شپیرو-ویلک مورد بررسی قرارگرفت. تجزیه واریانس بر اساس آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به کمک نرم‌افزار SAS version 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. تجزیه به مؤلفه‌ها اصلی (PCA^2) در این تحقیق به کمک نرم افزار SPSS version 22 و رسم نمودارها با برنامه‌ریزی در Python version 3.14 انجام شد.

نتایج و بحث

صفات فیزیولوژیک

تنش کم‌آبی در مرحله گل‌دهی، سبب کاهش ۲۶ درصدی هدایت روزنه‌ای در ارقام گردید و درصد کاهش در رقم هایولا ۴۰۱ بیش‌تر از سایر ارقام بود (جدول‌های ۳ و ۴). در شرایط شاهد بیش‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای در رقم هایولا ۵۰ و در تنش مربوط به رقم هایولا ۶۱ بود. همچنین رقم هایولا ۴۰۱ در شرایط شاهد و تنش کم‌ترین میزان را به خود اختصاص داد (نمودار ۱). در این تحقیق هدایت روزنه‌ای، یکی از صفات مهم برای گزینش ارقام به خشکی در کلزا بود بطوری‌که

[1] . Relative Water Content

[2] . Principal component Analysis

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

کاهش معنی‌دار این صفت در ارقام حساس نسبت به ارقام متحمل به خشکی مشاهده گردید که این موضوع در تحقیقات پیشین نیز به تایید رسیده است (Kandil *et al*. 2017). در نتایج مشابهی در برنج Ouyang *et al*. (2017) و پنبه Han *et al*. (2016) کاهش هدایت روزنه‌ای تحت تنش خشکی گزارش گردید. تجمع اسید آبسیزیک در سلول محافظ روزنه در اثر انتقال پیام از ریشه به برگ و کاهش محتوای نسبی آب برگ از مهم‌ترین دلایل بسته‌شدن روزنه در اثر تنش خشکی عنوان گردیده است (Steiner *et al.*, 2014)..

میزان صفت محتوای نسبی کلروفیل (شاخص سبزینگی) در شرایط تنش کم آبی افزایش یافت. در شرایط رطوبتی شاهد، رقم هایولا ۴۸۱۵ و در شرایط تنش، رقم هایولا ۵۰ بیش‌ترین مقدار شاخص سبزینگی را دارا بودند. کم‌ترین شاخص سبزینگی در تیمار شاهد و در شرایط تنش مربوط به رقم هایولا ۶۱ بود (نمودار ۱). به تایید نتایج تحقیق، Singh *et al*. (2002) گزارش کردند که کلروفیل در شرایط تنش خشکی نسبت به شاهد (تیمار آبیاری معمول) در کلزا و جنس براسیکا بیش‌تر است. دلیل افزایش محتوای کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی، کاهش سطح برگ و ضخیم‌شدن آن گزارش شده است.

با اعمال تنش کم آبی، محتوای نسبی آب برگ پرچم در مرحله گل‌دهی حدود ۳۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت که نشان از تنش نسبتا شدید در بین ارقام بوده است (جدول ۳). بیش‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ پرچم در شرایط تنش و شاهد مربوط به ژنوتیپ هایولا ۶۱ بود و کمترین این صفت در شرایط تنش کم‌آبی به رقم هایولا ۴۰۱ تعلق داشت (نمودار ۱). این صفت یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین‌کننده تغییرات آبی گیاه است و ژنوتیپ‌های متحمل، محتوای نسبی آب بیش‌تری در شرایط تنش، به خود اختصاص می‌دهند. محتوای نسبی آب، نقش مهمی در تنظیم هدایت روزنه‌ای و در نهایت سرعت فتوسنتزی گیاه و عملکرد دانه، دارد طبق گزارش ارائه شده کاهش محتوای نسبی آب از اولین آثار تنش خشکی بوده که موجب بسته‌شدن روزنه و کاهش میزان عملکرد می‌شود (Shaabani *et al*., 2009).

با اعمال تنش در مرحله گل‌دهی، میزان دمای برگ در شرایط تنش، افزایش ۲۴ درصدی نشان داد. نتایج آزمون مقایسه میانگین حاکی از افزایش دما در رقم حساس هایولا ۴۰۱ و کم‌ترین مقدار مربوط به رقم هایولا ۶۱ بود که نشان از تحمل بیشتر این رقم نسبت به ارقام دیگر می‌باشد (جدول ۳). در اثرات دو جانبه میان رقم و آبیاری نشان داده شد که رقم هایولا ۶۱ در شرایط شاهد و تنش کم‌ترین مقدار را دارا بود (نمودار ۱). افزایش دمای برگ در شرایط تنش خشکی، به دلیل بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق اتفاق می‌افتد که این امر باعث کاهش رشد رویشی و تجمع مواد ذخیره‌ای شده و در پی آن سطح برگ، ارتفاع گیاه و در نهایت عملکرد کاهش می‌یابد. اندازه‌گیری دمای برگ، روش متداول، سریع و مؤثر برای ارزیابی شدت تنش خشکی در گیاهان زراعی می‌باشد (Fanaei *et al*., 2009).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

صفات مورفولوژیک

بر اساس تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک اثر رقم، تنش آبی و برهمکنش آنها برای تمامی صفات معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار ۲۵ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شرایط کنترل گردید (جدول ۳). ارقام هایولا ۶۱ و هایولا ۴۰۱ در شرایط شاهد بالاترین ارتفاع را دارا بودند. علیرغم کاهش ارتفاع بوته در همه ارقام، هم‌چنان رقم هایولا ۶۱ بیش‌ترین مقدار را در شرایط تنش دارا بود و رقم هایولا ۴۰۱ کم‌ترین ارتفاع را در این شرایط به خود اختصاص داد (نمودار ۱). نتایج مقایسه میانگین قطر ساقه نشان داد که در محیط شاهد، قطر ساقه رقم هایولا ۶۱ و رقم هایولا ۴۸۱۵ بیش‌ترین میانگین را دارا بود (نمودار ۱). در شرایط تنش با توجه به کاهش قطر در همه‌ی ارقام، این صفت هم‌چنان در ارقام هایولا ۶۱ و هایولا ۵۰ بالاترین میانگین را داشت. همچنین نتایج آزمایش نشان داد که با تنش کم‌آبی از مرحله گل‌دهی تا پایان رسیدگی فیزیولوژیک در مقایسه با تیمار شاهد، قطر ساقه به میزان ۲۷ درصد کاهش یافت. کاهش آماس سلولی به دلیل کاهش محتوای آب سلول و کاهش مواد فتوسنتزی به دلیل بسته شدن روزنه‌های از عوامل اصلی کاهش ارتفاع بوته و قطر ساقه می‌باشد. در این راستا در تحقیقات پیشین گزارش شد که ارقام متحمل‌تر به کمک سازوکارهای فیزیولوژیک، هدایت روزنه‌ای و فشار تورژسانس خود را در سطح بالاتری نگه داشته و رشد طولی اندام‌ها کم‌تر کاهش می‌یابد (Sharifi *et al.* 2017; Hlavacova *et al*. 2018). در تحقیقی دیگر جمشیدی و همکاران (۱۳۹۱) اظهار داشتند، که کاهش ارتفاع بوته‌های کلزا، در مواجهه با شرایط تنش کم‌آبی، به دلیل اختلال در فتوسنتز و کاهش عرضه مواد فتوسنتزی به اندام‌های در حال رشد می‌باشد. همینطور تایید شده است که بین تعداد دفعات آبیاری و ارتفاع بوته همبستگی معنی‌دار وجود دارد (Noori *et al*. 2007). Qaderi *et al*. (2006) گزارش کردند، واکنش به کمبود آب به وسیله کوتاه و نازک‌شدن ساقه‌ها صورت می‌گیرد و Sangtarash *et al*. (2009) نشان دادند، که تنش خشکی در کلزا سبب کاهش قطر ساقه می‌شود.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکردی ارقام کلزا در شرایط نرمال آبیاری و تنش کم‌آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع ساقه	قطر ساقه	تعداد شاخه فرعی بارور	تعداد شاخه فرعی نابارور	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	محتوای نسبی کلروفیل	هدایت روزنه‌ای	محتوای نسبی آب برگ	دمای برگ
تکرار	۳	۲/۸۷	۰/۴۲	۱/۰۶	۰/۱۱۷	۹۰۸۷۳/۸	۵۸۴۳/۴	۰/۰۰۰۰۲۰	۱۴/۰۰۷	۶/۴۴	۰/۰۰۴	۲/۰۸۵
تنش کم‌آبی	۱	۱۰۰۳۰/۵**	۷۶/۳**	۱۴۱/۴**	۶/۹۶**	۲۰۹۲۲۱۴۶/۵**	۲۱۱۵۷۴۸۹/۶**	۰/۱۷۳**	۷۴۰/۰۹**	۷۴۳۷۵/۱**	۰/۵۸۶**	۳۴۱/۹**
خطای اصلی	۳	۱/۰۳	۰/۰۰۹	۰/۳۵۵	۰/۰۷۷	۱۵۶۱۷۶/۲	۳۰۴۸/۴	۰/۰۰۰۱۴۴	۱۰/۹	۳۳/۵	۰/۰۰۰۶	۲/۰۹۱
رقم	۴	۱۱۶۰/۶**	۶/۵۸**	۱۵/۶**	۳/۱۶**	۱۶۲۸۳/۳۳**	۱۲۷۲۵۶۵/۵**	۰/۰۰۰۳۳**	۵۱۰/۲**	۴۶۱۶/۲**	۰/۱۰۳**	۳/۹۷۱**
رقم×تنش کم‌آبی	۴	۴۲۸/۱**	۱/۱۹*	۴/۹۲**	۲/۸۶**	۴۲۲۴۹۶۲/۹۹**	۵۴۷۷۱۸/۶**	۰/۰۰۰۶۰۶**	۴۲/۴**	۷۳۰/۵**	۰/۰۰۸*	۱/۱۲۳*
خطای کل	۲۴	۹/۸۳	۰/۳۵	۰/۹۸۳	۰/۰۹۶	۱۵۰۸۶۳/۹	۶۵۸۱/۰۴	۰/۰۰۰۰۳۵	۵/۱۶	۲۳/۵	۰/۰۰۳۱	۶/۷۱۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۷/۲۱	۶/۶۲	۱۴/۴	۱۱/۸۹	۶/۵۴	۹/۴۱	۷/۲۰	۵/۳	۶/۱۱	۷/۷۹	۴/۲۴

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

جدول ۳: مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکردی برای شرایط آبیاری و ارقام مختلف

تیمار	ارتفاع ساقه (سانتی‌متر)	قطر ساقه (میلی‌متر)	تعداد شاخه فرعی بارور	تعداد شاخه فرعی نابارور	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (٪)	محتوای نسبی کلروفیل	محتوای نسبی آب برگ (٪)	هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)	دمای برگ (درجه سانتی‌گراد)
شاهد	۱۳۱/۳a	۱۰/۳a	۸/۷a	۲/۲b	۹۲۲۶/۸a	۲۶۵۹/۶a	۲۸/۶a	۳۸/۳b	۸۳/۲a	۳۴۳/۱a	۱۸/۷b
تنش	۹۹/۶b	۷/۵۵b	۴/۹b	۳/۰۳a	۷۷۸۰/۴b	۱۲۰۵/۴b	۱۵/۵b	۴۶/۹a	۵۹b	۲۵۶/۹b	۲۴/۵a
ارقام											
هایولا ۵۰	۱۲۱/۰۹b	۸/۹۶b	۵/۲۵c	۱/۷۵c	۱۰۱۱۵/۶a	۲۴۲۸/۵a	۲۲/۶ab	۴۸/۸ab	۷۵/۳b	۳۲۱/۶a	۲۱/۶bc
هایولا ۴۸۱۵	۱۰۲/۸d	۸/۷۹b	۸/۸۹a	۳/۳۷a	۸۱۸۳/۳b	۱۷۷۶/۱c	۲۱/۵c	۵۰/۱۸a	۶۳/۸cd	۲۹۷/۲b	۲۱/۷b
هایولا ۴۰۱	۱۱۲/۱c	۷/۹c	۶/۴۲bc	۲/۴۱b	۷۰۳۲/۵c	۱۵۳۳/۶d	۲۱/۴c	۴۶/۱۵b	۵۷/۷d	۲۷۰/۸ c	۲۲/۷a
تراپر	۱۰۷/۸c	۸/۶۲bc	۶/۲۲bc	۳/۰۶a	۷۳۱۶/۵c	۱۶۴۱/۳d	۲۱/۹bc	۳۳/۹c	۷۱bc	۲۸۹/۰۲b	۲۱/۲bc
هایولا ۶۱	۱۳۳/۴a	۱۰/۳a	۷/۵۷ab	۲/۴۷b	۹۸۷۰/۱a	۲۲۸۲/۲b	۲۲/۹a	۳۴/۱c	۸۷a	۳۲۷/۹a	۲۰/۹c

حروف انگلیسی متفاوت در هر ستون اختلاف آماری معنی‌دار در بین میانگین‌ها در سطح احتمال خطای ۱ درصد را نشان می‌دهد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

در این پژوهش مشخص شد که با تنش کم‌آبی از مرحله گل‌دهی تا برداشت، تعداد شاخه‌های فرعی بارور در ارقام کلزا به میزان ۴۴ درصد نسبت به تیمارهای شاهد کاهش پیدا کرد. نتایج آزمون مقایسه میانگین بیانگر آن بود که درشرایط کاهش رطوبت، بیش‌ترین میانگین در شاخه فرعی بارور، مربوط به ارقام هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۶۱ می‌باشد (نمودار ۱)، همچنین در شاخه فرعی غیر بارور که در اثر کاهش یا عدم توانایی گیاه در انتقال مواد فتوسنتزی به ساقه برای تشکیل خورجین و تولید دانه ایجاد می‌شود، رقم تراپر و رقم هایولا ۴۸۱۵ بیش‌ترین میزان شاخه فرعی غیر بارور را به خود اختصاص دادند. کاهش در تعداد شاخه فرعی بارور تحت اثر کم آبیاری در مرحله گل‌دهی در کلزا در تحقیقات پیشین نیز گزارش شده و کاهش ترکیبات فتوسنتزی و مواد ذخیره‌ای در ساقه را دلیل اصلی آن گزارش نموده‌اند (Hassan-Zade *et al*.,2005; Kandil, *et al*., 2017)

عملکرد بیولوژیک (بیوماس) با اعمال تنش در مرحله گل‌دهی نسبت به تیمار شاهد ۲۲ درصد کاهش یافت (جدول۳). در نتایج مشابهی Sinaki *et al*. (2007) گزارش کردند که تنش کم‌آبی در طی مرحله گل‌دهی تا رسیدگی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک می‌شود. نتایج مقایسه میانگین گویای آن بود که بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک، مربوط به ارقام هایولا ۵۰ و هایولا ۶۱ بود و رقم هایولا ۴۰۱ کم‌ترین میزان را به خود اختصاص داد (نمودار ۱). کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش آبی به دلیل حساسیت این گیاه به تنش رطوبتی در مرحله گل‌دهی می‌باشد که ناشی از پیری و ریزش برگ گیاه است، همچنین از دلایل کاهش عملکرد بیولوژیک رقم هایولا ۴۰۱ نسبت به سایر ارقام مورد آزمایش، حساسیت بیشتر این رقم نسبت به کم‌آبی است (Sepanlo *et al*., 2014).

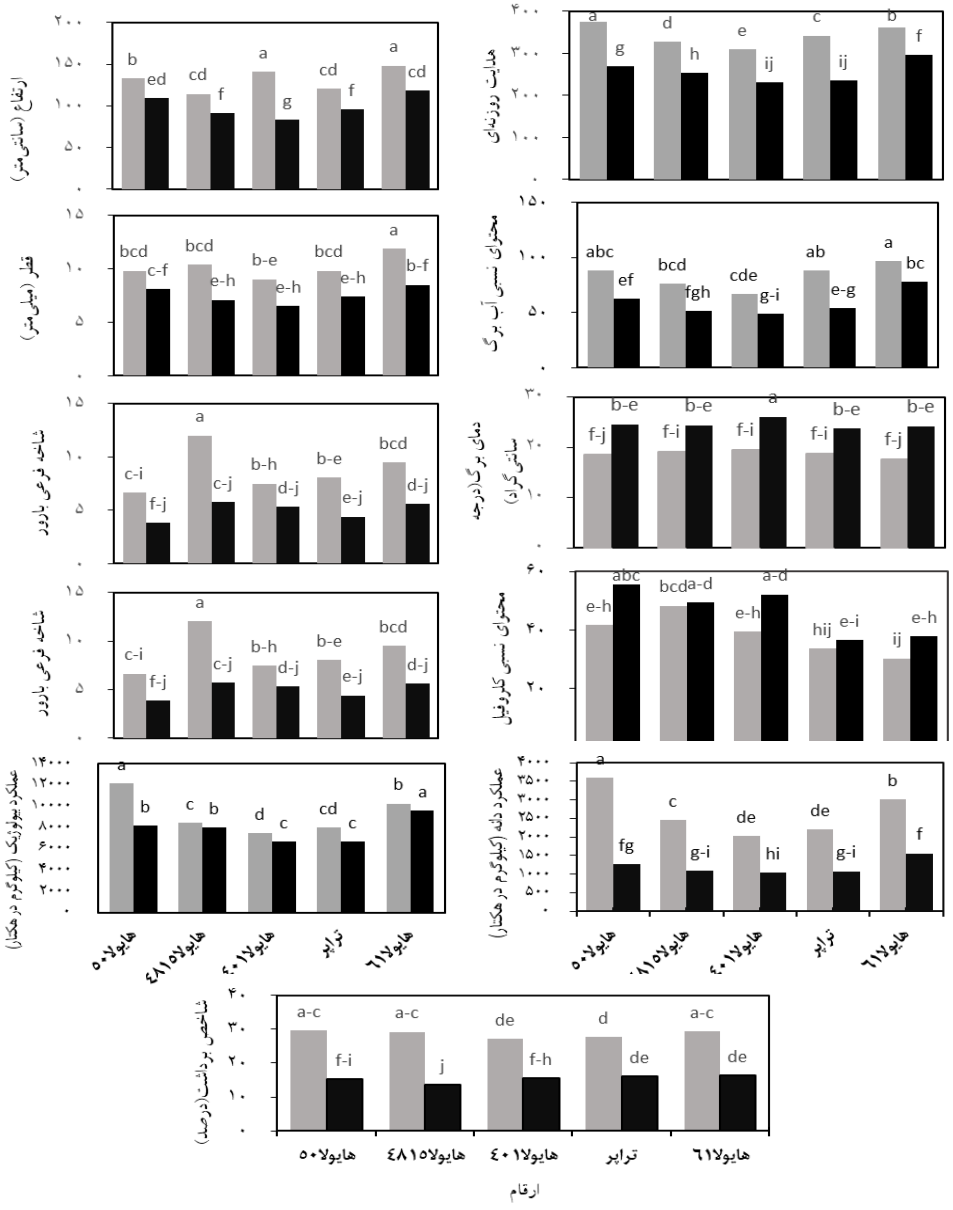
صفات عملکردی

از نظر عملکرد دانه نتایج مقایسه میانگین اثرات دوجانبه تنش و شاهد حاکی از آن بود که رقم هایولا ۵۰ و پس از آن رقم هایولا ۶۱ بیش‌ترین عملکرد را در بین ارقام آزمایش شده دارا بودند، در شرایط تنش، علیرغم کاهش میانگین عملکرد در تمامی ارقام، همچنان رقم هایولا ۶۱ بیش‌ترین مقدار را دارا بود (جداول ۳ و ۴) که بیانگر تحمل بیشتر این رقم نسبت به تنش کم آبی به واسطه تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین بالای این رقم در شرایط تنش نسبت به سایر ارقام گزارش شده است (Angadi *et al*., 2003). در آزمایشات دیگر نشان داده شد که کاهش آبیاری در مرحله خورجین‌دهی و گل‌دهی به ترتیب سبب کاهش ۳۳ و ۵۸ درصدی عملکرد دانه می‌شود (Ghasemian Ardestani *et al*., 2020).

با اعمال تنش کم‌آبی میزان شاخص برداشت نسبت به شرایط شاهد بیش از ۴۵ درصد کاهش یافت. باتوجه به نتایج آزمون مقایسه میانگین مشخص شد، بیش‌ترین شاخص برداشت در شرایط شاهد، به ترتیب مربوط به ارقام هایولا ۵۰، هایولا ۶۱ و هایولا ۴۸۱۵ می‌باشد و این ارقام در یک گروه آماری قرار گرفتند و در شرایط تنش خشکی، ارقام هایولا ۶۱ و تراپر

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

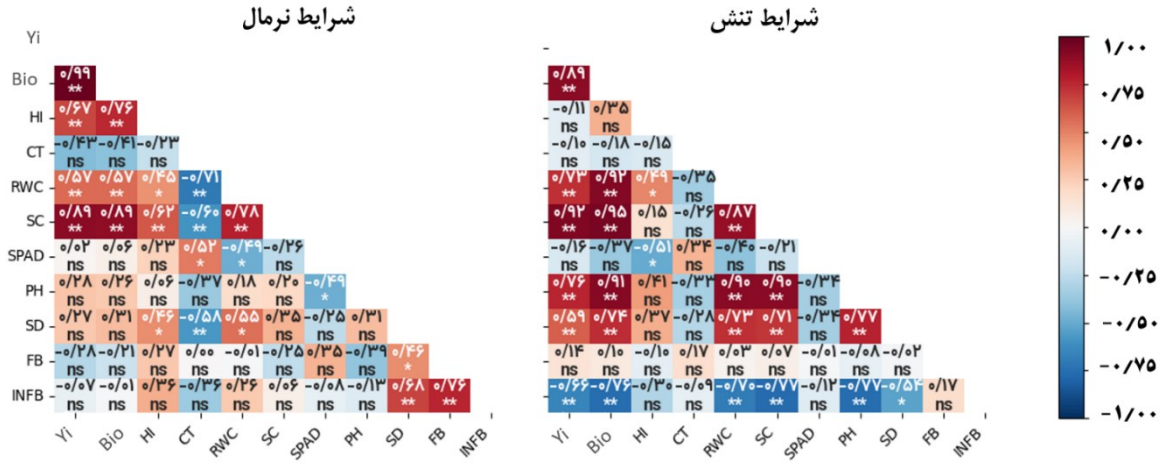
بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص دادند و رقم هایولا ۴۸۱۵ کم‌ترین میزان را دارا بود (جدول ۴). علت کاهش درصد شاخص برداشت در شرایط کاهش رطوبتی، به دلیل کاهش بیش‌تر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیکی است که در یک نتیجه‌گیری مشابه در تحقیقات گذشته بر روی کلزا گزارش شده است (Shirani Rad and Sharghi, 2011). بعلاوه محققین اظهار کردند که در شرایط تنش دلیل بالا بودن درصد این صفت در ارقام متحمل، توان بالای آن‌ها در انتقال هرچه بیش‌تر مواد فتوسنتزی به سمت دانه و افزایش تعداد خورجین و دانه در خورجین در گیاه است (Khayat Moghaddam *et al*., 2022).



شکل ۱: مقایسه میانگین برهم‌کنش ارقام در تیمار آبیاری نرمال (خاکستری) و تنش کم آبی (سیاه) برای صفات مختلف همبستگی بین صفات و گروه‌بندی ارقام

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

نقشه حرارتی همبستگی صفات در دو شرایط کنترل و تنش خشکی در نمودار ۲ ارائه گردیده است. همبستگی بین عملکرد دانه با صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک در واکنش به محدودیت آب تغییرات معنی‌داری دارد بطوری‌که همبستگی‌ها در شرایط کنترل بیشتر مثبت و قوی بودند، در حالی‌که در شرایط تنش کم آبی برخی همبستگی‌ها کاهش یا جهت متفاوتی پیدا کردند که بیانگر تغییر الگوی سازگاری گیاه است. این رفتار در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است (Farooq *et al.*, 2009). بر اساس نتایج حاصل، عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش به عملکرد بیولوژیک (بیوماس) همبستگی مثبت معنی‌داری داشت. در نتایج مشابهی Ivanovska *et al.* (2007) بیان داشتند، که افزایش عملکرد بیولوژیک نقش موثری در بهبود عملکرد دانه دارد. میان عملکرد دانه و صفات مورفولوژیک ارتفاع و قطر بوته همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در شرایط تنش مشاهده شد. Noori *et al.* (2007) اعلام کردند که تنش کم‌آبی سبب نازک و کوتاه شدن ساقه می‌شود، به عبارت دیگر هرچه گیاه در شرایط تنش، قطر و ارتفاع و تعداد برگ بیش‌تری داشته باشد، از عملکرد دانه بالاتری برخوردار خواهد بود و با افزایش منابع ذخیره‌ای در این اندام‌ها، عملکرد دانه در شرایط تنش کم‌تر کاهش پیدا می‌کند. در نتایج این آزمایش نشان داد که در هر دو شرایط نرمال و تنش، عملکرد دانه با صفات فیزیولوژیکی هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد داشت هر چند که این همبستگی در شرایط تنش شدیدتر بود که نشان دهنده نقش مهم نگهداری محتوای آب در ارقام جهت تحمل به تنش رطوبتی می‌باشد. افزایش هدایت روزنه‌ای و فشار تورژسانس در شرایط تنش رطوبتی، سبب افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی و شیره پرورده به سمت دانه و افزایش عملکرد دانه می‌شود که این موضوع به تایید تحقیقات پیشین رسیده است (Kandil *et al.* 2017).



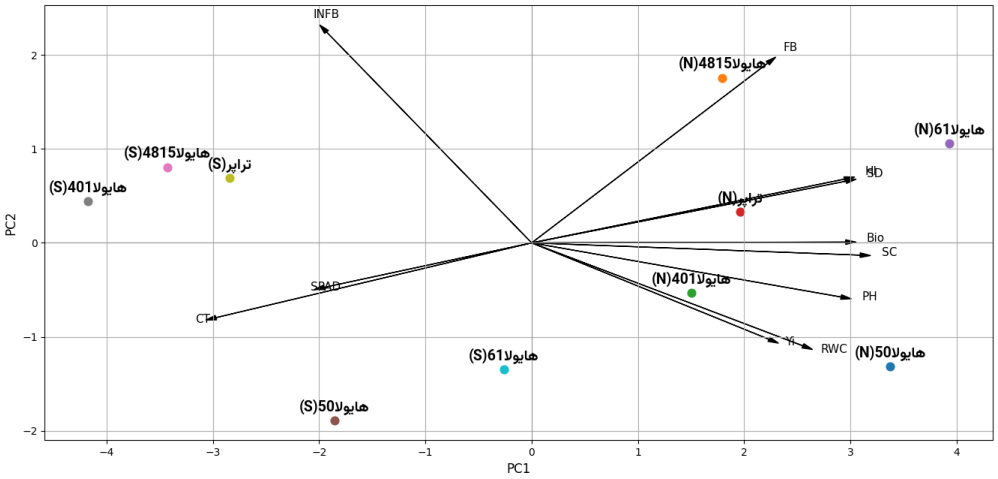
شکل ۲: نقشه حرارتی همبستگی صفات مورفو-فیزیولوژیک و عملکردی در دو شرایط نرمال (کنترل) و تنش کم آبی

عملکرد دانه:Yi، عملکرد بیولوژیک: Bio، شاخص برداشت: HI، دمای کانوپی: CT، محتوای نسبی آب:RWC، هدایت روزنه‌ای:SC، محتوای نسبی کلروفیل:SPAD، ارتفاع بوته:PH، قطر ساقه: SD، شاخه بارور:FB و شاخه نابارور: INFB

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکردی اندازه‌گیری‌شده در نمودار ۳ ارائه گردیده است. مولفه اصلی اول (PC1) و دوم (PC2) به ترتیب بیش از ۶۰٪ و ۲۰٪ از واریانس کل داده‌ها را توجیه کردند. بای‌پلات PCA نشان‌دهنده گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها تحت دو شرایط آبیاری است، جایی که N بیانگر شرایط نرمال (شاهد) و S بیانگر شرایط تنش رطوبتی است. ژنوتیپ‌های تحت شرایط نرمال (N_Hyola 401، N_Hyola 4815، N_Traper، N_Hyola 50، N_Hyola61) عمدتاً در سمت راست مثبت PC1 گروه‌بندی شدند، در حالی که ژنوتیپ‌های تحت تنش (S_Hyola 401، S_Hyola 4815، S_Traper، S_Hyola 50، S_Hyola61) در سمت چپ منفی PC1 قرار گرفتند. این گروه‌بندی بیانگر تفاوت‌های معنی‌دار در پاسخ ژنوتیپ‌ها به تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی است، بطوری‌که ارقام در شرایط نرمال نزدیک‌تر به بردارهای صفات عملکردی مثبت قرار گرفتند. در گروه تنش (S)، ژنوتیپ هایولا ۶۱ و هایولا ۵۰ در شرایط تنش (S_Hyola61، S_Hyola 50) کمی دورتر از سایر ارقام در شرایط تنش (S) قرار گرفته و نزدیک‌تر به سمت راست مثبت PC1 است، که نشان‌دهنده تحمل نسبی بالاتر نسبت به سایر ارقام در شرایط تنش می‌باشد، در حالی که هایولا ۴۰۱، هایولا ۴۸۱۵ و تراپر (S_Hyola 401 ، S_Hyola 4815 و S_Traper) نزدیک‌تر به بردار منفی مانند دمای کانوپی (CT)، محتوای نسبی کلروفیل (SPAD) و تعداد شاخه‌های نابارور (INFB) قرار دارند و حساس‌تر می‌باشند. تجزیه PCA نشان داد که شرایط تنش رطوبتی (S) الگوی توزیع صفات را تغییر می‌دهد و ژنوتیپ‌های تحت شرایط نرمال (N) مانند N_Hyola61 و N_Hyola 50 با نزدیکی به بردارهای عملکرد و فیزیولوژیک مثبت، کارایی بالاتری نشان می‌دهند (نمودار ۳)، که بیانگر سازگاری این ژنوتیپ‌ها در شرایط ایده‌آل از طریق بهینه‌سازی فتوسنتز و تعادل آبی است (Elahi *et al*., 2023). گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در PCA تأکید می‌کند که تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی (که حساس‌ترین مرحله است) واریانس را بیشتر در مولفه اول متمرکز می‌کند، که عمدتاً به صفات فیزیولوژیک مانند RWC و SC مرتبط است و نقش آن‌ها در تمایز ژنوتیپ‌ها را برجسته می‌کند (Ghobadi *et al*., 2006). هم‌جهتی وکتورهای Yield و Biomass با ژنوتیپ‌های نرمال (N)، نشان‌دهنده حفظ بازده در شرایط بدون تنش است، اما ژنوتیپ‌های تحت تنش (S) با موقعیت نزدیک به CT و INFB، پتانسیل کاهش عملکرد را نشان می‌دهند که این موضوع برای برنامه‌های اصلاحی مفید است (Din *et al*., 2011). همبستگی مثبت CT با صفات تنش (S)، تأثیر حرارتی کمبود آب را تأیید می‌کند لذا گزینش بر اساس کاهش دمای کانوپی در شرایط تنش پیشنهاد می‌شود (McDormand *et al*., 2025).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

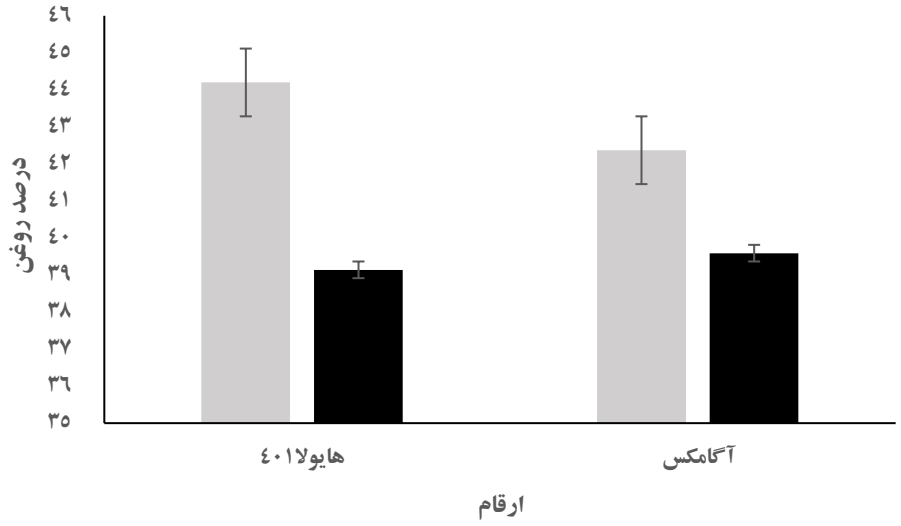


شکل ۳: بای‌پلات تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) دو مولفه اول ارقام کلزا در شرایط آبیاری بهینه (N) و تنش کم آبی (S) همراه با بردارهای صفات مورفو-فیزیولوژیک و عملکرد (واریانس مؤلفه اول ۶۰ درصد و مؤلفه دوم ۲۰ درصد برآورد گردید)

تأثیر تنش کم‌آبی بر درصد روغن

به منظور بررسی تغییرات درصد روغن دانه تحت تنش کم آبی میزان درصد روغن در رقم متحمل هایولا ۶۱ و رقم حساس هایولا ۴۰۱ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس در این صفت نشان داد که هر چند اختلاف آماری معنی‌دار در سطح یک درصد بین شرایط نرمال و تنش کم آبی مشاهده شد ولی اثر رقم و اثر متقابل رقم در تنش معنی‌دار نبود (جدول آورده نشده است). میانگین درصد روغن ارقام در شرایط مختلف رطوبتی در نمودار ۴ نمایش داده شده است. دامنه تغییرات درصد روغن بین ۳۹/۱۴ در رقم هایولا ۴۰۱ در شرایط تنش تا ۴۴/۲ درصد در همان رقم بود. تنش کم آبی موجب کاهش معنی‌دار روغن گردید. این کاهش در رقم متحمل هایولا ۶۱، ۷ درصد و در رقم حساس هایولا ۴۰۱ حدود ۱۳ درصد برآورد شد که نشان دهنده تأثیرپذیری کمتر ارقام متحمل نسبت به ارقام حساس در شرایط تنش رطوبتی است. منطبق با نتایج این تحقیق کاهش درصد روغن کلزا تحت تنش رطوبتی توسط محققین دیگر گزارش شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۰). کاهش درصد روغن دانه تحت تنش کم‌آبی عمدتاً به دلیل اختلال در فرآیند فتوسنتز و کاهش محتوای کلروفیل است که منجر به کاهش تجمع کربوهیدرات‌ها به عنوان پیش‌ساز لیپیدها می‌شود (Ghobadi *et al*., 2006). همچنین، تنش آبی باعث افزایش تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر و پراکسیداسیون لیپیدها می‌گردد که سنتز و کیفیت اسیدهای چرب را کاهش می‌دهد و محتوای روغن را پایین می‌آورد (Ullah *et al*., 2012).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]



شکل ۴: مقایسه میانگین درصد روغن ارقام هایولا ۶۱ (متحمل) و هایولا ۴۰۱ در شرایط نرمال (خاکستری) و تنش کم‌آبی (سیاه)

نتیجه گیری کلی

این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی، به عنوان حساس‌ترین مرحله رشد کلزا، باعث کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیک (مانند ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی بارور) و فیزیولوژیک (مانند هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ) و در نتیجه عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و درصد روغن دانه می‌شود. ارقام هایولا ۶۱ و هایولا۵۰ با حفظ مقادیر بالاتر هدایت روزنه‌ای، محتوای آب برگ، عملکرد دانه و درصد روغن تحت تنش، به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند، در حالی که هایولا۴۰۱ و تراپر حساس‌تر بودند. تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) این تمایز را تأیید کرد و نشان داد که صفات فیزیولوژیک نقش کلیدی در گروه‌بندی ارقام تحت تنش دارند. همبستگی‌های مثبت بین عملکرد دانه با هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب تحت تنش، اهمیت این صفات در مکانیسم‌های تحمل را برجسته کرد.

یافته‌های این تحقیق بر کاهش شدید عملکرد دانه در شرایط تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی تأکید داشت و نشان داد که پایداری تولید کلزا در مناطق خشک و نیمه خشک کشور، جایی که کمبود آب در مرحله گلدهی چالش اصلی تولید کلزا است، نیازمند دستیابی به ارقام متحمل به خشکی است. پیشنهاد می‌شود برنامه‌های اصلاحی تولید ارقام متحمل به خشکی در کلزا علاوه بر عملکرد و اجزای عملکرد بر گزینش بر اساس صفات فیزیولوژیک، بویژه هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب تمرکز یابد و بعلاوه بررسی بیان ژن‌های مرتبط با تحمل (مانند RAB18 و ERD10) و تنش‌های ترکیبی (خشکی و گرما) مدنظر قرار گیرند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا گردیده است و بدینوسیله صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

منابع

احمدی، ع.، قرینه، م.، بخشنده، ع.، فتحی، ق.، و نادری، ا. (۱۳۹۰). مطالعه‌ی اثر تنش خشکی انتهایی(پایان فصل رشد) بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد، درصد روغن، درصد پروتئین و خصوصیات رشدی ریشه کلزا در شرایط آب و هوایی اهواز. مجله تولیدات گیاهی. ۳۴: ۵۳-۶۶.

پسندیده، م.، رجایی، م.، و زینل زاده تبریزی، ح. (۱۴۰۱). تاثیر محرک‌های رشد گیاهی در افزایش تحمل گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) به تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۵(۴):۱۰۲۳-۱۰۳۵.

جباری، ح.، خوش خلق سیما، ن.، و شیرانی راد، ا.ح. (۱۳۹۶). تغییرات ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه در ارقام پاییزه کلزا در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۳۰(۲):۶۶-۸۱.

جشنی، ر.، فاتح، ا.، و آینه‌بند، ا. (۱۳۹۶). تأثیر کودهای زیستی تیوباسیلوس و نیتروکارا و محلول‌پاشی عناصر روی و آهن بر برخی صفات کیفی و انتقال مجدد مواد در کلزا. تولیدات گیاهی. ۴۰(۱):۱-۱۴.

جمشیدی، ن.، شیرانی‌راد، ا.، تخت‌چین، ف.، ناظری، پ.، و غفاری، م. (۱۳۹۱). ارزیابی ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲۳(۳): ۳۲۳-۳۳۸.

زالی، ح.، حسنلو، ط.، سفالیان، ع.، و اصغری، ع. (۱۳۹۹). بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانه در ارقام کلزا .(*Brassica napus* L.) تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۳(۳):۷۳۵-۷۴۷.

شیرانی‌راد، ا. ح.، نوری‌اکبرآبادی، ج.، و دانشیان، ج. (۱۳۹۸). ارزیابی ارقام کلزا از نظر تحمل به کم‌آبی. پژوهش‌های بذر ایران. ۱۰(۲):۴۵-۶۰.

فیاض، ا.، سروش زاده، ع.، حیدرزاده، ع. (۱۴۰۴). پاسخ خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کلزا (*Brassica napus* L.) رقم نیما به محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در شرایط تنش خشکی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۸(۲):۲۲۹-۲۴۹.

Abedi, T., and Pakniyat, H. 2010. Antioxidant enzymes changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 46(1): 27–34.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

Angadi, S. V., Cutforth, W., McConkey, B. G., and Gan, Y. T. 2003. Yield adjustment by canola under different plant populations in the semiarid prairie. Crop Science, 43(4): 1358–1366.

Ashraf, M., and Mehmood, S. 2007. Response of four Brassica species to drought stress. Environmental and Experimental Botany, 30(1): 93–100.

Ayyaz, A., Miao, Y., Hannan, F., Islam, F., Zhang, K., Xu, J., Farooq, M. A., and Zhou, W. 2021. Drought tolerance in *Brassica napus* is accompanied with enhanced antioxidative protection, photosynthetic and hormonal regulation at seedling stage. Physiologia Plantarum, 172(2): 1133–1148.

Din, J., Khan, S. U., Ali, I., and Gurmani, A. R. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. Journal of Animal and Plant Sciences, 21(1): 58–65.

Elahi, N., Duncan, R. W., and Strelkov, S. E. 2023. Molecular and systems approaches towards drought-tolerant canola crops. New Phytologist, 229(3): 1169–1189.

Elferjani, R., and Soolanayakanahally, R. 2018. Canola responses to drought, heat, and combined stress: Shared and specific effects on carbon assimilation, seed yield, and oil composition. Frontiers in Plant 9:1224.

Fanaei, H. R., Galavi, M., Kafi, M., and Ghanbari Bonjar, A. (2009). Amelioration of water stress by potassium fertilizer in two oilseed species. International Journal of Plant Production, 3(2): 41–45.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29(1): 185–212.

Ghasemian Ardestani, H., Jahan, M., and Shirani Rad, A. H. 2020. Investigation of qualitative traits of rapeseed cultivars in autumn and winter crops under the influence of different irrigation regimes. Environmental Stresses in Agricultural Sciences, 12(2): 429–443.

Ghobadi, M., Bakhshandeh, M., Fathi, G., Gharineh, M., Alami-Said, K., and Naderi, A. 2006. Short and long periods of water stress during different growth stages of canola (*Brassica napus* L.): Effect on yield, yield components, seed oil and protein contents. Journal of Agronomy, 5(2): 336–341.

Han, J. M., Meng, H. F., Wang, S. Y., Jiang, C. D., Liu, F., Zhang, W. F., and Zhang, Y. L. 2016. Variability of mesophyll conductance and its relationship with water use efficiency in cotton leaves under drought pretreatment. Journal of Plant Physiology, 194: 61–71.

Hassan-Zade, M., Naderi, M., Darbaghshahi, R., and Shirani Rad, A. H. 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.

Hlavacova, M., Klem, K., Rapantova, B., Novotna, K., Urban, O., Hlavinka, P., Smutna, P., Horakova, V., Skarpa, P., Wimmerova, M., Orsag, M., Jurecka, F., and Trnka, M. 2018. Interactive effects of high temperature and drought stress during stem elongation, anthesis and early grain filling on the yield formation and photosynthesis of winter wheat. Field Crops Research, 221: 182–195.

Ivanovska, S., Stojkovski, C., Dimov, Z., Marjanovic-Jeromela, A., Jankulovska, M., and Jankuloski, L. 2007. Interrelationship between yield and yield related traits of spring canola (*Brassica napus* L.) genotypes. Genetika, 39(3): 325–332.

Kandil, A., Sharief, A. E., El-Mohandes, S. I., and Keshta, M. M. 2017. Performance of canola (*Brassica napus* L.) genotypes under drought stress. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology, 2(2): 653–661.

Khayat Moghadam, M. S., Gholami, A., Shirani Rad, A. H., Firoozabadi Brothers, M., and Abbas Dokht, H. 2022. Agronomic study of spring rapeseed genotypes under late season

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

drought stress and foliar application of potassium silicate. Environmental Stress in Crop Sciences, 14(3): 649–663.

Khodabin, G., Tahmasebi, Z., Ghaffari, M., and Nouri, A. 2020. Evaluation of physiological and morphological characteristics of canola cultivars under late season drought stress. Journal of Crop Production and Processing, 10(3): 1–15.

McDormand, H., Holmes, J., Hall, J., and Strelkov, S. E. 2025. Drought and heat stress in canola: A review. Canadian Journal of Plant Science, 105(1): 1–20.

Noori, S. A., Khalaj, H., Rad, A. H., Alahdadi, I., Akbari, G. A., and Abadi, M. R. 2007. Investigation of seed vigor and germination of canola cultivars under less irrigation in padding stage and after it. Pakistan Journal of Biological Sciences, 10(17): 2880–2884.

Ouyang, W., Struik, P. C., Yin, X., and Yang, J. 2017. Stomatal conductance, mesophyll conductance, and transpiration efficiency in relation to leaf anatomy in rice and wheat genotypes under drought. Journal of Experimental Botany, 68(18): 5191–5205.

Qaderi, M. M., Kurepin, L. V., and Reid, D. M. 2006. Growth and physiological responses of canola (*Brassica napus*) to three components of global climate change: Temperature, carbon dioxide and drought. Physiologia Plantarum, 128(4): 710–721.

Rezayian, M., Niknam, V., and Ebrahimzadeh, H. 2018. Improving tolerance against drought in canola by penconazole and calcium. Pesticide Biochemistry and Physiology, 149: 123–136.

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., and Holaday, A. S. 1990. Leaf water content and water relations of rice (*Oryza sativa* L.) under drought stress. Crop Science, 30(5): 1074–1079.

Sangtarash, M. H., Qaderi, M. M., Chinnappa, C. C., and Reid, D. M. 2009. Differential sensitivity of canola (*Brassica napus*) seedlings to ultraviolet-B radiation, water stress and abscisic acid. Environmental and Experimental Botany, 66(2): 212–219.

Sharifi, P., Seyedsalehi, M., Paladino, O., and Kyzas, G. Z. 2017. Investigation of morphological and phytochemical changes and tolerance threshold of chamomile under drought stress conditions. International Journal of Pure and Applied Zoology, 5(1): 85–91.

Sepanlo, N., Talebi, R., Rokhzadi, A., and Mohammadi, H. 2014. Morphological and physiological behavior in soybean (*Glycine max*) genotypes to drought stress implemented at pre- and post-anthesis stages. Acta Biologica Szegediensis, 58(2): 109–113.

Shaabani, A., Kamgar Haghighi, A., Spaskhah, A., Emami, Y., and Honar, T. 2009. Effect of water stress on physiological parameters of oilseed rape (*Brassica napus*). Journal of Water and Soil Science, 13(48): 31–42.

Shirani Rad, A.H., and Sharghi, Y. 2011. Effect of drought stress treatments on agronomic traits of rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). Advance in Environmental Biology, 5(13):3756-3760.

Sinaki, J. M., Majidi Hervan, E., and Shirani Rad, A. H. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences, 2(4): 417–422.

Singh, M. P., Pandey, U. N., Lal, R. K., and Chaturvedi, G. S. 2002. Response of Brassica species to different irrigation regimes. Indian Journal of Plant Physiology, 7(1): 66–69.

Steiner, M., Toth, E. G., Juhasz, A., Dioszegi, M. S., and Hrotko, K. 2014. Stomatal responses of drought and heat stressed linden (Tilia sp.) leaves. Horticulture and Landscape Engineering, 6(1): 7–10.

Ullah, F., Bano, A., and Nisa, N. 2012. Determination of phytohormones and antioxidant activity in oilseed rape (*Brassica napus* L.) under drought stress. Pakistan Journal of Botany, 44(3): 1025–1029.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

USDA. 2024. Oilseeds: World markets and trade. Foreign Agricultural Service, United States Department of Agriculture. Available at https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade-12102024.

Wan, J., Griffiths, R., Ying, J., McCourt, P., and Huang, Y. 2009. Development of drought-tolerant canola (*Brassica napus* L.) through genetic modulation of ABA-mediated stomatal responses. Crop Science, 49(5): 1539–1554.

Zhu, M., Monroe, J. G., Suhail, Y., Villiers, F., Mullen, J., Pater, D., Hauser, F., Jeon, B. W., Bader, J. S., Kwak, J. M., Schroeder, J. I., McKay, J. K., and Assmann, S. M. 2016. Molecular and systems approaches towards drought-tolerant canola crops. New Phytologist, 210(4): 1169–1189.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

Evaluation of Morpho-Physiological Responses of Commercial Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars to Drought Stress at the Flowering Stage under Ahvaz Climatic Conditions

F. Purnabi [1], M. Siahpoosh [2*] and P. Hassibi [3]

1, 2 & 3) Plant Production Engineering and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

***Corresponding Author: siahpoosh@scu.ac.ir**

Received date: 2025.09.07 **Accepted date: 2025.12.09**

Abstract

Rapeseed is one of the most important oilseed crops, and its production in arid and semi-arid regions of the country faces serious challenges due to drought stress. Accordingly, the present study was conducted as a split-plot experiment based on a randomized complete block design with four replications at the experimental farm of Shahid Chamran University of Ahvaz during the 2021–22 growing season. The main plot factor consisted of two irrigation regimes (control with a 7-day irrigation interval and drought stress with a 14-day irrigation interval from the flowering stage), while the subplot factor included five commercial cultivars: Hyola 50, Hyola 4815, Hyola 401, Hyola 61, and Trapper. In this study, morphological, physiological, yield-related traits, and oil percentage were evaluated. The results showed that drought stress caused significant reductions of 25% in stomatal conductance, 29% in relative water content, 24% in plant height, 44% in the number of fertile branches, 16% in biological yield, 55% in seed yield, and 9% in oil percentage. In contrast, relative chlorophyll content and canopy temperature increased by 18% and 24%, respectively. Correlation heatmap analysis under normal and drought stress conditions indicated that, in addition to biomass, the physiological traits stomatal conductance and relative water content exhibited the strongest correlations with seed yield among the cultivars. Furthermore, based on multivariate analyses, Hyola 61 and Hyola 50 were identified as the most drought-tolerant cultivars, as they maintained higher levels of physiological and yield-related traits as well as oil percentage under water-deficit conditions.

Key words: Oil percentage, canopy temperature, relative water content and stomatal conductance.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]