شبیه‌سازی شاخص‌های رشد و تنش خشکی ارقام کلزا در استان لرستان

مژگان صادقی[۱]، سجاد رحیمی مقدم[۲]*، اسماعیل احمدمحمودی [۳] و خسرو عزیزی [۴]

۱، ۲ و ۴) گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
۳) گروه بوم‌شناسی کشاورزی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

نویسنده مسئول*:rahimi.s@lu.ac.ir

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۰۲/۰۹ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵**

چکیده

کلزا پس از سویا و نخل روغنی سومین محصول روغنی مهم در جهان است. ارزیابی شاخص‌های رشد و تنش خشکی ارقام مختلف می‌تواند در معرفی رقم مناسب برای دستیابی به عملکرد بهینه کمک کند. تحقیق حاضر با استفاده از تکنیک مدل‌سازی به‌منظور شبیه‌سازی شاخص‌های رشدی و تنش خشکی سه رقم کلزا (Hyola308، Hyola401 و RGS003) در چهار منطقه استان لرستان انجام گرفت. برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد کلزا از مدل APSIM استفاده شد. به‌طور میانگین در همه‌ی مناطق، رقم Hyola401 بالاترین شاخص سطح برگ (۴/۷)، سرعت رشد محصول (۲۱/۱ گرم بر مترمربع در روز)، سرعت رشد نسبی (۰/۸ گرم بر گرم) و تولید ماده خشک (۱۵۰۷/۴ گرم در مترمربع) را داشت. در مناطق مختلف، عملکرد دانه از ۱/۹ تن در هکتار در الشتر تا ۴/۸ تن در هکتار در پلدختر دارای تغییرات بود. همچنین به‌طور میانگین، مقدار عملکرد دانه برای ارقام Hyola308، Hyola401 و RGS003 به ترتیب برابر با ۳/۹، ۴/۵ و ۴ تن در هکتار بود. از نظر شاخص تنش آبی، تنش آبی در منطقه الشتر مشاهده نشد اما در سایر مناطق تنش آبی بعد از مرحله گل‌دهی شروع شد و تا انتهای فصل رشد ادامه پیدا کرد. الگوی خشکی مناطق و ارقام مورد بررسی نشان می‌دهد که در بیش‌تر مناطق مدیریت آبیاری مناسب در اواخر دوره رشد کلزا می‌تواند به بهبود عملکرد و تولید دانه این محصول زراعی در شهرستان‌های مورد بررسی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و شاخص تنش آب.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

مقدمه

گیاه کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. یکی از محصولات دانه روغنی مهم جهان به‌شمار رفته و بر اساس آمار منتشره از سازمان خوار و بار جهانی پس از سویا و نخل روغنی سومین محصول دانه روغنی مهم در جهان است (FAO, 2021). ایران از نظر سطح زیر کشت کلزا جایگاه ۲۷ را در دنیا دارد (FAO, 2021). در سال ۲۰۲۱ میلادی میزان تولید، میانگین عملکرد جهانی و سطح زیر کشت کلزا به ترتیب ۷۵ میلیون تن، ۱۹۹۶ کیلوگرم در هکتار و ۳۷/۶ میلیون هکتار بود (FAO, 2021). در همین سال ۱۴/۳ میلیون هکتار از اراضی آسیا به کشت این محصول اختصاص داده شده و عملکرد آن در هر هکتار ۱۸۲۲ کیلوگرم بوده است. در این سال میانگین عملکرد کشت آبی کلزا در ایران ۱۶۱۱ کیلوگرم در هر هکتار برآورد شده است (FAO, 2021). در سال ۱۴۰۱، سطح زیر کشت کلزا آبی در استان لرستان ۱۵۶۱ هکتار با متوسط عملکرد ۱۵۷۰ کیلوگرم در هکتار بود (بی‌نام، ۱۴۰۲). کلزا با توجه به ویژگی‌های زراعی مناسب خود از جمله بهره‌وری بالای آب و تحمل نسبی به تنش خشکی می‌تواند به عنوان یک محصول برای تناوب‌های زراعی مبتنی بر غلات به‌ویژه در مناطقی با اقلیم‌های خشک و نیمه خشک به کار برده شود (Hegewald *et al.*, 2018). کلزا به دلیل ویژگی‌های خاص مانند سازگاری با شرایط آب و هوایی، ارزش تناوبی بالا، کنترل علف‌های هرز، دارا بودن ارقام بهاره و پاییزه، محتوای بالای روغن دانه (۴۴-۴۰ درصد) به‌عنوان نقطه امیدی برای تأمین روغن خوراکی موردنیاز کشور به شمار می‌آید (رضایی زاده و همکاران، ۱۳۹۰). ارقام کلزا طیف وسیعی از ترکیبات اسید چرب را در روغن دانه خود دارند. این ویژگی باعث می‌شود برای طیف گسترده‌ای از کاربردها از جمله تولید بیودیزل روغن‌های خوراکی و خوراک دام مناسب باشد (Bell *et al.*, 2003; Ursin, 2003; Ramos *et al.*, 2009). ارقام به دلیل ساختار ژنتیکی متفاوت واکنش مختلفی نسبت به اقلیم‌های متنوع دارند که به عنوان برهم‌کنش رقم-محیط شناخته می‌شود (Mansour *et al.*, 2017). انتخاب کردن رقم‌هایی که به تنش‌های غیره زنده مانند خشکی متحمل هستند می‌تواند سطح زیر کشت کلزا را در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران افزایش دهد. اثرهای تنش خشکی در این گیاه را می‌توان بـه دو گروه کلی روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای تقسیم نمود. مولفه‌های روزنه‌ای با جریان ورود دی‌اکسیدکربن و خروج آن مرتبط هستند و مطالعه آن‌ها نیازمند بررسی در شرایط کنترل شده می‌باشد و پدیده‌های غیر روزنه‌ای متاثر از تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیکی گیاه مانند سطح برگ، دوام سطح برگ و وزن ویژه برگ اثر می‌گذارند (فانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ موسوی و همکارن، ۱۳۸۹). اثر تنش خشکی، تابع رقم، طول دوره خشکی، شرایط آب و هوایی و مرحله رشد گیاه می‌باشد (Roa and Mandham, 1991). زمان وقوع تنش خشکی مهم‌تر از شدت خشکی می‌باشد (Kazi *et al.*, 2002). تنش خشکی و افزایش دما در دوره گل-دهی و آغاز خورجین‌بندی کلزا باعث کاهش عملکرد این محصول زراعی از طریق اثر بر تعداد دانه و خورجین می‌شود

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

(خلعت بری و همکاران، ۱۳۹۹). بنابراین شناخت مراحل حساس و بحرانی گیاه به تنش خشکی و تأمین رطوبت موردنیاز در این مراحل می‌تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد و استفاده بهینه از منابع آب و خاک داشته باشد. برای ارزیابی عملکرد و شاخص‌های مختلف رشدی و تنش خشکی تحت شرایط آب و هوایی متنوع، روش‌های مختلفی از جمله آزمایش‌های مزرعه‌ای و مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه زراعی وجود دارد. امروزه در سراسر دنیا با توجه به اینکه اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای مستلزم پرداخت هزینه بالایی هستند، مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه زراعی با توجه به کاهش هزینه‌ها و همچنین سهولت استفاده مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته‌اند (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2019; Deihimfard *et al.*, 2019; Eyni-Nargeseh *et al.*, 2019; Chenu *et al.*, 2017). این مدل‌ها می‌توانند برای بررسی اثرها مختلف از جمله تغییر اقلیم بر شاخص‌های رشدی، مدیریت کاشت، اثر رقم و بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب در محصولات زراعی مختلف مورد استفاده قرار گیرند (Deihimfard *et al.*, 2019; Rahimh-Moghaddam Eyni-Nargeseh *et al.*, 2019; *et al.*, 2019). رحیمی مقدم و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از رهیافت مدل‌سازی بیان داشتند که پتانسیل عملکرد برای تولید کلزا در غرب ایران با اقلیم معتدل (۲۸۵۲/۶ کیلوگرم در هکتار) نسبت به جنوب غربی با اقلیم گرم (۱۸۸۵/۱ کیلوگرم در هکتار) بالاتر است. آن‌ها همچنین گزارش کردند که در شرایط آبیاری کامل بهترین رقم Hyola401 می‌باشد و در شرایط قطع آبیاری در زمان گل‌دهی و غلاف‌دهی رقم RGS003 کارکرد بهتری از نظر تولد عملکرد دانه دارد. بر این اساس و با توجه به اهمیت محدودیت آب، این تحقیق با استفاده از تکنیک مدل‌سازی به‌منظور شبیه‌سازی شاخص‌های رشدی و تنش خشکی ارقام مختلف کلزا در استان لرستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

استان و شهرستان‌های مورد مطالعه

این تحقیق در استان لرستان در سال ۱۴۰۲ انجام شد. استان لرستان در جنوب غربی ایران واقع شده است و دارای سه ناحیه آب و هوایی: ۱) آب و هوای گرم و خشک جنوب ۲) آب و هوای معتدل مرکزی ۳) آب و هوای سرد شمالی است (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۴۰۳). شهرستان‌های مورد مطالعه در این تحقیق شامل الشتر، پلدختر، خرم آباد و کوهدشت بودند. انتخاب این مناطق بر اساس پراکنش در سطح استان، سطح زیر کشت و پوشش اقلیم‌های مختلف بود. ویژگی‌های اقلیمی و جغرافیایی مناطق مورد مطالعه در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

جدول ۱: ویژگی‌های اقلیمی، جغرافیایی و مدیریتی شهرستان‌های مورد مطالعه

شهرستان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	میانگین دمای سالانه (درجه سانتی گراد)	میانگین بارندگی تجمعی سالانه (میلی‌متر)	تاریخ کاشت	نوع اقلیم	کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)
خرم آباد	۴۸/۳	۳۳/۶	۱۱۴۷	۱۶/۵	۴۸۶/۲	۲۳ مهر	معتدل	۱۱۹/۶
الشتر	۴۸/۲۶	۳۳/۸۶	۱۶۳۸	۱۳/۵	۴۵۰	۱۱ شهریور	سرد	۱۲۱/۴
پلدختر	۴۷/۷۲	۳۳/۱۴	۶۵۸	۲۳	۳۷۸/۴	۲۶ مهر	گرم	۱۳۸
کوهدشت	۴۷/۴	۳۳/۵	۱۱۹۵	۱۶	۳۶۹/۸	۲۱ مهر	گرم	۱۱۶

مدل شبیه‌سازی کلزا و داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل

در این تحقیق از مدل APSIM-canola[1] استفاده شد (Robertson and Lilley, 2016; Robertson *et al.*, 1999).داده‌های اقلیمی بلندمدت (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰) مورد استفاده در این تحقیق شامل اطلاعات روزانه تابش ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)، دمای کمینه و دمای بیشینه (سانتی‌گراد) و بارندگی (میلی‌متر) بصورت بلند مدت بودند که از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شدند.داده‌های مذکور به‌عنوان ورودی مدل شبیه‌سازی رشد گیاه زراعی مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به اینکه در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور، مقدار تابش روزانه ثبت نشده است، با در اختیار داشتن تعداد ساعت آفتابی، تابش روزانه با استفاده از رابطه ۱ تخمین زده شد (Prescott, 1940):

رابطه ۱:
$$R_s = \left(a + b\,\frac{n}{N}\right) R_a$$

در رابطه بالا، Rs، Ra، n و N به‌ترتیب نشان‌دهنده مقدار تابش روزانه، تشعشع فرازمینی، تعداد ساعات آفتابی و حداکثر تعداد ساعات آفتابی ممکن می‌باشند و ضرایب a و b نیز به‌عنوان ضرایب کالیبره محلی آنگستروم بوده و در محاسبات این پژوهش به‌ترتیب برابر با ۰/۲۵ و ۰/۵ لحاظ شدند (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2021a).

داده‌های خاکی مورد نیاز مدل شامل وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، محتوای رطوبتی خاک در ظرفیت زراعی (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)، نقطه پژمردگی (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) و نقطه اشباع (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) بودند. اطلاعات خاکی از مقالات، گزارش‌های مختلف سازمان جهاد کشاورزی و مراکز تحقیقات و سازمان خوار و بار جهانی کشاورزی جمع‌آوری شدند (جدول ۲). اطلاعات مدیریتی شامل تاریخ کاشت، آبیاری، نوع خاکورزی،، تراکم، عمق کاشت، فاصله بین ردیف، مقدار مصرف کود ازت بودند که با استفاده از پرسشنامه به دست آمدند. تعداد پرسشنامه برابر با ۳۰۰ بود که برای به دست آمدن حجم نمونه و تعداد پرسشنامه از فرمول کوکران استفاده شد (Cochran, 1977). تاریخ کاشت و میزان کود ازت برای مناطق مختلف در جدول ۱ مشخص هستند. در مناطق مورد بررسی خاکورزی به‌صورت مرسوم، تراکم برابر ۸۰ بوته در مترمربع، عمق کاشت برابر با سه سانتی‌متر، فاصله بین ردیف برابر با ۳۰ سانتی‌متر بود. بر اساس الگوی رایج کشاورزان محلی در مناطق مورد مطالعه، آبیاری کامل در سیستم‌های فاریاب به

[1] The Agricultural Production Systems Simulator

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

این صورت بود که دو دور آبیاری از زمان کاشت تا مرحله ساقه‌دهی انجام شد و از مرحله ساقه‌دهی به بعد آبیاری در مدل بر مبنای محتوای آب خاک در نقطه ظرفیت مزرعه انجام گرفت به این صورت که رطوبت خاک همواره در حد ۷۵ درصد ظرفیت خاک در نقطه ظرفیت مزرعه باشد. آبیاری برای تیمارهای قطع آبیاری تا زمان قطع آبیاری در مرحله مورد نظر نیز به‌صورت رهیافت بالا انجام شد.

جدول ۲: اطلاعات خاکی شهرستان‌های مورد مطالعه

شهرستان	وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر مترمکعب)	محتوای رطوبتی خاک در نقطه پژمردگی (سانتی‌متر مکعب بر سانتی متر مکعب)	محتوای رطوبتی خاک در ظرفیت زراعی (سانتی‌متر مکعب بر سانتی متر مکعب)	محتوای رطوبتی خاک در نقطه اشباع (سانتی‌متر مکعب بر سانتی متر مکعب)
خرم آباد	۱/۲۸	۰/۲۳۱	۰/۳۹۲	۰/۵۱۸
الشتر	۱/۲۸	۰/۲۴۲	۰/۳۹۵	۰/۵۱۵
پلدختر	۱/۳۸	۰/۰۶۲	۰/۲۸۶	۰/۴۷۵
کوهدشت	۱/۳۴	۰/۲۵۹	۰/۳۹۶	۰/۵۰۰

همچنین داده‌های گیاهی مورد استفاده در این تحقیق، شامل ضرایب ژنتیکی ارقام گیاه کلزا بودند که از تحقیق رحیمی مقدم و همکاران (۲۰۲۱) به دست آمدند که در جدول ۳ نشان داده شدند. نتایج واسنجی مطالعه رحیمی مقدم و همکاران (۲۰۲۱) تحت شرایط پتانسیل نشان داد مدل APSIM توانست به خوبی عملکرد ارقام مختلف کلزا را تحت شرایط تیمارهای تاریخ کاشت در دو سال زراعی (۸۵-۱۳۸۴ و ۸۶-۱۳۸۵) با ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ۷/۸۶ درصد شبیه‌سازی کند. همچنین نتایج ارزیابی آن مطالعه تحت شرایط محدودیت آب نشان داد مدل APSIM توانست به خوبی عملکرد ارقام مختلف کلزا را تحت شرایط تیمارهای مختلف قطع آبیاری و آبیاری کامل در دو سال زراعی (۸۷-۱۳۸۶ و ۸۸-۱۳۸۷) با ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ۱۲/۳ درصد شبیه‌سازی کند. با توجه به اینکه قبلا ارزیابی مدل در شرایط اقلیمی گرم صورت گرفته است، برای ارزیابی بیش‌تر مدل تحت شرایط اقلیمی مختلف بویژه اقلیم-های معتدل و سرد از دو مطالعه دالوند و همکاران (۱۳۹۱) و حمزه‌پور و همکاران (۱۳۹۶) برای ارزیابی مدل استفاده شد. همچنین از رابطه‌های ۲، ۳ و ۴ برای ارزیابی نتایج واقعی و شبیه‌سازی استفاده شد:

رابطه ۲: $$nRMSE\,(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}}$$

رابطه ۳: $$MBE = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}(O_i - S_i)$$

رابطه ۴: $$d - index = 1 - \frac{\sum_{1}^{n}(O_i - S_i)^2}{\sum_{i}^{n}(|O_i - \bar{O}| + |S_i - \bar{O}|)^2}$$

درارابطه‌های بالا nRMSE: ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده، MBE: میانگین اریب خطا، d-index: شاخص سازگاری ویلموت، O: مقدار عملکرد مشاهده شده، S: مقدار عملکرد شبیه‌سازی شده، $\bar{O}$: میانگین مقادیر عملکردهای مشاهده شده، n: تعداد مشاهدات هستند. در صورتی‌که مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده و میانگین

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

اریب خطا به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر دقت بیش‌تر مدل می‌باشند؛ در حالی‌که مقدار شاخص سازگاری ویلموت بین ۰ و ۱ متغیر است و هر چقدر مقدار آن به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد بیانگر دقت بیش‌تر مدل در برآورد عملکرد محصول می‌باشد. علاوه بر این، انطباق شیب خط رگرسیون برآورد با خط یک به یک بیانگر کارایی بهتر مدل می‌باشد.

جدول ۳: ضرایب ژنتیکی برای ارقام مختلف کلزا در مدل زراعی APSIM-Canola (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2021a)

ضریب	رقم			واحد
	RGS003	Hyola401	Hyola308	
درجه روز رشد تجمعی مورد نیاز از مرحله سبز شدن تا پایان مرحله جوانی	۳۵۰	۳۰۰	۲۳۵	درجه روز رشد
بیشینه درجه روز رشد مورد نیاز برای تکمیل مرحله جوانی بدون بهاره‌سازی	۵۰۰	۴۶۰	۳۹۵	درجه روز رشد
درجه روز رشد تجمعی مورد نیاز از مرحله گل‌دهی تا مرحله شروع پر شدن دانه	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	درجه روز رشد
بیشینه تعداد روز برای تکمیل فرآیند بهاره‌سازی	۲۵	۲۵	۲۵	روز

آزمایش‌های شبیه‌سازی، شاخص‌ها، صفات مورد بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌ها

تیمارهای شبیه‌سازی شامل ارقام و مناطق مختلف در طول سال‌های مختلف بودند. با در نظر گرفتن سه رقم، چهار منطقه و ۴۱ سال شبیه‌سازی (۲۰۲۰ -۱۹۸۰) آزمایش‌های شبیه‌سازی برابر با ۴۹۲ بودند. صفات مورد بررسی در این مطالعه شامل عملکرد دانه، وزن خشک کل (TDW[1])، شاخص سطح برگ (LAI[2])، سرعت رشد محصول (CGR[3])، سرعت رشد نسبی (RGR[4]) و فاکتور تنش آبی (WSF[5]) طول دوره رشد کلزا بودند. مدل APSIM-Canola، علاوه بر خروجی‌های مختلف مانند عملکرد دانه و بیولوژیک و غیره، یک فاکتور تنش آبی به‌نام شاخص عرضه و تقاضای آب را می‌دهد که نسبتی از آب قابل استخراج خاک به‌وسیله ریشه (آب قابل دسترس[6]) به پتانسیل تعرق در گیاه (نیاز آبی[7] ؛ نیاز آبی مربوط به مقدار آبی است که در صورت عدم وجود محدودیت آب در خاک به محصول منتقل می‌شود) می‌باشد و به‌صورت رابطه ۵ محاسبه می‌شود (Chenu *et al.*, 2013; Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2021b):

رابطه ۵:
$$WSF = \frac{WS}{WD}$$

که در این معادله WS نشان دهنده آب قابل استفاده (میلی‌متر) و WD نشان‌دهنده نیاز آبی (میلی‌متر) می‌باشد. شاخص تنش آب بین صفر تا یک متغیر است که صفر نشان‌دهنده شرایط تنش شدید و عدم وجود آب در خاک است و یک شرایط بدون تنش و پتانسیل است. همچنین اگر این شاخص کمتر از ۰/۷ باشد نشان‌دهنده این است که به گیاه استرس آبی

[1] Total dry weight
[2] Leaf area index
[3] Crop growth rate
[4] Relative growth rate
[5] Water stress factor
[6] Water supply
[7] Water demand

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

وارد شده است. برای انجام محاسبات مربوط به شاخص‌های رشدی از رابطه‌های ۶، ۷، ۸ و ۹ استفاده شد:

رابطه ۶: $TDW = e^{(a+bt+ct2+dt3)}$

رابطه ۷: $CGR = (b+2ct+3t2)\, e^{(a+bt+ct2+dt3)}$

رابطه ۸: $RGR = b + 2ct$

رابطه ۸: $CGR = (b + 2ct) \times TDW$

در این معادلات RGR و CGR به ترتیب سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول می‌باشند. همچنین a، a_1، b، b_1، c و c_1 ضرایب رگرسیون معادلات و t تعداد روز پس از کاشت می‌باشد. برای بررسی ارتباط بین شاخص‌های مورد بررسی و عملکرد دانه از همبستگی پیرسون استفاده شد. برازش معادلات و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم افزار OriginPro 9.1 انجام شدند (Seifert, 2014).

نتایج و بحث

ارزیابی مدل

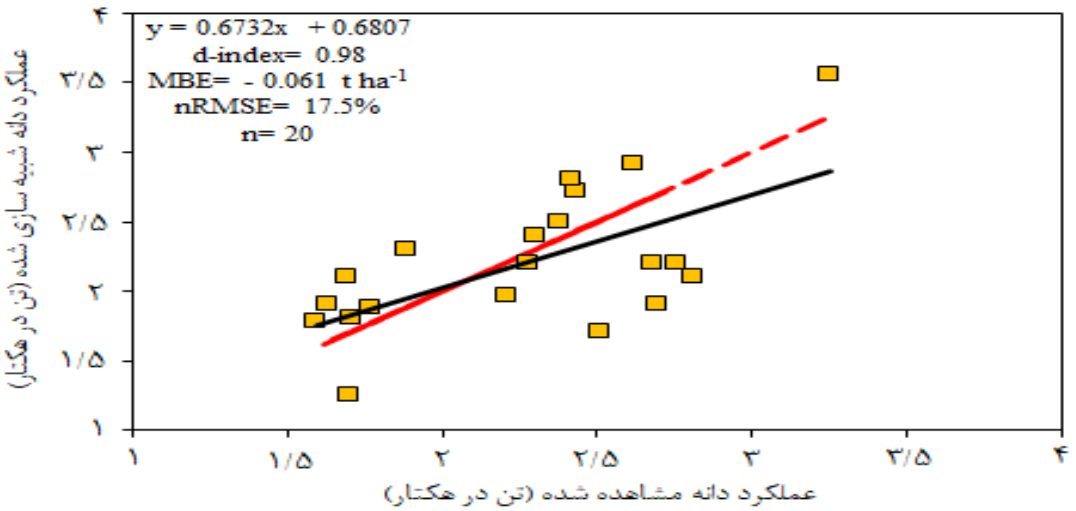
نتایج ارزیابی مقادیر گزارش شده از مشاهدات واقعی مزرعه‌ای و خروجی‌های شبیه سازی به‌دست آمده از مدل شبیه-سازی APSIM-canola نشان داد که این مدل برآورد مناسبی از عملکرد گیاه کلزای پاییزه در تحت شرایط اقلیم‌های مختلف داشت (شکل ۱). همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، مقادیر میانگین عملکردهای مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برابر با ۲/۲۶۸ تا ۲/۲۰۸ تن در هکتار بود. ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده برای تخمین عملکرد کلزای پاییزه برابر با ۱۷/۵ درصد بود که نشان‌دهنده دقت نسبتا خوب این مدل در شبیه‌سازی عملکرد کلزای پاییزه بود. نتایج به‌دست آمده همچنین نشان داد برآوردهای صورت گرفته از عملکرد گیاه کلزا توسط مدل شبیه‌سازی APSIM-canola به میزان ۶۱ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با شرایط واقعی کمتر بود. علاوه بر این d-index برابر با ۰/۹۸ حاکی از سازگاری قابل قبول بین مقادیر عملکرد شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده شده و کارایی خوب مدل APSIM-canola در برآورد عملکرد کلزای پاییزه در شرایط اقلیم‌های مختلف بود (شکل ۱). در زمینه کارایی APSIM-canola در کشور چین گزارش شده است که این مدل توانست زیست توده و عملکرد دانه ۱۰ رقم کلزا را در سال‌ها و مناطق مختلف به خوبی شبیه‌سازی کرد به طوری‌که مربعات خطای نرمال شده برای زیست توده و عملکرد دانه به ترتیب برابر با ۱۵/۳ و ۱۶/۳ درصد بود (He *et al.*, 2017).

شاخص‌های رشدی ارقام کلزا در مناطق مختلف

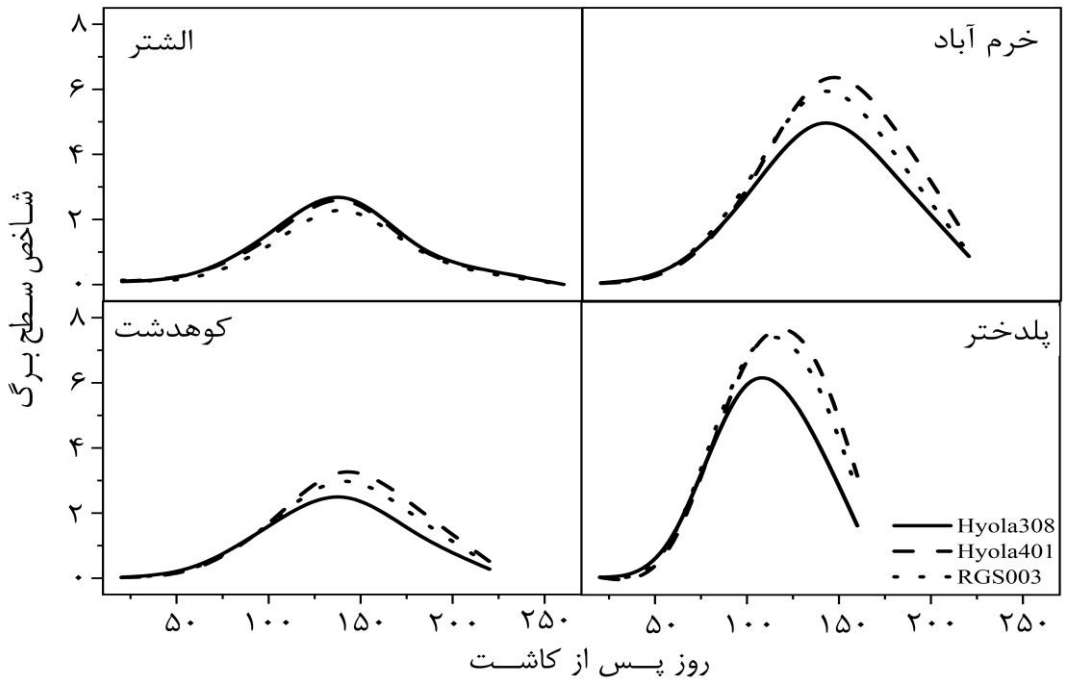
به‌طور میانگین در همه‌ی مناطق رقم Hyola401 بیشینه شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و تولید ماده خشک

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

را با ۴/۷، ۲۱/۱ گرم بر مترمربع در روز و ۱۵۰۷/۴ گرم بر مترمربع به خود اختصاص داد. این در حالی بود که رقم Hyola308 از نظر این صفات به‌طور میانگین در مناطق مختلف کمینه مقدار شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و ماده خشک تولیدی به ترتیب با ۴، ۲۰ گرم بر مترمربع در روز و ۱۴۷۷/۶ گرم بر مترمربع را داشت (شکل‌های ۲ تا ۴). مطالعات مختلف نیز نشان‌دهنده اختلاف بین ژنوتیپ‌های مختلف کلزا از لحاظ شاخص‌های رشدی و ارتباط بین شاخص‌های سطح برگ، سرعت رشد محصول و همچنین ماده خشک تولیدی هستند (Zhang and Flottmann, 2016; Uddin *et al.*, 2012).

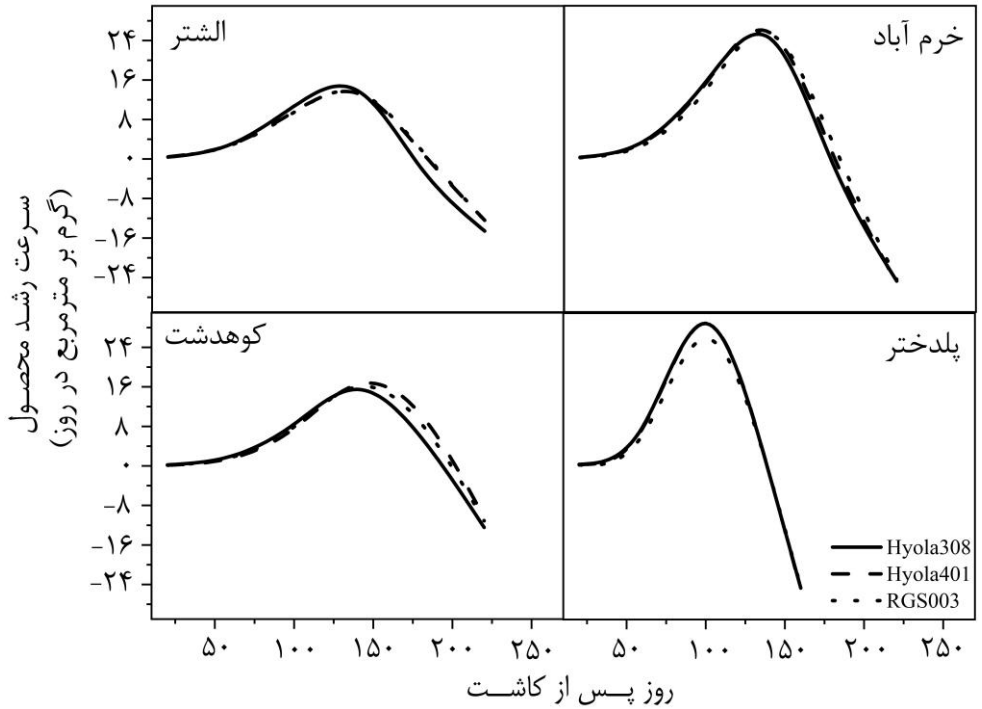


شکل ۱: نتایج ارزیابی مدل APSIM-canola تحت شرایط اقلیمی مختلف

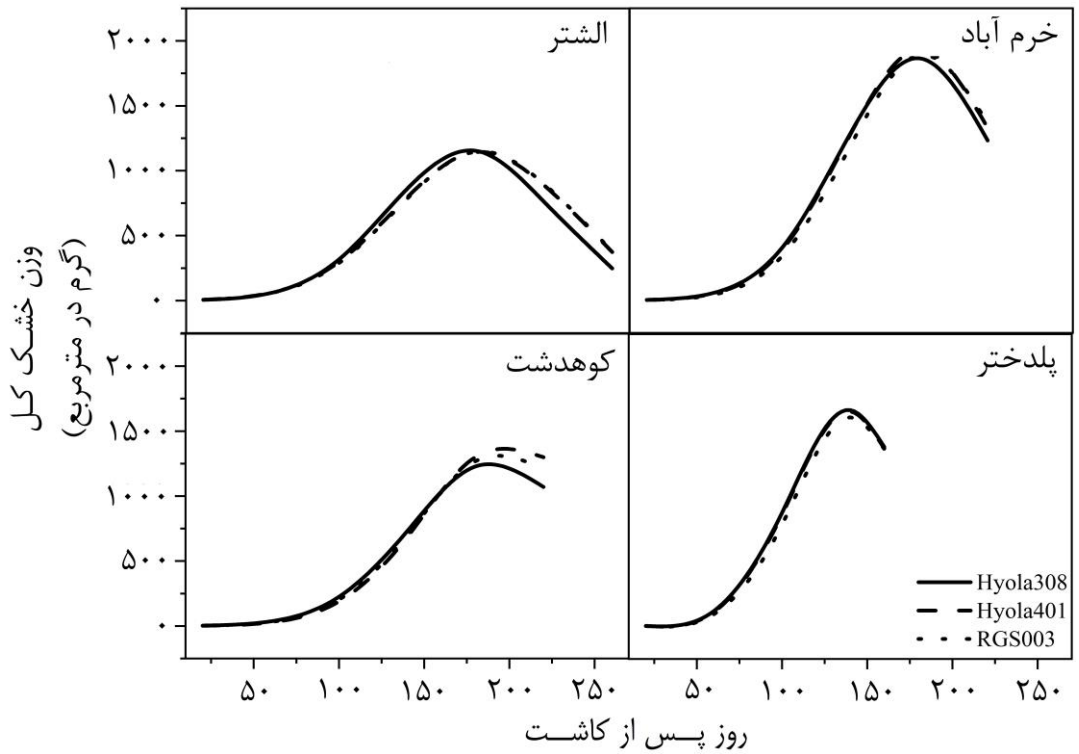


شکل ۲: شاخص سطح برگ ارقام کلزا (Hyola308، Hyola401 و RGS003) در شهرستان‌های مورد مطالعه (الشتر، خرم‌آباد، کوهدشت و پلدختر)

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]



شکل ۳: سرعت رشد محصول ارقام کلزا (Hyola308، Hyola401 و RGS003) در مناطق مورد مطالعه (الشتر، خرم‌آباد، کوهدشت و پلدختر)



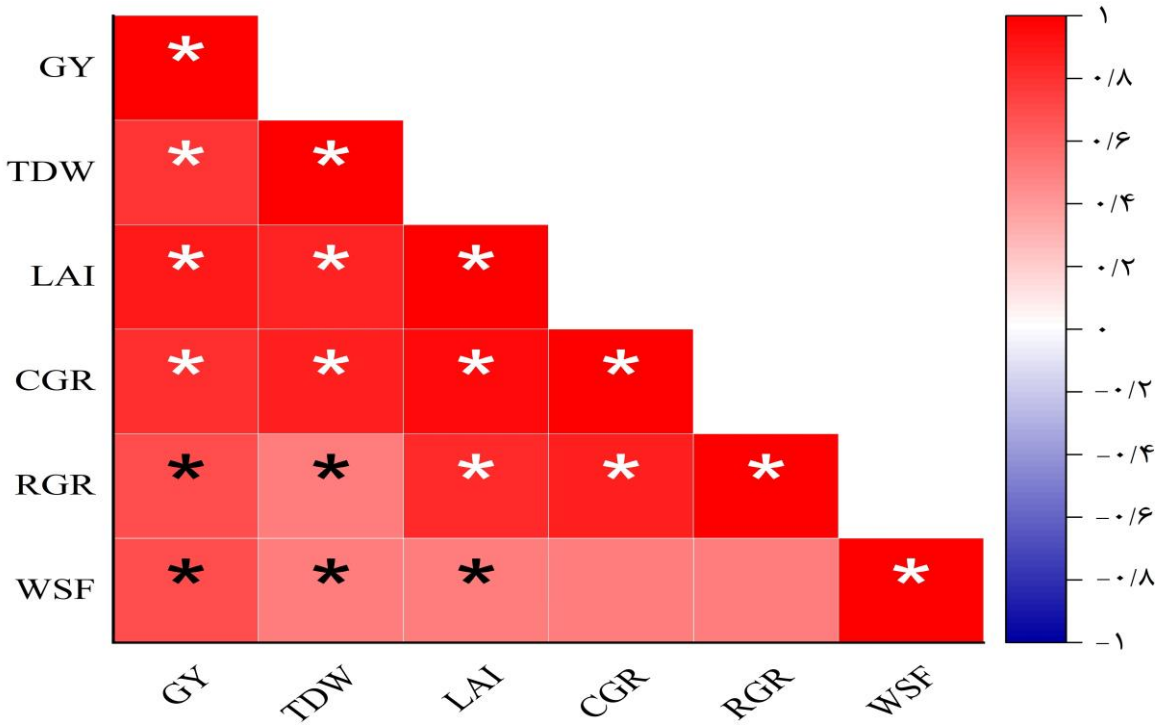
شکل ۴: وزن خشک کل ارقام کلزا (Hyola308، Hyola401 و RGS003) در شهرستان‌های مورد مطالعه (الشتر، خرم-آباد، کوهدشت و پلدختر)

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

در بین مناطق و ارقام بیشینه وزن ماده خشک مربوط به رقم Hyola401 و منطقه خرم آباد با ۱۹۳۰/۷ گرم در مترمربع بود (شکل ۴). این در حالی بود که بیشینه شاخص سطح برگ (۶/۶۸) و بیشینه سرعت رشد محصول (۲۸/۹ گرم در مترمربع روز) مربوط به رقم Hyola401 و منطقه پلدختر بود (شکل‌های ۲ و ۳). به‌طور کلی در همه‌ی مناطق مورد بررسی (به جز منطقه الشتر) رقم Hyola401 از نظر مقدار بیشینه تولید ماده خشک، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول دارای برتری بود. این در حالی بود که در منطقه الشتر بیشینه ماده خشک (۱۱۵۲/۴ گرم در مترمربع) و شاخص سطح برگ (۲/۶۷) مربوط به رقم Hyola308 بود. به‌طور کلی افزایش سطح برگ خود سبب افزایش جذب نور و به تبع آن افزایش سرعت رشد محصول می‌شود که این خود باعث افزایش وزن ماده خشک در گیاهان زراعی می‌شود (اصغری لالمی و همکارن، ۱۳۹۹). همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، بیشینه سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ به دست آمده در تمامی مناطق (به جز از پلدختر) در ۱۳۰ روز پس از کاشت به دست آمد (این موضوع در شهرستان پلدختر تقریبا ۱۰۰ روز پس از کاشت به دست آمد) و روند تغییرات سرعت رشد محصول از روند شاخص سطح برگ تبعیت کرده است و به‌طوری‌که روند دو شاخص مذکور بعد از آن‌که به بیشینه مقدار خود رسیده‌اند یک روند کاهشی را دنبال می‌کنند. نتایج همبستگی بین شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و ماده خشک تولیدی نیز نشان دهنده ارتباط مثبت و معنی‌دار آن‌ها در سطح ۵ درصد می‌باشد (شکل ۵). علیزاده و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که بیشینه شاخص‌های سطح برگ و تجمع ماده خشک ارقام کلزا با گذشت ۱۴۰ روز پس از کاشت به دست می‌آید. در این تحقیق همچنین مشخص شد که در بین ارقام مورد بررسی از لحاظ شاخص‌های مذکور اختلاف وجود داشت و بیش‌ترین شاخص سطح برگ مربوط به ارقام Hyola401 و Hyola4815 بود. نشان داده شد در بین هیبریدهای مورد بررسی کلزا در جنوب غربی استرالیا، هیبرید IT/CV در ابتدای رشد داری سطح برگ بیشتر و برگ‌های ضخیم‌تر بود و توانست زیست توده بیشتری را به برگ‌ها اختصاص داد که به جذب بیشتر تابش کمک کرد و زیست توده بالاتری را در مرحله رویشی تولید کرد و برتری زیست توده خود را در طول فصل رشد حفظ کرد. میانگین سرعت رشد محصول برای هیبرید IT/CV (۱۲/۱ گرم در مترمربع در روز) ۳۲ درصد بیشتر از هیبرید TT (۹/۲ گرم در مترمربع در روز) از جوانه زدن تا شروع پر شدن غلاف بود. هیبرید IT/CV در شرایط رشد بهینه ۳۸ درصد عملکرد دانه بالاتری نسبت به هیبرید TT داشت (Zhang and Flottmann, 2016). به‌طور کلی سرعت رشد کلزا در ابتدای فصل بدلیل کوچک بودن گیاهان به کندی افزایش یافت و سپس به علت افزایش سطح برگ این شاخص تا مرحله اواخر گل‌دهی و اوایل غلاف‌بندی کلزا افزایش پیدا کرد و به حداکثر مقدار خود رسید. بین سرعت رشد محصول و مقدار تابش جذب شده توسط برگ‌های یک گیاه رابطه مستقیم وجود دارد، به‌طوری‌که در ابتدا و انتهای فصل رشد به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و کم بودن سطح دریافت کننده

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

تابش (برگ‌ها) تولید ماده خشک کمتر شده و مقدار سرعت رشد محصول هم کم بود. اما با رشد سریع گیاه و افزایش سطح برگ، جذب تابش و سرعت رشد محصول افزایش یافت. در اواخر فصل رشد روند کاهشی در سرعت رشد محصول مشاهده شد (شکل ۳). این زمانی رخ می‌دهد کـه گیاه بجای تولید مواد فتوسنتزی بیش‌تر به انتقال مواد از اندام‌های مختلف به دانه‌ها می‌پردازد. بـه همین دلیل سرعت رشد محصول حتی منفی هم می‌شود (علیزاده و همکاران، ۱۴۰۰؛ جبّاری و همکاران، ۱۳۹۴).

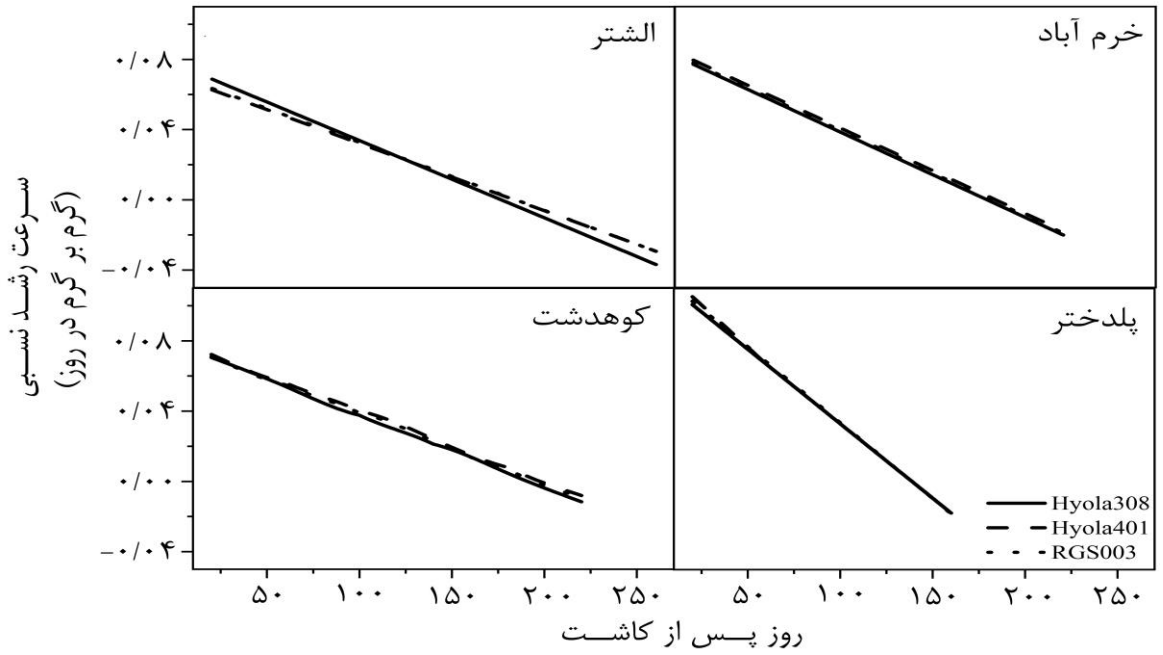


شکل ۵: همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های رشدی و تنش خشکی کلزا. GY: عملکرد دانه؛ TDW: وزن خشک کل؛ LAI: شاخص سطح برگ؛ CGR: سرعت رشد محصول؛ RGR: سرعت رشد نسبی؛ WSF: فاکتور تنش آبی. ستاره‌ها نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد است و بین ستاره‌های سفید مشکی تفاوتی وجود ندارد

از نظر سرعت رشد نسبی رقم Hyola401 نسبت به ارقام دیگر دارای برتری بود و در اکثر مناطق، بیشینه مقدار این شاخص توسط این رقم به دست آمد. در شهرستان الشتر بیشینه این شاخص (۰/۰۷ گرم بر گرم در روز) توسط رقم Hyola308 به دست آمد (شکل ۶). همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود سرعت رشد نسبی از ابتدا تا پایان دوره رشد به‌صورت خطی کاهش می‌یابد. از آن‌جا که با افزایش سن گیاه بر بافت‌های ساختمانی گیاه افزوده می‌شود و این بافت‌های ساختمانی سهمی در رشد ندارند، به همین دلیل سرعت رشد نسبی با گذشت زمان و در نتیجه رشد گیاه و افزایش مقدار تنفس در اواخر فصل رشد منفی می‌گردد. رقم Hyola401 با داشتن سرعت رشد نسبی بالا در ابتدای فصل رشد می‌تواند به سرعت تاج‌پوش خود را افزایش داده و مقدار کانوپی بیش‌تری در واحد سطح به وجود آورد. سهم سرعت رشد نسبی را

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

در بهبود رشد گیاه بیش‌تر مربوط به طول دوره رشد رویشی می‌باشد چرا که بعد از آن به سرعت کاهش می‌یابد. در بنگلادش گزارش شد که در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی کلزا از لحاظ شاخص‌های رشدی اختلاف قابل توجهی وجود داشت و ژنوتیپ RM 05 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارای سرعت نسبی بالاتری در ابتدای فصل بود و این امر باعث گسترش سریع‌تر تاج‌پوش، شاخص سطح برگ بالاتر و نهایتا عملکرد دانه بیشتر شد (Uddin *et al.*, 2012).



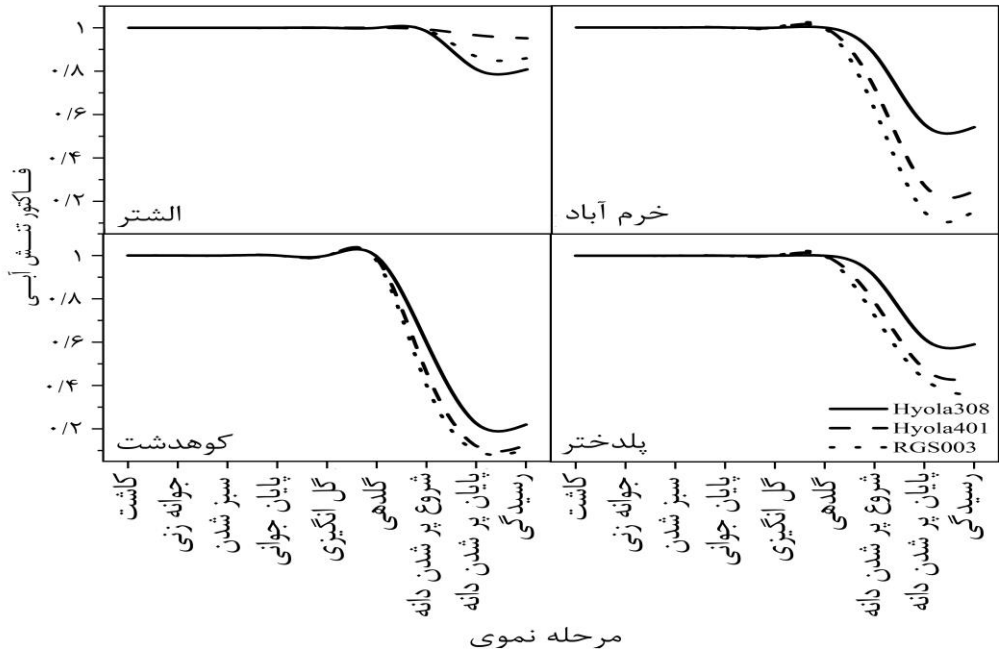
شکل ۶: سرعت رشد نسبی ارقام کلزا (Hyola308، Hyola401 و RGS003) در شهرستان‌های مورد مطالعه (الشتر، خرم‌آباد، کوهدشت و پلدختر)

شاخص تنش خشکی

باتوجه به شکل ۷، شدت تنش آب در طول دوره رشد کلزا متفاوت بود. در تمام مناطق (به جز از الشتر) و ارقام، در طی مراحل کاشت تا گل دهی تنش آبی مشاهده شده نشد (WSF > 0.7) در حالی که تنش‌های شدید (WSF <0.7) عمدتاً پس از گل‌دهی رخ داد و تا زمان رسیدگی ادامه داشت. در منطقه خرم‌آباد تنش آبی برای رقم RGS003 زودتر (ابتدای پر شدن دانه) از ارقام Hyola401 و Hyola308 شروع شد و WSF کمتر از ۰/۷ بود. در منطقه کوهدشت فاکتور تنش آبی برای سه رقم یکسان بود و از مرحله ابتدای پر شدن دانه تنش آبی شروع و تا انتهای فصل رشد ادامه داشت. در منطقه پلدختر تنش آب برای سه رقم مورد بررسی یک مرحله نموی دیرتر نسبت به کوهدشت آغاز شد و ارقام کلزا، WSF کمتر از ۰/۷ را در مرحله انتهای پرشدن دانه تجربه کردند. همچنین در منطقه الشتر برای سه رقم تنش آبی شدید

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

مشاهده نشد؛ به‌طوری‌که به‌صورت میانگین در طول فصل رشد WSF برای ارقام Hyola308، Hyola401 و RGS003 به ترتیب برابر با ۰/۹۶، ۰/۹۷ و ۰/۹۸ بود (شکل ۷). الگوی تنش خشکی مناطق و ارقام مورد بررسی نشان می‌دهد که در بیش‌تر مناطق به جز الشتر مدیریت آبیاری مناسب در اواخر دوره رشد کلزا می‌تواند به بهبود عملکرد و تولید دانه این محصول زراعی در شهرستان‌های مورد بررسی کمک کند. در شهرستان الشتر به عنوان یک منطقه سرد به علت بارندگی بالا و میانگین دمای کم در طول فصل رشد (جدول ۱)، تبخیر کاهش می‌یابد و به موازات آن نیاز آبی کم می‌شود. مرادی اقدم و همکاران (۱۳۹۷) بیان داشتند که در شرایط آب و هوایی معتدل سرد، عامل آبیاری نسبت به تاریخ کاشت دارای اهمیت کم‌تری هست. نتایج همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص WSF نیز مثبت و معنی‌دار بود و نشان می‌هد با افزایش مقدار WSF و نزدیک شدن آن به یک عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد (شکل ۵). رحیمی مقدم و عینی نرگسه (۱۴۰۱) بیان نمودند که الگوهای مختلف تنش خشکی در بوم نظام‌های تولید گندم دیم در شمال غرب کشور وجود دارد و بر این اساس پیشنهاد کردند که کشاورزان از ارقامی با طول دوره رسیدگی کم برای اجتناب از تنش خشکی آخر فصل و ارقامی با مقاومت بالا به تنش خشکی به ویژه در دوره گل‌دهی استفاده کنند.



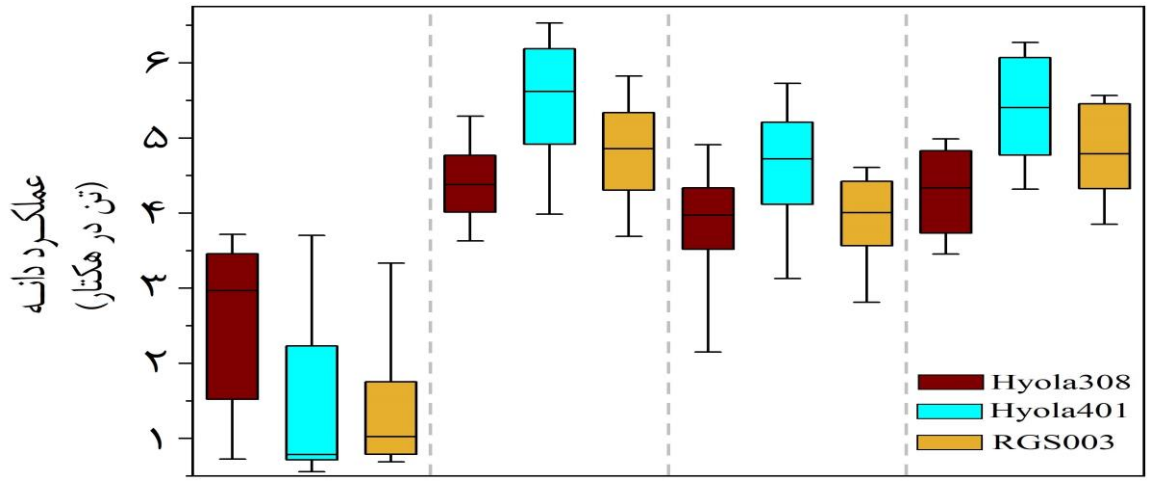
شکل ۷: فاکتور تنش آبی (WSF) در طول مراحل نموی ارقام کلزا (Hyola308، Hyola401 و RGS003) در مناطق مورد شهرستان‌های (الشتر، خرم‌آباد، کوهدشت و پلدختر)

عملکرد دانه

به‌طور میانگین برای همه‌ی مناطق و ارقام مختلف، میانگین عملکرد کلزا در سطح استان لرستان برابر با ۴/۲ تن در هکتار بود (شکل ۸). در مناطق مختلف عملکرد دانه از ۱/۹ تن در هکتار در شهرستان الشتر تا ۴/۸ تن در هکتار در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

شهرستان پلدختر دارای تغییرات بود. همچنین به‌طور میانگین مقدار عملکرد دانه برای ارقام Hyola308، Hyola401 و RGS003 به ترتیب برابر با ۳/۹، ۴/۵ و ۴ تن در هکتار بود. بیشینه عملکرد دانه نیز مربوط به رقم Hyola401 و شهرستان پلدختر (۵/۴ تن در هکتار) بود. به‌طور کلی برای همه‌ی مناطق به جز منطقه الشتر رقم Hyola401 توانست عملکرد بالاتری تولید کند در حالی که در منطقه الشتر رقم Hyola308 (۲/۵ تن در هکتار) بیشینه تولید را داشت (شکل ۸).



شکل ۸: عملکرد دانه ارقام کلزا (Hyola308، Hyola401 و RGS003) در شهرستان‌های مورد مطالعه (الشتر، خرم‌آباد، کوهدشت و پلدختر). طول باکس پلات‌ها نشان‌دهنده تغییرات سال‌های مختلف (۲۰۲۰ -۱۹۸۰) می‌باشد

به‌طور کلی برتری رقم Hyola401 نسبت به ارقام دیگر را می‌توان به شاخص‌های رشدی آن مرتبط دانست. این رقم با داشتن شاخص سطح برگ و سرعت رشد نسبی و محصول بالاتر می‌تواند ماده خشک بیش‌تری تشکیل دهد که نهایتا این ماده خشک می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه شود (شکل‌های ۲، ۳، ۴، ۶ و ۸). نتایج همبستگی عملکرد دانه و شاخص‌های مذکور نیز بیانگر و موید این موضوع نیز می‌باشد به‌طوری‌که عملکرد دانه با شاخص‌های سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و ماده خشک کل به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۸۸، ۰/۸۱، ۰/۶۸ و ۰/۷۸ارتباط مثبت و معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت (شکل ۵). در ارزیابی شاخص‌های رشد و روابط همبستگی صفات هشت رقم کلزا نشان داده شد که همبستگی بین شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد (سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول و ماده خشک تجمعی) و عملکرد دانه مثبت و معنی‌داری است (براتی و همکاران، ۱۳۹۳). در گیاه کلزا تولید بیش‌تر مواد پرورده نهایتا باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. در گیاه مذکور تعداد نهایی غلاف‌ها و دانه‌ها در یک دوره چهار هفته‌ایی، تعیین می‌شود و بستگی زیاد به استمرار ماده‌سازی دارد. روابط بین منبع و مخزن در این فاز بر میزان ماده‌سازی مؤثر است (Eweida *et al.*, 1981). محققان به این نتیجه رسیده‌اند که برگ‌ها از نقش کلیدی در فتوسنتز گیاه برخوردارند و ماده خشکی که در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

طول دوره رشد رویشی تجمع می‌یابد، در مرحله پر شدن دانه‌ها، با انتقال به اندام‌های ذخیره‌ای، رشد خورجین و پر شدن دانه را تأمین می‌کند. بین تجمع ماده خشک تا زمان گل‌دهی با تعداد خورجین در بوته رابطه خطی وجود دارد. دوره گل-دهی بحرانی‌ترین مرحله در کلزا می‌باشد که روی عملکرد دانه مؤثر است. تعداد نهایی خورجین‌ها و دانه‌ها در این دوره چهار هفته‌ای که وابستگی زیادی به شیره‌ی پرورده دارد، تعیین می‌شود بنابراین ارتباط بین منبع و مخزن طی این دوره به شیره پرورده قابل دسترس، بستگی دارد (Dipenbrock, 2000). همچنین عملکرد بالاتر کلزا در منطقه پلدختر نسبت به مناطق دیگر را می‌توان به مقدار بیش‌تر آب قابل دسترس خاک نسبت داد (جدول ۱). بسیاری از مطالعه‌ها نشان دهنده اثر ویژگی‌های خاکی بر عملکرد دانه هستند (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2021a,b; Chenu *et al.*, 2013; Kholov´a *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای بیان شد که در غرب و جنوب استرالیا با ظرفیت نگهداری آب خاک ۱۰۰ میلی-متر و منطقه شرق با ظرفیت نگهداری آب خاک ۱۵۰ میلی‌متر از لحاظ الگوی‌های خشکی گندم دیم تفاوت قابل توجهی وجود داشت (Chenu *et al.*, 2013).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شاخص‌های رشدی و تنش خشکی در سراسر مناطق مورد بررسی و ارقام کلزا متفاوت بودند. از نظر شاخص‌های رشدی، بیشینه سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و ماده خشک تجمعی در رقم Hyola401 در تمامی مناطق مورد بررسی به جز الشتر بدست آمد. این در حالی بود که در شهرستان الشتر بیشینه این شاخص‌ها در رقم Hyola308 بدست آمد. نتایج همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های رشدی نشان داد که بین عملکرد دانه و این شاخص‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح پنج درصد وجود دارد. در زمینه شاخص تنش آبی (کمتر از ۰/۷) مشخص شد که ارقام کلزا تنش خشکی را بعد از مرحله گل‌دهی تجربه می‌کنند و مدیریت آبیاری پس از گل‌دهی می‌تواند عملکرد دانه را بهبود ببخشد و این شاخص با عملکرد دانه نیز همبستگی معنی‌دار و مثبت نشان داد. برای مناطق پلدختر، خرم آباد و کوهدشت، رقم Hyola401 بهترین کارکرد را نظر تولید عملکرد دانه داشت و این رقم برای این مناطق پیشنهاد می‌شود. برای شهرستان الشتر ارقام مورد بررسی عملکرد بالایی را نشان ندادند بنابراین پیشنهاد می‌شود برای این شهرستان ارقام دیگر مورد بررسی قرار گیرند تا برای این شهرستان نیز رقمی با تولید بهینه و بالا معرفی شود.

منابع

اصغری لالمی، ه.، ولدآبادی، س.، یزدانی، م.، ذاکرین، ح.، قلی‌پور، م. ۱۳۹۹. ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری تناوبی بر شاخص‌های فیزیوژیکی رشد و میزان آب مصرفی چهار رقم برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان. بوم‌شناسی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

کشاورزی. ۱۲(۴): ۶۱۲-۵۹۵.

براتی، م.، عزیزی، م.، اباذریان، ر. و آروین، پ. ۱۳۹۳. ارزیابی شاخص‌های رشد و روابط همبستگی صفات هشت رقم کلزا در تاریخ‌های کاشت مطلوب و تاخیری. پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر. ۱(۱۱): ۱-۷.

بی‌نام. ۱۴۰۲. آمارنامه محصولات زراعی. معاونت برنامه‌ریزی اقتصادی، مرکز آمار، فناوری اطلاعات و ارتباطات، وزارت جهاد کشاورزی. ۱۰۳ صفحه.

جبّاری، ح.، اکبری، غ.، خوش خلق سیما، ن.، شیرانی راد، ا.، اله دادی، ا. و تاجدینی، ف. ۱۳۹۴. بررسی ویژگی های زراعی، فیزیولوژیک و کیفی کلزا تحت تنش آبی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۸(۱): ۳۵-۴۹.

حمزه‌پور، غ.، توبه، ا. و شیخ‌زاده، پ. ۱۳۹۶. مطالعه همبستگی و تجزیه رگرسیون بین صفات کمی و کیفی در ارقام مختلف کلزا (*Brassica napus* L) در آرایش‌های مختلف کاشت. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۹ (۳۱): ۱۵۸-۱۷۱.

خلعت بری، ا.، ولد آبادی، س.، شیرانی راد، ا.، سیف زاده، س.، ذاکرین، ح. ۱۳۹۹. واکنش شش هیبرید زمستانه کلزا به تنش خشکی در تاریخ‌های کاشت مختلف. علوم گیاهان زراعی ایران. ۵۱(۴): ۱۲۱-۱۳۱.

دالوند، ا.، شیرانی راد، ا.، خورگامی، ع. و پزشک‌پور، پ. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر مقادیر و روش‌های تقسیط کود نیتروژن بر خصوصیات کیفی کلزا (رقم هایولا۴۰۱) درشهرستان خرم آباد. اولین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم. ۸ اسفند ۱۳۹۱، همدان، ایران.

رحیمی مقدم، س. و عینی نرگسه، ح. ۱۴۰۱. شناسایی الگوهای مختلف خشکی گندم دیم در شمال غرب ایران با استفاده از مدل APSIM. تولیدات گیاهی. ۴۵(۳): ۴۳۵-۴۴۶.

رضایی زاده، ع.، محمدی، و.، زالی، ع.، زینالی، ح. و مردی، م. ۱۳۹۰. بررسی صفات مهم زراعی و روابط بین آنها تحت شرایط آبیاری طبیعی و تنش خشکی در رگه‌های هاپلویید مضاعف کلزا. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۲(۴): ۶۸۳-۶۹۴.

سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۴۰۳. سازمان ملی استاندارد ایران، اداره کل استاندارد استان لرستان، معرفی استان لرستان.

علیزاده، ف.، زعفریان، ف.، ترابی، ب.، عباسی، ر. ۱۴۰۰. بررسی اثر تراکم بوته بر شاخص‌های رشدی ارقام مختلف کلزا (*Brassica napus* L) در شرایط آب و هوایی مازندران. مجله تولید گیاهان زراعی. ۱۴(۳): ۱۰۷-۱۴.

فانی، ا.، حسیبی، پ.، مسکرباشی، م.، مهدی خانلو، خ. و سیداحمدی. س. ۱۳۹۸. ارزیابی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیس بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ارقام کلزا. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱(۴۲): ۵-۱۵.

مرادی اقدم، ا.، سیف زاده، س.، شیرانی راد، ا.، ولد آبادی، س. و ذاکرین. ح. ۱۳۹۷. اثر قطع آبیاری بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ارقام کلزا تحت تاریخ‌های مختلف کاشت. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۰(۳۸): ۵۹ -۷۶.

موسوی، س.، وفابخش، ج. و صدرآبادی حقیقی، ر. ۱۳۸۹. اثر تنش کم آبی بر کار آیی مصرف آب ارقام کلزا (*Brassica napus* L) در شرایط مشهد. بوم شناسی کشاورزی. ۲(۳): ۴۸۶-۴۹۱.

Bell, J.G., McGhee, F., Campbell, P.J. and Sargent, J.R. 2003. Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): changes in flesh fatty acid

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

composition and effectiveness of subsequent fish oil wash out. Aquaculture. 218: 515–528.

Chenu, K., Deihimfard, R. and Chapman, S.C. 2013. Large-scale characterization of drought pattern: a continent-wide modelling approach applied to the Australian wheatbelt–spatial and temporal trends. New Phytologist. 198(3): 801–820.

Chenu, K., Porter, J.R., Martre, P., Basso, B., Chapman, S.C., Ewert, F., Bindi, M. and Asseng, S. 2017. Contribution of crop models to adaptation in wheat. Trends in Plant Science. 22(6): 472-490.

Cochran, W.G. 1977. "Sampling Techniques" (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Deihimfard, R., Rahimi-Moghaddam, S. and Chenu, K. 2019. Risk assessment of frost damage to sugar beet simulated under cold and semi-arid environments. International Journal of Biometeorology. 63: 511.

He, D., Wang, E., Wang, J. and Robertson, M.J. 2017. Data requirement for effective calibration of process-based crop models. Agricultural and Forest Meteorology. 234: 136-148.

Dipenbrock, W. 2000. Yield analysis of the winter oilseed rape (Brassica napus L): a review. Field Crops Research. 67: 35-49.

Eweida, M.T., Hagras, A., Fayed, M.H., Kafour, E.L. and Abdel-Ruouf, E.L. 1981. Influence of some nutrient elements on plant characters, seed yield and quality in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Research Bulletin fsculty of Agriculture, Ainshams University. No, 1437, 18 pp.

Eyni-Nargeseh, H., Deihimfard, R., Rahimi-Moghaddam, S. and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2019. Analysis of growth functions that can increase irrigated wheat yield under climate change. Meteorological Applications. 27(1): 1804.

FAO, 2021. FAOSTAT. Rome, Italy.

Hegewald, H., Wensch-Dorendorf, M., Sieling, K. and Christen, O. 2018. Impacts of break crops and crop rotations on oilseed rape productivity: A review. European Journal of Agronomy. 101: 63-77.

Kazi, B.R., Oad, F.C., Jamro, G.H., Jamil, L.A. and Lakho, A.A. 2002. Correlation study between irrigation frequencies and brassica plant character. Journal of Applied Sciences, 2(6): 625-627.

Kholov´a, J., McLean, G., Vadez, V., Craufurd, P. and Hammer, G.L. 2013. Drought stress characterization of post-rainy season (rabi) sorghum in India. Field Crops Research. 141: 38–46.

Mansour, E., Abdul-Hamid, M.I., Yasin, M.T., Qabil, N. and Attia, A. 2017. Identifying drought-tolerant genotypes of barley and their responses to various irrigation levels in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management. 194: 58–67.

Prescott, J.A. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

Transactions of the Royal Society of South Australia. 64: 114-118.

Rahimi-Moghaddam, S., Eyni-Nargeseh, H., Kalantar Ahmadi, S.A. and Azizi, K., 2021a. Towards withholding irrigation regimes and drought-resistant genotypes as strategies to increase canola production in drought-prone environments: A modeling approach. Agricultural Water Management. 243: 106-487.

Rahimi-Moghaddam, S., Deihimfard, R., Azizi, K. and Roostaei, M. 2021b. Characterizing spatial and temporal trends in drought patterns of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) across various climatic conditions: a modelling approach. European Journal of Agronomy. 129: 126333.

Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J. and Deihimfard, R. 2018. Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: a model-based assessment. Agricultural and Forest Meteorology. 253: 1-14.

Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J. and Deihimfard, R., 2019. Optimal genotype× environment× management as a strategy to increase grain maize productivity and water use efficiency in water-limited environments and rising temperature. Ecological Indicators. 107: 105-570.

Ramos, M.J., Fernandez, C.M., Casas, A., Rodriguez, L. and Perez, A. 2009. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. Bioresource Technology. 100: 261–268.

Roa, M.S. and Mandham, N.J. 1991. Soil plant-water relations of oilseed rape (*B.napus, B.compestris*). Journal Agriculture Science. 117, 197-205.

Robertson, M.J., Holland, J.F., Kirkegaard, J.A. and Smith, C.J. 1999. Simulating growth and development of canola inAustralia. In Proceedings 10th International Rapeseed Congress, 26th–29th September, Canberra, Australia.

Robertson, M.J. and Lilley, J.M. 2016. Simulation of growth, development and yield of canola (*Brassica napus*) in APSIM. Crop and Pasture Science. 67(4): 332-344.

Seifert, E. 2014. OriginPro 9.1: Scientific Data Analysis and Graphing Software—Software Review. Journal of Chemical Information and Modeling. 54: 1552–1552.

Uddin, M.A., Sultana, F., Ullahı, M.A., Rahman, K.M. and Mashrafi, M.M. 2012. Evaluation of some rapeseed mutants based on growth attributes. Journal of Agroforestry and Environment. 6: 117-120.

Ursin, V.M. 2003. Modification of plant lipids for human health: development of functional land-based omega-3 fatty acids. Journal of Nutrition. 133: 4271–4274.

Zhang, H. and Flottmann, S. 2016. Seed yield of canola (Brassica napus L.) is determined primarily by biomass in a high-yielding environment. Crop and Pasture Science. 67(4): 369-380.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]

Simulating growth and drought stress indices of rapeseed cultivars in Lorestan province

M. Sadeghi[1], S. Rahimi-Moghaddam[2]*, E. Mohammadi-Ahmadmahmoudi[3] and K. Azizi[4]

1, 2 & 4) Department of Production Engineering and Plant Genetics, Lorestan University, Khorramaad, Iran.
3) Department of Agroecology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

*Corresponding author: rahimi.s@lu.ac.ir

This article is an excerpt from a master's thesis.

Received date: 2023.04.29 **Accepted date: 2023.08.16**

Abstract

Rapeseed is the third most important oilseed crop globally, following soybean and oil palm. Evaluating the growth and drought indices of different cultivars is essential for identifying the most suitable cultivar for specific regions to optimize production. This study was conducted in four counties of Lorestan province, including Aleshtar, Khorramabad, Kuhdasht, and Pol-e Dokhtar, to simulate the growth and drought indices of three rapeseed cultivars (Hyola308, Hyola401, and RGS003) using modeling techniques. The APSIM model was employed to simulate the growth and yield of rapeseed. Across all counties, Hyola401 exhibited the highest values for leaf area index (LAI) (4.7), crop growth rate (CGR) (21.1 g m^{-2} day^{-1}), relative growth rate (RGR) (0.8 g g^{-1}), and total dry weight (TDW) (1507.4 g m^{-2} day^{-1}). Grain yield ranged from 21.1 tons ha^{-1} in Aleshtar to 4.8 tons ha^{-1} in Pol-e Dokhtar. On average, the grain yield for Hyola308, Hyola401, and RGS003 cultivars across the counties was 3.9, 4.5, and 4 tons ha^{-1}, respectively. Regarding the water stress factor (WSF), no water stress was observed in Aleshtar; however, in the other counties, water stress began after the flowering stage and persisted until maturity. The drought pattern analysis indicated that, except in Aleshtar, effective irrigation management during the latter stages of rapeseed growth could enhance grain yield in the studied counties.

Key words: Relative growth rate, Leaf area index, Grain yield and Water stress index.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-04-04]