Plant Prod., 2025, 48(2), 327 - 345
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.47907.2203
Received: 3 September 2024
Accepted: 1 January 2025

Plant Productions
Research Article

Evaluation of withholding irrigation on different canola cultivars under autumn cultivation conditions: a simulation study

Mozhgan Sadeghi[1], Sajjad Rahimi-Moghaddam[2*], Esmaeil Mohammadi-Ahmadmahmoudi[3], Khosro Azizi[4]

1. M.Sc. Student, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
2. Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
3. Ph.D. Graduate, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
4. Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Citation: Sadeghi, M., Rahimi-Moghaddam, S., Mohammadi-Ahmadmahmoudi, E., Azizi, KH. (2025). Evaluation of withholding irrigation on different canola cultivars under autumn cultivation conditions: a simulation study. *Plant Productions,* 48(2), 327 - 345.

Abstract

Introduction
Canola is a crucial industrial crops in the country's oil production in order to produce high-quality edible oil. However, the challenges related to water allocation to the spring crops at the end of the autumn canola growth period have become one of the obstacles to achieving optimal production levels for this crop. Addressing this challenge is essential for enhancing the productivity and sustainability of rapeseed farming in the country. Due to the high cost and time-intensive nature of field experiments, calibrated crop models are widely used as efficient alternatives. In this regard, simulating different irrigation management scenarios for canola yield is a practical and effective approach.

Materials and Methods
This research aimed to evaluation the effect of withholding irrigation treatments on different growth stages of autumn canola production. It also seeks to identify the suitable canola cultivar and the optimal growth stage for implementing withholding irrigation through a long-term simulation experiment using the APSIM-canola simulation model. It was carried out in four counties of Lorestan province including Khorramabad, Pol-e Dokhtar, Kuhdasht and Aleshtar in Faculty of Agriculture, Lorestan University. For this purpose, in the first step, the model was evaluated using two independent data sets. The cultivars included Hyola308, Hyola401 and RGS003 (early, mid and late maturity cultivars, respectively), and the irrigation treatments of the

* **Corresponding Author:** Sajjad Rahimi-Moghaddam
E-mail: Email: rahimi.s@lu.ac.ir

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

study included full irrigation, withholding irrigation at the flowering stage, withholding irrigation at the pod initiation stage, and withholding irrigation at the grain filling stage.

Results and Discussion

The evaluation of the APSIM-canola simulation model demonstrated that this model has a good capability to accurately predict autumn canola grain yield evidenced by an estimation error (nRMSE) of 18%. The results showed that the variability of the autumn canola grain yield across all of the studied locations, different treatments of withholding irrigation and cultivars was significant. Notably, the highest yield was recorded at 4.49 t ha^{-1} in Khorramabad, while the lowest was 1.96 t ha^{-1} in Aleshtar. Furthermore, the analysis of dry matter production indicated a considerable variability across different locations and treatments in a way that the highest and lowest amount of dry matter between location belonged to Khorramabad and Aleshtar (17.80 and 8.89 t ha^{-1}, respectively). The research findings highlighted the crucial role of climatic conditions, particularly air temperature, in informing management practices such as cultivar selection and irrigation strategies. Based on this, the use of Hyola401 mid maturity cultivar in Pol-e Dokhtar, Khorramabad and Kuhdasht counties along with full irrigation throughout the growing season resulted in the highest grain yields of 5.38, 5.36, and 4.49 t ha^{-1}, respectively. It was while in Aleshtar (with cooler temperature condition compared to other locations) employing the early maturity cultivar of Hyola308 coupled with withholding of irrigation before the end of the growing season led to the highest amount of grain yield (2.64 t ha^{-1}) in this region.

Conclusion

The findings of this research indicate that in the cultivation of autumn canola, it is crucial to consider climatic factors, particularly air temperature, as well as the accessibility of water resources when selecting the appropriate cultivar. Specifically, under conditions where water availability is restricted, opting for early-maturing and mid-maturing cultivars can serve as an effective strategy. This approach not only mitigates the adverse impacts of water scarcity but also contributes to the sustainable production of canola in various regions. By aligning cultivar selection with the specific climatic and water conditions of an area, farmers can enhance crop resilience and ensure a more stable yield, ultimately supporting the agricultural sustainability of their communities.

Keywords: APSIM model, Evapotranspiration, Length of the growing season, Seed yield, Water limitation

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۴، ۴۸(۲)، ۳۲۷ -۳۴۵
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.47907.2203
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

بررسی تولید کلزای پاییزه تحت تیمارهای آبیاری و ارقام مختلف کلزا: مطالعهٔ شبیه‌سازی

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

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۳- دانش‌آموخته دکتری، گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۴- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

چکیده

کلزا به دلیل داشتن روغن خوراکی با کیفیت، جایگاه ویژه‌ای در تولید روغن مورد نیاز کشور دارد. با این حال مشکلات مربوط به تخصیص آب در اواخر دورهٔ رشد کلزای پاییزه به محصولات بهاره، یکی از موانع تولید بهینه این محصول در کشور شده است. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف شناسایی مناسب‌ترین رقم و بهترین مرحلهٔ رشدی کلزا برای قطع آبیاری در چهار شهرستان خرم‌آباد، پلدختر، کوهدشت و الشتر استان لرستان انجام شد. این پژوهش به صورت آزمایش بلندمدت شبیه‌سازی و با به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی APSIM-canola در دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه لرستان صورت پذیرفت. به این منظور در گام اول مدل مورد نظر با استفاده از دو سری دادهٔ مستقل مورد ارزیابی قرار گرفت. ارقام مورد بررسی در این پژوهش شامل رقم‌های Hyola308، Hyola401 و RGS003 و تیمارهای آبی شامل آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی، قطع آبیاری در مرحلهٔ غلاف‌دهی و قطع آبیاری در مرحلهٔ پر شدن دانه بودند. پس از اعمال تیمارهای پژوهش، عملکرد دانه و مادهٔ خشک کلزا مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. ارزیابی مدل نشان داد که این مدل با مقدار خطای برآورد ۱۸ درصد توانایی شبیه‌سازی عملکرد دانه کلزای پاییزه را دارد. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که عملکرد دانه و مادهٔ خشک کلزای پاییزه در بین مناطق مورد بررسی، تیمارهای مختلف قطع آبیاری و ارقام مورد بررسی تغییرپذیری قابل‌توجهی داشت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار میانگین عملکرد دانه کلزای پاییزه به‌ترتیب در شهرستان‌های خرم آباد (۴/۴۹ تن در هکتار)و الشتر (۱/۹۶ تن در هکتار) بود. بررسی مقدار مادهٔ خشک تولید شده نیز نشان داد بیشترین و کمترین مقدار ماده خشک در بین مناطق مورد بررسی به ترتیب به شهرستان‌های خرم آباد و الشتر (به ترتیب ۱۷/۸۰ و ۸/۸۹ تن در هکتار) تعلق داشت. یافته‌های پژوهش نشان داد که تفاوت شرایط دمایی مناطق مورد بررسی اهمیت بالایی در اختلاف عملکرد و تولید مناطق مورد بررسی داشت و همچنین تأثیر بسزایی در انتخاب شیوه‌های مدیریتی مانند انتخاب رقم و تیمار آبیاری داشت. بر این اساس، استفاده از رقم میان رس Hyola401 در شهرستان‌های پلدختر، خرم‌آباد و کوهدشت و آبیاری کامل تا انتهای فصل رشد به‌ترتیب با ۵/۳۸، ۵/۳۶ و ۴/۴۹ تن در هکتار منجر

* **نویسنده مسئول:** سجاد رحیمی مقدم
رایانامه: rahimi.s@lu.ac.ir

به بیشترین عملکرد دانه شد، در حالی که در شهرستان الشتر (با شرایط دمایی خنک‌تر) استفاده از رقم زودرس Hyola308 و عدم آبیاری تا انتهای فصل رشد منجر به بیشترین مقدار عملکرد دانه (۲/۶۴ تن در هکتار) در این منطقه شد. این نتایج نشان داد که در زراعت کلزای پاییزه توجه به شرایط اقلیمی منطقه (به ویژه دمای هوا) و در دسترس بودن منابع آبی می‌تواند تأثیر بسزایی در نوع رقم کشت شده داشته باشد. در واقع در شرایط محدودیت آبی، کشت ارقام زودرس و میان‌رس با توجه به شدت محدودیت می‌تواند راهکاری مناسب برای کاهش اثرات کم آبی و کمک به پایداری تولید هر منطقه باشد.

کلیدواژه‌ها: تبخیر و تعرق، طول فصل رشد، عملکرد دانه، محدودیت آبی، مدل APSIM

مقدمه

روغن‌های خوراکی از زمان‌های بسیار دور یکی از اجزای اصلی و مهم تشکیل دهندهٔ غذای انسان بوده و در گروه کالاهای مصرفی ضروری قرار دارند (Irannezhad and Hosseini, 2006). از این‌رو، دانه‌های روغنی که پایه و مادهٔ اولیه تولید روغن گیاهی هستند (Tavassoli *et al.,* 2021) نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی جوامع بشری ایفا می‌کنند و همواره مورد توجه محققین بخش کشاورزی در داخل و خارج از کشور قرار دارند (Eyni-Nargeseh *et al.,* 2022; Mokhtassi-Bidgoli *et al.,* 2022; Pashang *et al.,* 2021; Zanetti *et al.,* 2021).

کلزا (*Brassica napus L.*) یکی از گیاهان زراعی مهم برای تولید روغن خوراکی است (Crous *et al.,* 2021) که با سطح زیر کشت تقریبی ۴۰ میلیون هکتار، پس از سویا دومین گیاه دانه روغنی عمدهٔ جهان محسوب می‌شود (FAO, 2022). در ایران، کلزا با حدود ۱۵۳ هزار هکتار سطح زیر کشت در سال ۱۴۰۱، بیشترین سطح کشت را در بین گیاهان روغنی داشت (Anonymous, 2023).

از مهم‌ترین ویژگی‌هایی که سبب تمایز این گیاه زراعی شده است می‌توان به انعطاف‌پذیری آن در سازگاری با شرایط آب و هوایی متنوع، دارا بودن ژنوتیپ‌های پاییزه و بهاره، کنترل علف‌های هرز، ارزش تناوبی بالا (Alizadeh *et al.,* 2019)، تولید عملکرد بالا، دارا بودن روغنی با کیفیت مطلوب (با بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع) (Warner and Jones, 2017) و تأمین کنجاله و سوخت‌های زیستی اشاره کرد. این ویژگی‌ها باعث شده است که کلزا به عنوان نقطهٔ امیدی برای تأمین روغن خوراکی مورد نیاز کشور به شمار آید (Alizadeh *et al.,* 2019). کلزا با توجه به خصوصیات 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 به ویژه در مناطقی با اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک به کار برده شود (Hegewald *et al.,* 2018).

سازمان فضایی آمریکا (ناسا) طی گزارشی در مورد افزایش گرمایش جهانی و خشکسالی در ۳۰ سال آینده جهان، از ۴۵ کشور به عنوان مناطق در معرض شدید خشکسالی نام برده و کشور ایران نیز در این فهرست قرار دارد (Naumann *et al.,* 2018). خشکی می‌تواند به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کنندهٔ رشد و بهره‌وری بسیاری از محصولات کشاورزی از جمله کلزا در ایران محسوب گردد (Jabbari *et al.,* 2013) که می‌تواند موجب کاهش عملکرد محصول شود (Safavi Fard *et al.,* 2018). صرفه‌جویی در مصرف آب در پایان فصل رشد کلزا که مصادف با مراحل ابتدایی آبیاری محصولات بهاره است، برای کشاورزان مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت قابل توجهی دارد، زیرا کشاورزان اغلب آب آبیاری کافی برای اختصاص همزمان به محصولات پاییزه و بهاره را ندارند. بنابراین، با قطع آبیاری در زمان مناسب در انتهای فصل رشد، می‌توان این آبیاری‌ها را به محصولات رقیب اختصاص داد (Safavi Fard *et al.,* 2018). با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک در ایران، محدودیت منابع آبی در دهه‌های آتی و سازگاری گیاه کلزا نسبت به خشکی، تعیین واکنش این گیاه زراعی به قطع آب آبیاری در مراحل پایانی رشد محصول در مناطق مختلف در جهت

افزایش بهره‌وری آبی آن و صرفه‌جویی در مصرف آب اهمیت بالایی دارد.

با توجه به این که انجام پژوهش‌های مزرعه‌ای علاوه بر هزینه زیاد، نیازمند اختصاص وقت و دقت زیاد برای اجرای صحیح طرح آزمایشی است؛ و بررسی سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری بر عملکرد کلزا نیز از این قاعده مستثنی نبوده، استفاده از مدل‌های گیاهی واسنجی شده توسط بسیاری از محققان پیشنهاد شده است (Egdernezhad *et al.,* 2019; Heidarybeni *et al.,* 2018). این مدل‌ها برای بررسی اثرات مختلف قابل استفاده هستند که می‌توان به مطالعات تغیر اقلیم (Eyni-Nargeseh *et al.,* 2020)، بررسی مدیریت کاشت (Deihimfard *et al.,* 2019)، ارزیابی اثر رقم (Rahimi-Moghaddam *et al.,* 2018)، بررسی خلاء عملکرد محصول (Mohammadi-Ahmadmahmoudi *et al.,* 2020) و ارزیابی کارایی مصرف آب (Rahimi-Moghaddam *et al.,* 2019) در محصولات مختلف اشاره نمود. این مدل‌ها با صرفه‌جویی در هزینه به کارشناسان کمک می‌کنند تا بتوانند اثر تیمارهای مختلف از جمله آبیاری را بر گیاهان مختلف بررسی کنند.

مدل زراعی APSIM، یک مدل جامع فرایندگرا برای شبیه‌سازی رشد و تولید گیاهان زراعی و سیستم‌های زراعی است که توسط واحد تحقیقات APSRU ابداع شده است (Keating *et al.,* 2003). در خصوص استفاده از این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد کلزا تاکنون مطالعات متعددی در ایران (Heidarybeni *et al.,* 2018)، استرالیا (Zeleke *et al.,* 2014)، ایالات متحده (George and Kaffka, 2017) و چین (Shaykewich and Bullock, 2020) انجام شده است. در پژوهشی، محققان با هدف افزایش تولید و بهبود کارایی مصرف آب در استان‌های خوزستان و لرستان با کمک مدل APSIM-Canola به شبیه‌سازی تولید و کارایی مصرف آب ارقام مختلف کلزای بهاره پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از یک رقم متوسط رس مانند Hyola401 در هر دو اقلیم معتدل و گرم می‌تواند باعث افزایش کارایی مصرف آب و پایداری سیستم‌های تولید کلزا گردد (Rahimi-Moghaddam *et al.,* 2023).

در پژوهشی دیگر بر روی قابلیت مدل APSIM در شبیه‌سازی رشد و نمو و عملکرد گیاه کلزا در کشورهای استرالیا، چین و آلمان گزارش شد که مقدار RMSE برای برآورد روز تا گلدهی گیاه کلزا حدود ۵ روز و برای عملکرد دانه حدود ۰/۴ تن در هکتار بود (Robertson and Lilley, 2016).

با توجه به نیاز بالای کشور به تأمین روغن خوراکی، افزایش عملکرد در واحد سطح دانه‌های روغنی به یکی از اهداف مهم کشاورزی در کشور تبدیل شده است. با این حال، با توجه به محدودیتی که در منابع آبی در کشور وجود دارد، افزایش تولید دانه‌های روغنی در شرایط محدودیت آب نیازمند اتخاذ شیوه‌های مدیریتی مناسب می‌باشد. بنابراین شناخت دقیق مراحل رشد و نمو گیاه کلزا و بررسی عکس‌العمل هر مرحلهٔ رشدی نسبت به قطع آبیاری و اعمال تنش خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرف دیگر، با توجه به این‌که کشت محصولات بهاره مانند چغندرقند و صیفی‌جات در اواسط اردیبهشت‌ماه در استان لرستان صورت می‌گیرد و همزمانی حضور این محصولات در مزرعه با مراحل پایانی فصل رشد گیاه کلزا موجب تداخل در اختصاص آب موجود بین این گیاهان می‌گردد. لذا هدف از این مطالعه بررسی اثرات قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بر تولید کلزای پاییزه و همچنین تعیین مناسب‌ترین رقم و بهترین مرحله رشدی کلزا برای قطع آبیاری در جهت دستیابی به حداکثر عملکرد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و اقلیم مناطق مورد مطالعه

این تحقیق در دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه لرستان و در چهار شهرستان استان لرستان (شهرستان‌های خرم‌آباد، پلدختر، کوهدشت و الشتر) انجام شد. استان لرستان در جنوب غربی ایران در بین طول‌های جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی واقع شده ویژگی‌های اقلیمی شهرستان‌های مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است.

Table 1. Climatic properties of studied counties

	Month	Rainfall (mm)	Temp. (°C)				Month	Rainfall (mm)	Temp. (°C)		
			Min	Max	Mean				Min	Max	Mean
Aleshtar	Oct	34.3	4.5	24.9	14.7	Khorramabad	Oct	25.3	9.2	27.5	18.3
	Nov	64.4	0.6	15.8	8.2		Nov	61.7	4.3	18.5	11.4
	Dec	78.0	-2.9	11.3	4.2		Dec	82.9	0.7	12.9	6.8
	Jan	63.9	-5.1	8.4	1.6		Jan	71.5	-0.9	10.8	4.9
	Feb	71.0	-3.3	10.8	3.8		Feb	76.4	0.3	12.8	6.6
	Mar	69.9	-0.1	15.5	7.7		Mar	87.8	3.3	17.1	10.2
	Apr	75.2	3.7	20.0	11.9		Apr	61.6	7.3	22.7	15.0
	May	25.4	6.4	25.8	16.1		May	23.4	11.0	29.0	20.0
	Jun	0.3	8.7	32.5	20.6		Jun	1.1	14.9	36.1	25.5
Pol-e Dokhtar	Oct	27.9	18.8	32.0	25.4	Kuhdasht	Oct	27.6	8.1	27.6	17.9
	Nov	52.0	10.7	21.4	16.1		Nov	59.1	3.5	18.1	10.8
	Dec	77.9	6.4	15.9	11.1		Dec	58.4	0.1	13.2	6.7
	Jan	65.3	5.0	14.2	9.6		Jan	57.1	-1.3	10.7	4.7
	Feb	47.1	6.7	16.5	11.6		Feb	56.8	-0.1	12.8	6.3
	Mar	54.3	10.2	21.6	15.9		Mar	48.5	2.3	17.5	9.9
	Apr	50.7	15.0	27.2	21.1		Apr	50.0	6.2	22.7	14.4
	May	17.9	21.3	34.5	27.9		May	22.7	9.9	29.4	19.6
	Jun	0.5	26.6	41.0	33.8		Jun	0.4	14.1	36.1	25.1

مدل شبیه‌سازی APSIM-canola و داده‌های مورد نیاز

مدل APSIM در قالب یک چارچوب مدل‌سازیِ سیستم‌های کشاورزی (Keating *et al.,* 2003) با به‌کارگیری ورودی‌هایی مثل دما، فتوپریود، تشعشع، مقدار آب خاک و مقدار فراهمی نیتروژن به شبیه‌سازی رشد، نمو فنولوژیک، مقدار عملکرد و تجمع نیتروژن گیاه زراعی در فاصله‌های زمانی روزانه می‌پردازد (Shaykewich and Bullock, 2020). این مدل شبیه‌سازی در بردارندهٔ تعداد زیادی ماژول (ماژول‌های مختص به انواع گیاهان زراعی، ماژول آب خاک، ماژول نیتروژن و ماژول بقایا) بوده (Zeleke *et al.,* 2014) که فرآیندهای مربوط به گیاه (طیف گسترده‌ای از گیاهان زراعی، مرتعی و درختی)، خاک (موازنه آب خاک، تغییرات نیتروژن و فسفر خاک، اسیدیته و فرسایش خاک)، اقلیم و مدیریت را توصیف می‌کنند و با کمک آن‌ها رشد و تولید گیاه زراعی را شبیه‌سازی می‌کند (Gaydon, 2014).

ماژول APSIM-canola برای بار نخست در سال ۱۹۹۹ توسط رابرتسون و همکاران (Robertson *et al.,* 1999) برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه کلزا در استرالیا معرفی و استفاده شد و به‌دنبال آن، توسط پژوهشگران مختلف در نقاط مختلف دنیا مانند چین (He *et al.,* 2017)، ایالات متحده (George *et al.,* 2018)، آلمان (Hoffmann *et al.,* 2015) و ایران (Rahimi-Moghaddam *et al.,* 2021)، برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه کلزا مورد استفاده قرار گرفت.

داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل‌های شبیه‌سازی زراعی شامل داده‌های اقلیمی، خاکی، مدیریتی و ژنتیکی می‌باشد. شرط ابتدایی برای به‌کارگیری یک مدل شبیه‌سازی در یک منطقه و اطمینان به خروجی‌های آن، استفاده از داده‌های ژنتیکی صحیح و دقیق بر اساس شرایط آن منطقه می‌باشد که می‌بایست مدل مورد استفاده با استفاده از اطلاعات ثبت شده گیاهی از دنیای واقعی واسنجی و اعتبارسنجی گردد. با توجه به این‌که ماژول APSIM-canola پیش‌تر برای ارقام مختلف کلزا در منطقه ایران واسنجی و اعتبارسنجی شده بود (Rahimi-Moghaddam *et al.,* 2021)، بنابراین در این تحقیق از ضرایب ژنتیکی واسنجی شده پژوهش مذکور برای اجرای مدل استفاده شد (جدول ۲).

Table 2. The genetic coefficient of the different genotypes obtained from APSIM-Canola model calibration

Coefficient	Cultivar			Unit
	RGS003	Hyola401	Hyola308	
Cumulative thermal time required from emergence to end of juvenile	350	300	235	°Cd
Maximum thermal time required to complete the juvenile process at no vernalisation	500	460	395	°Cd
Cumulative thermal time required from flowering to start grain-filling	200	200	200	°Cd
Maximum vernal days required to complete the vernalisation process	25	25	25	day

با توجه به این که ارزیابی مدل در شرایط اقلیمی گرم صورت گرفته است، برای ارزیابی بیشتر مدل تحت شرایط اقلیمی مختلف به‌ویژه اقلیم‌های معتدل و سرد از داده‌های مزرعه‌ای دو مطالعه دالوند و همکاران (Dalvand *et al.*, 2013) و حمزه‌پور و همکاران (Hamzehpour *et al.*, 2018) استفاده شد. در این دو پژوهش سه رقم مورد بررسی در مطالعه ما تحت تیمارهای مختلف کود نیتروژون و تراکم کشت مورد مطالعه قرار گرفته بودند که با توجه به هدفمان، از اطلاعات مناسب گزارش شده در این مقالات استفاده گردید. شاخص‌های آماری مورد استفاده برای ارزیابی مدل شامل ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE)، میانگین اریب خطا (MBE)، شاخص سازگاری ویلموت (d-index)، و خط یک به یک بودند روابط ۱ الی ۳؛ (Wallach *et al.*, 2018; Willmott, 1982).

$$nRMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}}$$ رابطهٔ ۱)

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}(O_i - S_i)$$ رابطهٔ ۲)

$$d - index = 1 - \frac{\sum_{1}^{n}(O_i - S_i)^2}{\sum_{1}^{n}(|O_i - \bar{O}| + |S_i - \bar{O}|)^2}$$ رابطهٔ ۳)

در روابط ۱ تا ۳ O، S و $\bar{O}$ به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ مقدار عملکرد مشاهده شده، مقدار عملکرد شبیه‌سازی شده و میانگین مقادیر عملکردهای مشاهده شده بوده و n تعداد مشاهدات را نشان می‌دهد. هرچه مقدار شاخص‌های ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده و میانگین اریب خطا کمتر بوده و به صفر نزدیک‌تر باشند حاکی از دقت بیشتر مدل می‌باشد. مقدار شاخص سازگاری ویلموت بین ۰ و ۱ متغیر بوده که مقدار ۱ نشان‌دهندهٔ حداکثر دقت مدل در برآورد محصول است. علاوه بر این، در صورتی که شیب خط رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده انطباق بیشتری با خط ۱ به ۱ داشته باشد بیانگر برآورد بهتر مدل می‌باشد. داده‌های اقلیمی مورد نیاز شامل اطلاعات روزانه تشعشع دریافتی (مگاژول بر مترمربع در روز)، دمای بیشینه و کمینه (درجه سانتی‌گراد) و بارندگی (میلی‌متر) بود که برای ۴ شهرستان به صورت بلندمدت (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ میلادی) از سازمان هواشناسی کشور تهیه شدند. داده‌های خاکی نیز شامل وزن مخصوص ظاهری خاک ، حجم آب خاک در نقطه اشباع، حجم آب خاک در نقطه ظرفیت مزرعه و حجم آب خاک در نقطه پژمردگی بود. این اطلاعات از مقالات علمی استخراج و مورد استفاده قرار گرفتند(جدول ۳). علاوه بر داده‌های فوق، اطلاعات مدیریتی مورد نیاز برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد کلزای پاییزه شهرستان‌های مختلف توسط مدل، شامل اطلاعات مربوط آبیاری، نوع ارقام غالب، نوع خاکورزی (مرسوم)، تراکم کشت (۸۰ بوته در مترمربع)، عمق کاشت (۳ سانتی‌متر)، فاصله کشت (۳۰ سانتی‌متر)، تاریخ کاشت و مقدار کود ازت مصرفی بودند که با جمع‌آوری پرسشنامه از کارشناسان جهاد کشاورزی هر شهرستان تهیه گردید (جدول ۳).

Table 3. Soil properties and management data in the studied counties

County	Bulk density ($g.cm^{-3}$)	Soil water content at wilting point ($cm^3\ cm^{-3}$)	Soil water content at field capacity ($cm^3.cm^{-3}$)	Saturation water content ($cm^3.cm^{-3}$)	Sowing date	Nitrogen fertilizer ($kg.ha^{-1}$)
Khorramabad	1.28	0.231	0.392	0.518	23-Sep	119.6
Aleshtar	1.28	0.242	0.395	0.515	1-Sep	121.4
Pol-e Dokhtar	1.38	0.062	0.286	0.475	17-Oct	138
Kuhdasht	1.34	0.259	0.396	0.500	12-Oct	116

تیمارهای پژوهش و آنالیز خروجی‌های مدل

این پژوهش به صورت آزمایش شبیه‌سازی بلندمدت و با استفاده از رهیافت شبیه‌سازی در سطح ۴ شهرستان خرم آباد، کوهدشت، پلدختر و الشتر انجام شد و تیمارهای پژوهش شامل تیمارهای رقم و رژیم آبیاری بودند. ارقام انتخاب شده شامل سه رقم زودرس (Hyola308)، میان‌رس (Hyola401) و دیررس (RGS003) بودند که معیار انتخاب نوع رقم در هر گروه رسیدگی، اطلاعات به‌دست آمده از پرسشنامه و غالبیت رقم مورد نظر در محدودهٔ مورد مطالعه بود. تیمارهای رژیم آبیاری نیز شامل چهار تیمار آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی، قطع آبیاری در مرحلهٔ غلاف‌دهی و قطع آبیاری در مرحلهٔ پر شدن دانه بودند. پس از اعمال تیمارهای پژوهش و انجام شبیه‌سازی‌های بلندمدت در مناطق مورد بررسی، صفاتی مانند عملکرد دانه، کل مادهٔ خشک تولیدی، طول فصل رشد، میانگین دمای هوا و مقدار تبخیر و تعرق واقعی از مدل خروجی گرفته شد و مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. به منظور تجزیه و تحلیل صفات مذکور و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای EXCEL و OriginPro (Seifert, 2014) استفاده شد. همچنین رسم نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS انجام شد.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل شبیه‌سازی APSIM-canola

مقایسه بین مقدار عملکرد دانه شبیه‌سازی شده با کمک مدل APSIM-canola و مقادیر برداشت شده از مزرعه در ارقام مختلف نشان‌دهندهٔ توانایی مطلوب این مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه کلزا بود. بر این اساس، مقدار عملکرد برداشت شده در شرایط واقعی از تیمارهای مختلف بین ۱/۵۹ تا ۳/۲۵ تن در هکتار متغیر بود در حالی که کمترین و بیشترین برآورد صورت گرفته توسط مدل برای این تیمارها به‌ترتیب برابر با ۱/۲۵ تا ۳/۵۵ تن در هکتار بود (شکل ۱).

بررسی شیب خط رگرسیونی بین مقادیر عملکرد دانه پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی و مقایسه آن با خط یک به یک در شکل ۱ نیز حاکی از برآورد قابل قبول در تمام محدوده مقادیر عملکرد مورد پیش‌بینی بود. بررسی شاخص آماری ریشه دوم میانگین مربعات خطای نرمال شده (درصد خطای برآورد) نیز نشان داد که مدل APSIM-canola با حدود ۱۸ درصد خطای برآورد، دقت خوبی در برآورد عملکرد دانه کلزای پاییزه داشت در حالی که به طور کلی، برآوردهای صورت گرفته توسط این مدل به میزان ۰/۰۶۰ تن در هکتار کمتر از مقادیر برداشت شده از تیمارهای مورد بررسی بود. بررسی مقدار شاخص d-index به‌دست آمده (برابر با ۰/۷۹) نیز بیانگر سازگاری قابل قبول بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده شده عملکرد دانه بود (شکل ۱).

در پژوهشی در استان لرستان، توانایی مدل شبیه‌سازی APSIM در شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان گندم و کلزا با خطای برآورد ۸/۶ درصد، ارزیابی شد (Soltani *et al.*, 2024). در پژوهشی دیگر از مدل APSIM برای رشد و عملکرد گیاه کلزا در ایالات متحده استفاده شد. نتایج نشان داد که این مدل توانایی خوبی در برآورد عملکرد دانه کلزا در شرایط مختلف آبی را با مقدار خطای برآورد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار دارد (George and Kaffka, 2017).

عملکرد دانه و مادهٔ خشک کلزای پاییزه

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه و ماده خشک تولید شده در کلزای پاییزه (جدول ۴) نشان داد که تغییرات این دو متغیر در بین مناطق، ارقام، تیمارهای آبیاری در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. علاوه بر این نتایج نشان‌داد که برهم‌کنش منطقه و رقم و همچنین منطقه و تیمار آبیاری نیز در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

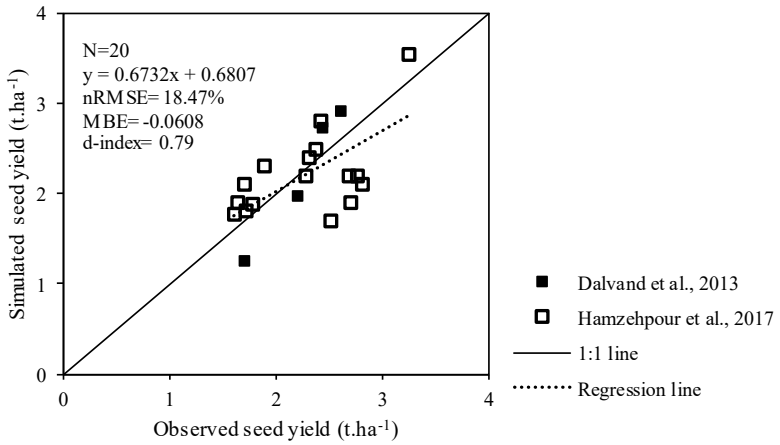


Figure 1. Validation of APSIM-canola model for simulation of canola seed yield in cold and temperate climate

Table 4. Analysis of variance for seed yield and biomass of canola in response to different treatments

S.O.V	Df	Mean Square	
		yield	biomass
Location	3	393699308**	5091161498**
Cultivar	2	28113215**	117941855**
Irrigation	3	17482347**	288228504**
Location×Cultivar	6	15942053**	142417419**
Location×Irrigation	9	3295160**	45993959**
Cultivar×Irrigation	6	283210n.s	4419168n.s
Location×Cultivar× Irrigation	18	114809n.s	1058646n.s
Error	1419	749474	10481613
CV (%)	-	22.98	21.40

ns and ** are non-significant and significant at the 1 percent probability levels.

بررسی عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در مناطق مورد مطالعه بیانگر تغییرات قابل توجه عملکرد دانه کلزای پاییزه در بین مناطق مورد بررسی بود. نتایج نشان داد خرم‌آباد با ۴/۴۹ تن در هکتار (میانگین تمام تیمارهای مورد بررسی) در مقایسه با سایر مناطق عملکرد بیشتری را ثبت نمود در حالی که در شهرستان الشتر مقدار میانگین عملکرد به‌دست آمده به ازای هر هکتار معادل ۱/۹۶ تن بود و از این حیث ضعیف‌ترین شهرستان بین مناطق مورد بررسی بود. در واقع این اختلاف قابل توجه بین مناطق مورد بررسی (۲/۵۳ تن در هکتار) به نوعی با موقعیت جغرافیایی مناطق نیز مرتبط بود به شکلی که مقدار عملکرد در مناطق جنوبی (خرم‌آباد و پلدختر) در مقایسه با مناطق شمالی (الشتر و کوهدشت) بیشتر بود (شکل ۲). تغییرپذیری عملکرد دانه در هر منطقه در بلندمدت (بین سال‌های شبیه‌سازی) نیز در مناطق مختلف متنوع بود به شکلی که در مناطق جنوبی استان مانند پلدختر و خرم‌آباد میانگین انحراف معیار بین سال‌های شبیه‌سازی به‌ترتیب برابر با ۰/۶۳ و ۰/۷۷ تن در هکتار بود در حالی که در شهرستان‌های کوهدشت و الشتر به‌ترتیب ۰/۹۲ و ۱/۱۳ تن در هکتار بود.

ارزیابی ارقام مختلف نشان داد که واکنش عملکرد گیاه کلزا در مناطق مورد بررسی به تغییر رقم متفاوت بود. مقایسه عملکرد ارقام مختلف کلزا به تفکیک مناطق نشان داد که اختلاف عملکرد به‌دست آمده از این ارقام بین ۰/۶۰ تا ۱/۱۱ تن در هکتار (به‌ترتیب در کوهدشت و الشتر) متغیر بود. بررسی‌ها نشان داد که به طور کلی استفاده از رقم میان‌رس Hyola401 در خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت و همچنین رقم زودرس Hyola308 در الشتر منجر به دست‌یابی به

عملکرد بیشتر در مقایسه با سایر ارقام (به‌ترتیب ۴/۹۷، ۴/۸۹، ۳/۷۵ و ۲/۶۰ تن در هکتار) می‌گردد. این تفاوت در واکنش ارقام مورد بررسی در الشتر در مقایسه با سایر مناطق به نظر ناشی از تفاوت دمایی قابل توجه شهرستان الشتر با دیگر مناطق بود. در الشتر، محدودیت دمایی (دمای هوای کم‌تر) امکان استفاده مؤثر ارقام با طول رسیدگی طولانی‌تر از منابع محیطی را محدود کرده و در مقابل استفاده از ارقام زودرس به دلیل انطباق بهتر با شرایط این منطقه منجر به عملکردهای بیشتر شد. نتایج به‌دست آمده همچنین نشان داد که کشت رقم Hyola308 در خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت کمترین عملکرد برداشت شده از واحد سطح را (به‌ترتیب ۴/۱۸، ۴/۰۱ و ۳/۱۵ تن در هکتار) به همراه داشت و در شهرستان الشتر نیز کمترین عملکرد دانه به کشت رقم دیررس RGS003 به میزان ۱/۴۹ تن در هکتار تعلق داشت (شکل ۲).

واکنش گیاه کلزا به تغییر رژیم آبیاری بسته به منطقه و شرایط اقلیمی هر منطقه متفاوت بود. نتایج به‌دست آمده (شکل ۲) نشان داد که بیشترین عملکرد در شهرستان‌های خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت با انجام آبیاری کامل به‌ترتیب به میزان ۴/۸۲، ۴/۸۱ و ۴/۰۲ تن در هکتار به‌دست آمد، در حالی که قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی در این مناطق منجر به بیشترین کاهش عملکرد (به‌ترتیب ۰/۵۰، ۰/۶۲ و ۱/۰۶ تن در هکتار در مقایسه با تیمار آبیاری کامل) در مقایسه با سایر تیمارها شد. احتمالاً این کاهش عملکرد با قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی در این مناطق ناشی از کاهش تعداد غلاف‌های بارور در بوته باشد (Kumar and Singh, 1998). در واقع دورهٔ گلدهی از مهم‌ترین مراحل فنولوژیک گیاه کلزا بوده و نحوهٔ گذراندن این دوره، اثر قابل توجهی بر عملکرد دانه و تعداد خورجین در بوته کلزا دارد (Foroughi *et al.*, 2019). با توجه به این که میزان اثرگذاری یک تنش غیرزیستی علاوه بر ژنوتیپ گیاه زراعی و شدت و مدت تنش، به مرحلهٔ نموی که گیاه‌زراعی در آن قرار دارد بستگی دارد (Robertson and Holland, 2004)، بنابراین قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی در گیاه کلزا می‌تواند اثر زیادی بر تولید این محصول بگذارد. نتایج پژوهشی در کرمانشاه نیز نشان داد که قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی می‌تواند به شکل قابل ملاحظه‌ای بر روی رشد و عملکرد کلزای پاییزه تأثیر بگذارد (Soleimanpour *et al.*, 1388). واکنش عملکرد کلزا به تیمارهای آبیاری در الشتر در مقایسه با سایر مناطق متفاوت بود. عملکرد دانه کلزا در این منطقه با تغییر رژیم آبیاری تغییر قابل توجهی نداشت. با این حال، آبیاری کامل در این منطقه منجر به کمترین عملکرد (۱/۸۸ تن در هکتار) شد و قطع آبیاری در انتهای فصل رشد (هر سه تیمار قطع آبیاری) منجر به افزایش ۱۰۶ کیلوگرمی عملکرد دانه در این منطقه شد. به نظر می‌رسد که یکی از عوامل مهم در واکنش متفاوت گیاه کلزا به تغییر رژیم آبیاری در منطقه الشتر ناشی از تفاوت اقلیمی (بارش و دما) این منطقه با سایر مناطق به‌ویژه در دورهٔ زایشی رشد گیاه کلزا باشد که منجر به نیاز آبی کمتر آن و واکنش کمتر به تیمارهای آبیاری می‌گردد.

بررسی برهم‌کنش تغییر رژیم آبیاری و تغییر رقم (به عنوان دو راهکار بهبود تولید در کشت پاییزه کلزا) بر روی عملکرد دانه کلزا حاکی از تفاوت قابل توجه مناطق شمالی استان با سایر مناطق بود (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای آبیاری و رقم با استفاده از آزمون دانکن در سطح آماری پنج درصد نشان داد که در شهرستان الشتر بیشترین عملکرد دانه با کشت رقم زودرس Hyola308 و قطع آبیاری در انتهای فصل رشد (عدم تفاوت معنی‌دار بین سه تیمار قطع آبیاری) به میزان ۲/۶۳ تن در هکتار به‌دست آمد. بررسی خروجی‌های مربوط به تجزیه واریانس عملکرد دانه نیز نشان داد که انتخاب رقم مناسب در مقایسه با انتخاب روش آبیاری از اهمیت بیشتری برخوردار بود. در شهرستان الشتر نیز این موضوع ملموس بود به شکلی که استفاده از رقم دیررس RGS003 کاهش قابل توجه عملکرد را در این منطقه به همراه داشت که با قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی در این رقم کمترین عملکرد ممکن (۱/۴۸ تن در هکتار) به‌دست آمد. نتایج به دست آمده همچنین نشان داد که در شهرستان‌های خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت کشت رقم میان‌رس Hyola401 و انجام آبیاری تا انتهای فصل رشد در مقایسه با سایر تیمارها در سطح آماری پنج درصد متفاوت

بود و اعمال این تیمار حداکثر عملکرد دانه (به‌ترتیب ۵/۳۶، ۵/۳۸ و ۴/۴۹ تن در هکتار) را در پی داشت در حالی که کشت رقم زودرس و تسریع در قطع آبیاری (قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی) به‌ترتیب منجر به کاهش عملکرد به میزان ۲۴، ۲۸ و ۳۷ درصد در مقایسه با تیمار برتر در این مناطق شد (شکل ۲).

نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی‌ها نشان داد میانگین مادهٔ خشک تولید شده در سطح مزارع کلزای پاییزه در استان لرستان برابر با ۱۵/۱۳ تن در هکتار بود و مقدار میانگین آن در شهرستان‌های مورد بررسی بین ۸/۸۹ تا ۱۷/۸۰ تن در هکتار (به‌ترتیب در الشتر و خرم‌آباد) تغییرات داشت (شکل ۳).

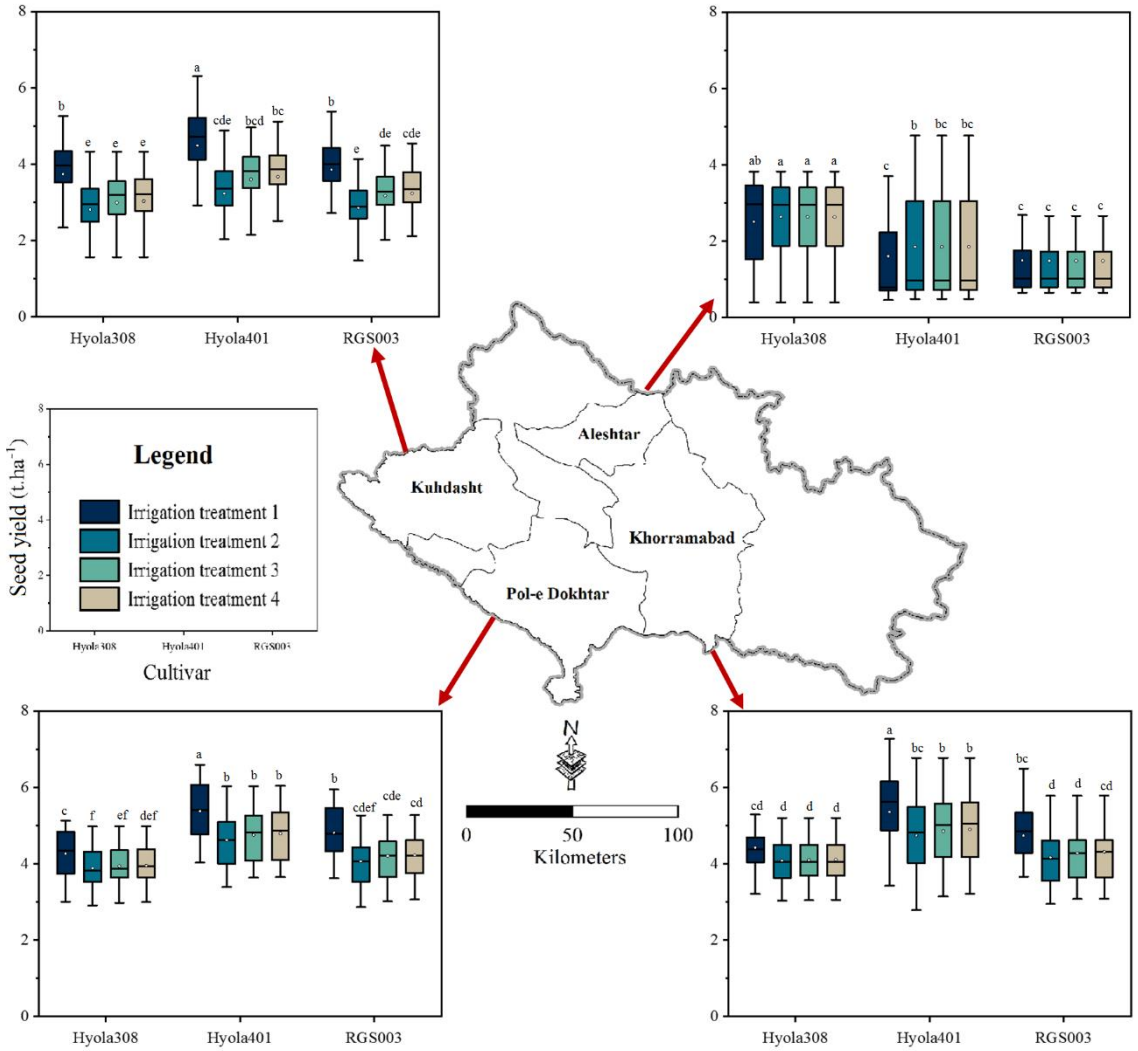


Figure 2. Seed yield of different autumn canola cultivars in response to irrigation treatments (1: full irrigation, 2: withholding irrigation at flowering stage, 3: withholding irrigation at pod initiation stage and 4: withholding irrigation at grain filling stage) in Khorramabad, Pol-e Dokhtar, Kuhdasht and Aleshtar. (the means with different letters in each column are significant at 5% probability level based on Duncan test). The length of boxplots indicates variability among years.

بررسی مادهٔ خشک تولیدی به تفکیک مناطق (شکل ۳) نشان‌داد که استفاده از ارقام مختلف نتایج متفاوتی را رقم زد. بر این اساس، کشت رقم RGS003 در خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت ماده خشک بیشتری را (به‌ترتیب ۱۹/۰۸، ۱۸/۸۷ و ۱۴/۳۰ تن در هکتار) در مقایسه با دو رقم دیگر تولید کرد؛ در حالی که در این مناطق با کشت رقم Hyola308 با توجه

به کوتاه بودن طول دورهٔ رسیدگی این رقم و عدم استفاده کامل از منابع محیطی، کمترین مادهٔ خشک ممکن (به‌ترتیب ۱۶/۸۳، ۱۶/۱۸ و ۱۲/۶۵ تن در هکتار) تولید شد. نتایج به دست آمده در شهرستان الشتر کاملا با سایر شهرستان‌ها متفاوت بود به شکلی که میانگین بیشترین و کمترین مادهٔ خشک تولید شده در این شهرستان بین ارقام مختلف به‌ترتیب با ۱۰/۶۴ و ۷/۹۳ تن در هکتار به ارقام زودرس Hyola308 و دیررس RGS003 تعلق داشت. به نظر می‌رسد با توجه به محدودیت دمایی در این شهرستان (جدول ۱) و نیاز ارقام دیررس به طول دورهٔ رشد طولانی‌تر (واحد دمایی بیشتر) جهت تکمیل مراحل نموی، شرایط برای تکمیل دوره‌های فنولوژیک رقم RGS003 مهیا نبوده و این رقم نتوانسته از پتانسیل‌های خود استفاده نماید در حالی که انطباق بهتر رقم Hyola308 با شرایط دمایی منطقه موجب رشد بهتر و تجمع مادهٔ خشک بیشتر در این رقم در شهرستان الشتر شده است.

مقایسه مادهٔ خشک تجمع یافته در تیمارهای آبیاری در مناطق مورد بررسی نیز حاکی از تفاوت واکنش این متغیر به تیمارهای آبیاری در مناطق مختلف بود. بررسی‌ها نشان داد که در سه منطقه خرم‌آباد، پلدختر و کوهدشت آبیاری کامل در مقایسه با تیمارهای قطع آبیاری به شکل قابل توجهی منجر به تولید بیشتر مادهٔ خشک گردید. میانگین مادهٔ خشک تولید شده با آبیاری کامل در شهرستان‌های پلدختر، خرم‌آباد و کوهدشت به‌ترتیب ۱۹/۱۸، ۱۹/۱۲ و ۱۵/۹۳ تن در هکتار بود در حالی که در تیمار قطع آبیاری در گلدهی به‌ترتیب برابر با ۱۶/۶۳، ۱۷/۱۰ و ۱۱/۸۵ تن در هکتار بود. نتایج یک پژوهش بر روی اثر تیمارهای آبیاری بر تولید ارقام مختلف کلزای پاییزه در کشور ترکیه نیز نشان داد که وقوع تنش آبی در زراعت کلزای پاییزه به شکل معنی‌داری عملکرد دانه و عملکرد زیست تودهٔ کلزای پاییزه را تحت تأثیر قرار داد (Dogan *et al.*, 2011). در شهرستان الشتر تغییر آبیاری تأثیر چندانی بر مقدار مادهٔ خشک تولید شده نداشت. در این منطقه مقدار مادهٔ خشک تولید شده در تیمارهای آبیاری بین ۸/۹۷ و ۸/۶۸ تن در هکتار متغیر بود و به‌ترتیب مربوط به تیمارهای قطع آبیاری (هر سه تیمار قطع آبیاری مقدار یکسانی داشتند) و تیمار آبیاری کامل بود.

نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تغییر رقم و تغییر آبیاری بر روی تولید مادهٔ خشک کلزا بیانگر اختلاف معنی‌دار تیمارهای مورد بررسی در سطح آماری پنج درصد با استفاده از آزمون دانکن بود. بر این اساس، در مناطق پلدختر، خرم‌آباد و کوهدشت اثر متقابل کشت رقم RGS003 و انجام آبیاری کامل در سطح آماری پنج درصد با سایر تیمارها متفاوت بود و منجر به دستیابی به بیشترین مقدار مادهٔ خشک کلزا در این شهرستان‌ها (به‌ترتیب ۲۱/۰۰، ۲۰/۶۵ و ۱۶/۷۹ تن در هکتار) شد. استفاده از رقم Hayola308 و قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی نیز در این مناطق منجر به حداقل مادهٔ خشک تولیدی در مقایسه با سایر تیمارها شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در الشتر برهم‌کنش تیمارهای قطع آبیاری و کشت رقم Hayola308 با ۱۰/۷۴ تن در هکتار، منجر به تولید بیشترین مقدار مادهٔ خشک کلزا شد و در مقابل کشت رقم Hayola401 و آبیاری تا انتهای فصل رشد کمترین مقدار مادهٔ خشک گیاه کلزا (۷/۶۸ تن در هکتار) را به همراه داشت. این نتایج نشان داد که در صورتی که شرایط دمایی در کشت پاییزه کلزا مهیا باشد، کشت ارقام دیررس منجر به تولید مادهٔ خشک بیشتر خواهد شد در حالی که استفاده از ارقام زودرس به دلیل عدم استفاده کامل از منابع محیطی تولید مادهٔ خشک کمتری را در پی خواهد داشت.

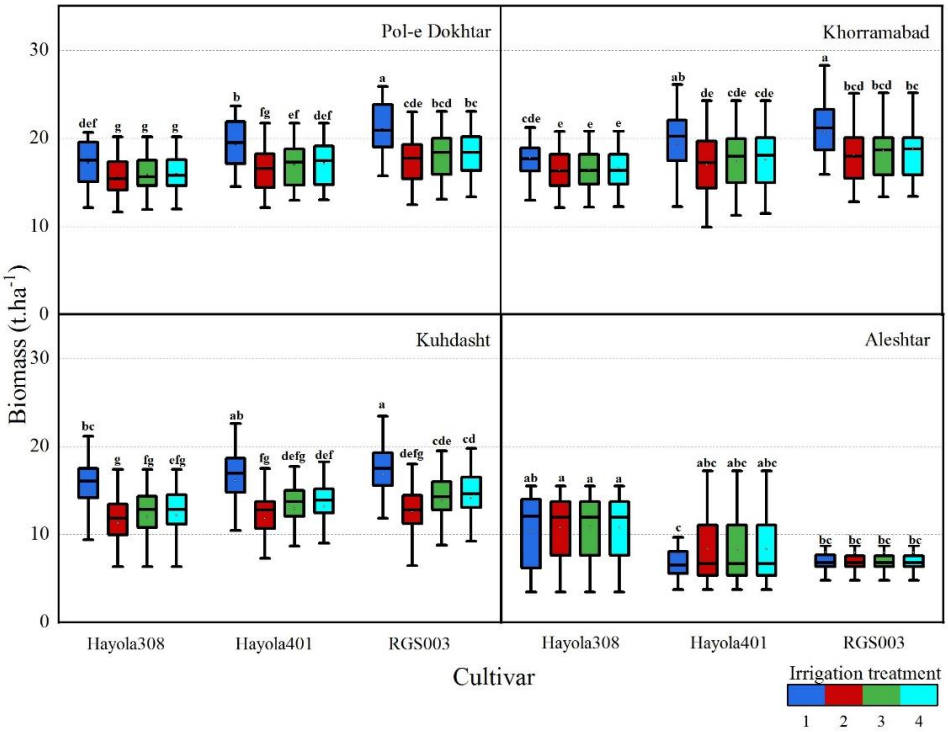


Figure 3. Dry matter of autumn canola in response to cultivars and irrigation treatments in the studied counties. (Means with different letters in each column are significant at 5% probability level based on Duncan test). The length of boxplots indicates variability among years.

تأثیر تغییر رقم و تیمارهای آبیاری

استفاده از ارقام با طول دورهٔ رسیدگی‌های متفاوت با تغیر زمان رسیدگی و همچنین تغیر در زمان‌بندی دوره‌های نموی موجب تغیر شرایط دمایی برای گیاه زراعی شده و موجب تغیر در تولید آن می‌گردد. علاوه بر این، تغیر رژیم آبیاری با تغیر مقدار آب در دسترس گیاه و تأثیر بر تبخیر و تعرق آن، مقدار تولید محصول را تغیر می‌دهد. بررسی ارتباط بین مقدار عملکرد دانه و مادهٔ خشک تولید شده با طول فصل رشد، میانگین دمای هوای در طول فصل رشد و همچنین میزان تبخیر و تعرق تجمعی گیاه کلزا (شکل ۴) نشان داد که میزان تولید و عملکرد گیاه کلزا در مناطق مورد بررسی به شکل معنی‌داری تحت تأثیر متغیرهای یاد شده بود.

این نتایج نشان‌داد که به طور میانگین افزایش طول فصل رشد در کلزای پاییزه در مناطق مورد بررسی موجب کاهش تولید شد به شکلی که در تمام مناطق مورد بررسی به ازای هر یک روز افزایش طول فصل رشد، عملکرد دانه و مادهٔ خشک کلزا به‌ترتیب ۲۳/۸ و ۷۹/۲ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد. بر این اساس به نظر می‌رسد که استفاده از ارقام دیررس مانند رقم RGS003 برای کشت پاییزهٔ کلزا در استان لرستان چندان معقول نمی‌باشد و به دلیل عدم هم‌خوانی مراحل رشدی در این ارقام با شرایط بوم‌شناختی مناطق مورد بررسی امکان دست‌یابی به تولید بالا مهیا نمی‌باشد. این موضوع احتمالاً ناشی از دورهٔ طولانی‌تر ارقام دیررس در تشکیل روزت باشد که در نتیجه گیاه زراعی به مقاومت کافی برای مقابله با سرمای زمستان دست نمی‌یابد. علاوه بر این به نظر می‌رسد که دورهٔ گلدهی در ارقام زودرس و میان رس در شرایط مساعدتری (خنک‌تر) در مقایسه با ارقام دیررس رخ می‌دهد که در نتیجه این ارقام استفاده بهتری از شرایط محیطی خواهند داشت. در پژوهشی بر روی ۲۵ رقم کلزای پاییزه در منطقه ارومیه مشخص شد که ارقامی که زودتر مراحل رشدی خود به‌ویژه مرحلهٔ روزت را تکمیل کردند به دلیل مقاوم‌سازی بهتر به سرما سازگاری بهتری داشتند و تولید بیشتری در مقایسه با سایر ارقام داشتند (Valdiani and Tajbakhsh, 2007). در پژوهشی گزارش شد که وقوع دورهٔ گلدهی کلزا در شرایط سردتر و مرطوب‌تر، برای تولید دانه کلزا بسیار مناسب خواهد بود (Kirkland and Johnson, 2000) که به نظر می‌رسد کشت ارقام زودرس و میان‌رس در مناطق مورد بررسی شرایط مساعدتری (خنک‌تر و مرطوب‌تر) برای دورهٔ گلدهی گیاه کلزا را فراهم می‌کند.

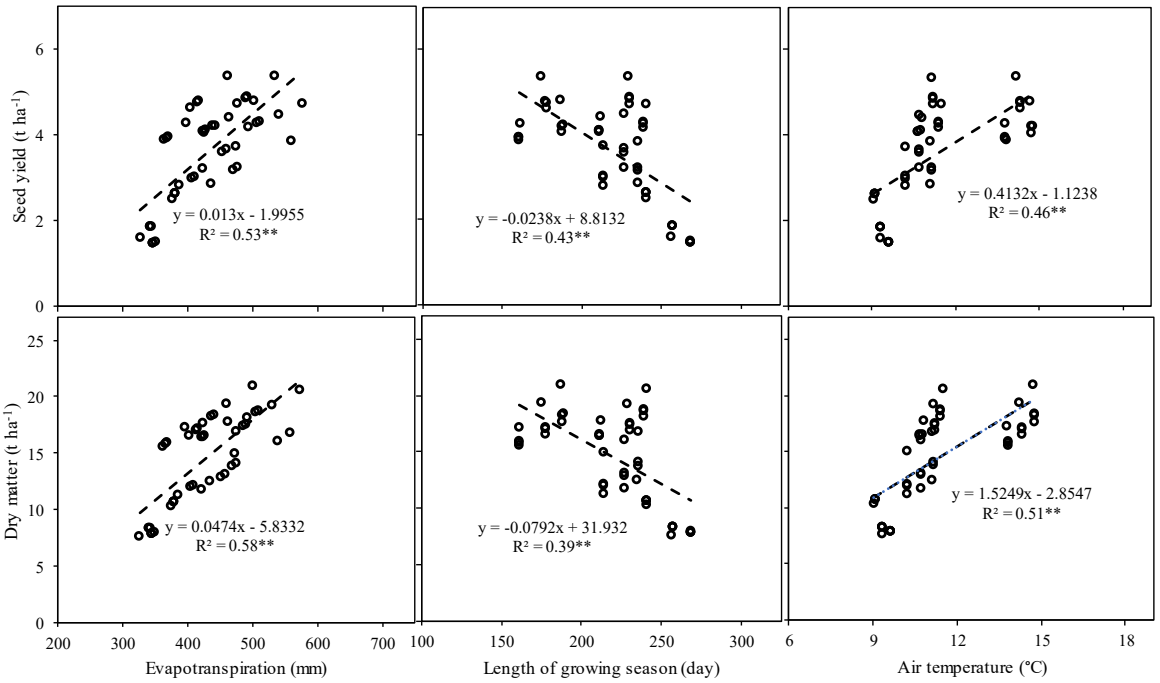


Figure 4. Regression relationship between seed yield and dry matter of autumn canola with the amount of evapotranspiration, length of the growing season and the average air temperature during growing season in the studied locations.

ارتباط بین میانگین دمای هوا با عملکرد دانه و همچنین مادهٔ خشک کلزای پاییزه حاکی از ارتباط مثبت و معنی‌دار بین این متغیر با صفات یاد شده در دامنهٔ دمایی مناطق مورد بررسی بود. این موضوع به نوعی به اثر تفاوت اقلیمی مناطق مورد بررسی (جدول ۱) اشاره دارد و نشان می‌دهد که با توجه به محدودیت دماهای کمینه در کشت پاییزهٔ کلزا، مناطق گرم‌تر به دلیل شرایط دمایی مطلوب‌تر در طول فصل زمستان شرایط مساعدتری را برای این محصول در طول فصل رشد فراهم می‌سازد. در واقع دمای هوا یکی از مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر عملکرد کلزا بوده (Vernon and Van Gool, 2006) که مدیریت مناسب مانند تغییر رقم با کمک به شرایط دمایی مناسب‌تر امکان تولید بیشتر کلزا به‌ویژه تولید مادهٔ خشک را فراهم می‌نماید. نتایج این پژوهش نشان داد که انتخاب رقم صحیح با توجه به تفاوت نیاز دمایی دوره‌های فنولوژیک در ارقام مختلف و تغییر طول فصل رشد به انطباق بهتر دورهٔ رشد کلزای پاییزه با شرایط دمایی آن منطقه خاص کمک می‌کند. این موضوع با بررسی میانگین دمای هوا در طول فصل رشد در بین ارقام مختلف مشهود است (شکل ۵). نتایج پژوهشی نیز نشان داد که انتخاب رقم مناسب تأثیر بسزایی بر موفقیت تولید کلزا در یک منطقه خاص دارد به گونه‌ای که انتخاب رقم مناسب در هر منطقه منجر به تولید مطلوب می‌گردد (Alizadeh *et al.*, 2019). مقایسهٔ ارتباط بین میانگین دمای هوا در کل مناطق با تولید کلزای پاییزه نشان‌داد در صورتی که دمای هوا در طول فصل رشد در یک منطقه یک درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، مقدار ماده خشک به شکل چشم‌گیری (به میزان ۱۵۲۵ کیلوگرم در هکتار) افزایش خواهد یافت که این افزایش در مقدار ماده خشک نیز تا حدی منجر به افزایش عملکرد به میزان ۴۱۳ کیلوگرم در هکتار به ازای هر درجه سانتی‌گراد می‌گردد.

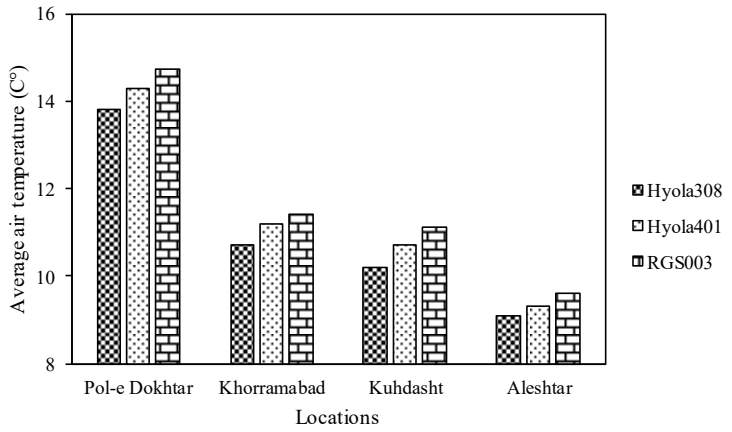


Figure 5. The average of air temperature during growth season in different cultivars of canola in the studied areas.

ارزیابی رابطه بین مقدار تبخیر و تعرق کل دورهٔ رشد با تولید و عملکرد کلزا در استان لرستان در تیمارهای مختلف آبیاری و رقم نیز نشان داد این متغیر به شکل معنی‌داری بر روی عملکرد و ماده خشک کلزا تأثیر دارد (شکل ۴). نتایج ارائه شده در شکل ۴ نشان داد که هر میلی‌متر افزایش در تبخیر و تعرق منجر به افزایش ۱۳ و ۴۷ کیلوگرمی در عملکرد و کل ماده خشک کلزا در تمام مناطق مورد بررسی شد. با توجه به تیمارهای آبیاری، این موضوع بیانگر اهمیت توجه به آبیاری گیاه کلزا در طول مرحلهٔ زایشی آن است. نتایج پژوهشی در منطقهٔ اصفهان نیز حاکی از ضرورت توجه به آبیاری کلزای پاییزه در مراحل پس از گلدهی تا انتهای دورهٔ رشد جهت دست‌یابی به عملکرد مطلوب بود (Soleymani *et al.*, 2011). در بررسی تأثیر رژیم‌های آبیاری بر ارقام مختلف کلزای پاییزه در منطقهٔ کرج نیز گزارش شد که قطع آبیاری در مراحل انتهایی رشد موجب کاهش عملکرد شده و استفاده از رقم متناسب با شرایط اقلیمی منطقه در شرایط محدودیت آبی در انتهای فصل رشد ضروری می‌باشد (Ghasemian Ardestani *et al.*, 2019).

مقایسه عملکرد دانهٔ کلزا در شرایط آبیاری کامل با تیمار قطع آبیاری در مرحلهٔ گلدهی در کل مناطق نشان داد که مقدار عملکرد در رقم Hayola308 نسبت به دو رقم دیگر با قطع آبیاری با شیب کمتری کاهش یافت (۳۸۴ کیلوگرم در هکتار مربوط به رقم Hayola308 در مقایسه با ۵۸۳ و ۵۹۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در ارقام RGS003 و Hayola401) که این موضوع بیانگر قابلیت رقم Hayola308 در سازگاری به شرایط محدودیت آب در انتهای فصل رشد کلزا است. با توجه به این که تنش خشکی در طول دورهٔ رسیدگی محصول موجب تاثیر منفی بر اجزای عملکرد گیاه زراعی مانند وزن هزار دانه می‌شود، بنابراین اعمال شیوه‌های مدیریتی صحیح برای کاهش اثرات این تنش می‌تواند به تولید بیشتر در شرایط محدودیت آبی و تنش خشکی کمک نماید. استفاده از ارقام با طول دورهٔ رشد کوتاه‌تر به عنوان یکی از مهم‌ترین راهکارهای سازگاری به تنش خشکی و گرمای آخر فصل برای تولید عملکرد مطلوب قابل توصیه است (Kianpour *et al.*, 2024; Faraji, 2015).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش واکنش ارقام مختلف کلزا با طول دورهٔ رسیدگی متفاوت به تیمارهای قطع آبیاری در کشت پاییزه کلزا با به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی APSIM مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی مدل نشان داد که توانایی این مدل در برآورد تولید کلزای پاییزه در مناطق مورد بررسی با خطای برآورد نزدیک به ۱۸ درصد مطلوب بود. بررسی عملکرد و مادهٔ خشک تولید شده در مناطق و تیمارهای مورد بررسی در این مطالعه بیانگر تغییرپذیری قابل توجه تولید ارقام مختلف کلزای پاییزه در مناطق مختلف و تیمارهای آبیاری مورد ارزیابی بود. بر اساس نتایج این مطالعه، دمای هوا یک عامل بسیار مهم در واکنش کلزا نسبت به مدیریت اعمال شده در

مزرعه بود. در واقع دمای هوا نقش مهمی در تفاوت تولید مناطق مورد بررسی را ایفا می‌کند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که به طور عمومی محدودیت آبی و قطع آبیاری در هر مرحلهٔ رشدی منجر به کاهش تولید خواهد شد و دست‌یابی به عملکرد حداکثری مستلزم توجه به آبیاری محصول تا انتهای فصل رشد می‌باشد. با این حال، انتخاب رقم مناسب (ترجیحاً ارقام میان‌رس و زودرس) در شرایط محدودیت آبی علاوه بر کاهش طول فصل رشد و کاهش نیاز به آبیاری، منجر به تفاوت در شرایط دمایی محصول شده و همچنین از مواجهه مراحل زایشی گیاه زراعی با دماهای بالای انتهای فصل رشد جلوگیری کند. در این پژوهش سه رقم Hyola308، Hyola401 و RGS003 با طول دورهٔ رسیدگی متفاوت ارزیابی شدند که در واقع ارقامی با ماهیت بهاره هستند، اما سابقهٔ کشت در پاییز را داشته‌اند. با این حال پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی ارقام جدید پاییزه نیز مورد ارزیابی قرار گیرند تا بتوان به راه‌حلی مناسب برای فایق آمدن بر چالش کم‌آبی دست یافت. همچنین پیشنهاد می‌گردد مدل‌های شبیه‌سازی برای برآورد عملکرد کیفی این محصول یعنی مقدار روغن تولیدی در واحد هکتار نیز در مطالعات آتی واسنجی و اعتبارسنجی گردند تا بتوان به شناخت دقیق‌تری از اثر تیمارهای قطع آبیاری بر تولید محصول کلزا دست یافت.

سپاس‌گزاری

این مقاله بر اساس نتایج یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد تحت حمایت دانشگاه لرستان می‌باشد و بدین‌وسیله از حمایت دانشگاه لرستان در این زمینه کمال تقدیر و تشکر را داریم.

References

Alizadeh, B., Yazdandust Hamedani, M., Rezaei Zad, A., Azizinia, S., Khiyavi, M., Shirani Rad, A. H., Javidfar, F., Pasban Eslam, B., Mostafavi Rad, M., Shariati, F., Rahmanpour Ozan, S., Alem Khumaram, M. H., Majd Nasiri, B., Amiri Oghan, H., & Zareei Siahbidi, A. (2019). Nima, new winter oilseed rape variety for cultivation in the cold and moderately cold regions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops, 8*(1), 61-76. [In Persian]

Anonymous. (2023). Agricultural statistics 1401-1402. Iranian Ministry of Agriculture Jihad, Center of Information and Communication Technology., 1. [In Persian]

Crous, I. R., Labuschagne, J., & Swanepoel, P. A. (2021). Nitrogen source effects on canola (Brassica napus L.) grown under conservation agriculture in South Africa. *Crop Science, 61*(6), 4352-4364.

Dalvand, A., Shirani Rad, A., Khorgami, A., & Pezeshkpour, P. (2013). Assessing the effect of amounts and distribution methods of nitrogen fertilizer on the qualitative characteristics of rapeseed (Hyola401) in Khorramabad County. First National Conference on Sustainable Agricultural Development and Healthy Environment, February 26, Hamedan, Iran. [In Persian]

Deihimfard, R., Rahimi-Moghaddam, S., & Chenu, K. (2019). Risk assessment of frost damage to sugar beet simulated under cold and semi-arid environments. *International Journal of Biometeorology, 63*, 511-521.

Dogan, E., Copur, O., Kahraman, A., Kirnak, H., & Guldur, M. (2011). Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. *Agricultural Water Management, 98*(9),1403-1408.

Egdernezhad, A., EbrahimiPak, N. A., Tafteh, A., & Ahmadee, M. (2019). Canola irrigation scheduling using AquaCrop Model in Qazvin plain. *Water Management in Agriculture, 5*(2), 53-64. [In Persian]

Eyni-Nargeseh, H., Shirani Rad, A. H., & Shiranirad, S. (2022). Does potassium silicate improve physiological and agronomic traits and oil compositions of rapeseed genotypes under well-watered and water-limited conditions? *Gesunde Pflanzen, 74*(4), 801-816.

Eyni-Nargeseh, H., Deihimfard, R., Rahimi-Moghaddam, S., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2020). Analysis of growth functions that can increase irrigated wheat yield under climate change. *Meteorological Applications, 27*(1), e1804.

FAO. (2022). *FAOSTAT Data*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.faostat.fao.org

Faraji, A. (2015). Evaluation relationships between seed number, used water in evapotranspiration and leaf relative water content with canola seed weight. *Journal of Crops Improvement, 17*(1), 257-270. [In Persian]

Foroughi, A., biabani, A., Rahemi Karizaki, A., & Rassam, G. (2019). Evaluation of adaptation of different varieties of Canola (*Brassica napus* L.) under the climatic conditions of Shirvan. *Journal of Crop Production, 12*(2), 33-56. [In Persian]

Gaydon, D. (2014). The APSIM model–An overview. *The SAARC-Australia project-developing capacity in cropping systems modelling for South Asia*, 15-31.

George, N., & Kaffka, S. (2017). Canola as a new crop for California: A simulation study. *Agronomy Journal, 109*(2), 496-509.

George, N., Thompson, S. E., Hollingsworth, J., Orloff, S., & Kaffka, S. (2018). Measurement and simulation of water-use by canola and camelina under cool-season conditions in California. *Agricultural Water Management, 196*, 15-23.

Ghasemian Ardestani, H., Jahan, M., & Shirani Rad, A. H. (2019). Evaluation of qualitative traits of selected cultivars of canola in autumn and winter crops affected by different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 12*(2), 429-443. [In Persian]

Hamzehpour, G., Tobeh, A., & Sheikhzadeh, P. (2018). Study of correlations and regression analysis between quantitative and qualitative characteristics in different cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.)in different planting pattern. *Journal of Plant Ecophysiology, 31*(9), 158-171. http://sanad.iau.ir/fa/Article/1083310 [In Persian]

He, D., Wang, E., Wang, J., & Lilley, J. M. (2017). Genotype× environment× management interactions of canola across China: A simulation study. *Agricultural and Forest Meteorology, 247*, 424-433.

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

Heidarybeni, M., Yazdanpanh, H., & Mehnatkesh, A. (2018). Impacts of Climate Change on Canola Yields and Phenology (Case Study: Chahrmahal Va Bakhtiari, Iran). *Physical Geography Research, 50*(2), 373-389. [In Persian]

Hoffmann, M. P., Jacobs, A., & Whitbread, A. M. (2015). Crop modelling based analysis of site-specific production limitations of winter oilseed rape in northern Germany. *Field Crops Research, 178*, 49-62.

Irannezhad, H., & Hosseini Mazinani, S. M. (2006). The effect of planting date on the seed yield of three varieties of oil flax in Varamin. *Journal of Agricultural Sciences, 11*(4), [In Persian]

Jabbari, H., Akbari, G. A., Sima, N. A. K. K., Rad, A. H. S., Alahdadi, I., Hamed, A., & Shariatpanahi, M. E. (2013). Relationships between seedling establishment and soil moisture content for winter and spring rapeseed genotypes. *Industrial Crops and Products, 49*, 177-187.

Keating, B. A., Carberry, P. S., Hammer, G. L., Probert, M. E., Robertson, M. J., Holzworth, D., Huth, N. I., Hargreaves, J. N., Meinke, H., & Hochman, Z. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy, 18*(3-4), 267-288.

Kianpour, S., Rahnama, A., Monsefi, A., &Abdolshahi, R. (2024). Evaluating morpho-phenological and yield traits of bread wheat cultivars and near-isogenic lines in response to terminal heat stress in Ahvaz, Iran. *Cereal Research,* 13(4), 331-349. [In Persian]

Kirkland, K. J., & Johnson, E. N. (2000). Alternative seeding dates (fall and April) affect Brassica napus canola yield and quality. *Canadian Journal of Plant Science, 80*(4), 713-719.

Kumar, A., & Singh, D. (1998). Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in OilseedBrassicaSpecies. *Annals of Botany, 81*(3), 413-420.

Mohammadi-Ahmadmahmoudi, E., Deihimfard, R., & Noori, O. (2020). Yield gap analysis simulated for sugar beet-growing areas in water-limited environments. *European Journal of Agronomy, 113*, 125988.

Mokhtassi-Bidgoli, A., AghaAlikhani, M., & Eyni-Nargeseh, H. (2022). Effects of nitrogen and water on nutrient uptake, oil productivity, and composition of Descurainia sophia. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 22*(1), 59-70.

Naumann, G., Alfieri, L., Wyser, K., Mentaschi, L., Betts, R. A., Carrao, H., Spinoni, J., Vogt, J., & Feyen, L. (2018). Global changes in drought conditions under different levels of warming. *Geophysical Research Letters, 45*(7), 3285-3296.

Pashang, D., Weisany, W., & Ghajar, F. G.-K. (2021). Changes in the fatty acid and morphophysiological traits of safflower (Carthamus tinctorius L.) cultivars as response to auxin under water-deficit stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21*(3), 2164-2177.

Rahimi-Moghaddam, S., Azizi, K., Eyni-Nargeseh, H., & Kalantar Ahmadi, S. A. (2023). Simulation of production and water use efficiency of spring canola cultivars in warm and temperate climates. *Environmental Sciences, 21*(1), 15-30. [In Persian]

Rahimi-Moghaddam, S., Eyni-Nargeseh, H., Kalantar Ahmadi, S. A., & Azizi, K. (2021). 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*, 106487.

Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., & 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., & 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*, 105570.

Robertson, M., & Holland, J. (2004). Production risk of canola in the semi-arid subtropics of Australia. *Australian Journal of Agricultural Research, 55*(5), 525-538.

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

Robertson, M. J., Holland, J., Kirkegaard, J., & Smith, C. (1999). Simulating growth and development of canola in Australia. Proceedings 10th International Rapeseed Congress,

Safavi Fard, N., Heidari Sharif Abad, H., Shirani Rad, A., Majidi Heravan, E., & Daneshian, J. (2018). Effect of drought stress on qualitative characteristics of canola cultivars in winter cultivation. *Industrial Crops and Products, 114*, 87-92.

Seifert, E. (2014, May 27). OriginPro 9.1: scientific data analysis and graphing software-software review. *Journal of Chemical Information and Modeling, 54*(5), 1552.

Shaykewich, C., & Bullock, P. (2020). Modeling Canola Phenology. *Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate, 60*, 303-325.

Soleimanpour, S., Shiranirad, A. H., Madani, H., Rezaeizad, A., & Fareghi, S. (1388). Investigation the effect of water deficit on agronomical characteristics and growth indices of winter rapeseed cultivars. *New Finding in Agriculture, 11*(3), 263-274. [In Persian]

Soleymani, A., Moradi, M., & Naranjani, L. (2011). Effects of The Irrigation Cut-off Time in Different Growth Stages on Grain and Oil Yield Components of Autumn's Canola Cultivars in Isfahan Region. *Water and Soil, 25*(3), 426-435. [In Persian]

Soltani, F., Rahimi-Moghaddam, S., Akbari, N., Azizi, K., & Eyni-Nargeseh, H. (2024). Simulation of Replacing Wheat with Rapeseed in Terms of Water and Economic Productivity in Lorestan Province. *Iranian Journal of Field Crop Science, 55*(1), 37-48. [In Persian]

Tavassoli, A., Sayed Hosseini, S. M. R., & Abdeh, A. (2021). The study of oilseed crops cultivation in sustainable development of rural areas of Sistan region. *Rural Development Strategies, 8*(4), 473-485. [In Persian]

Valdiani, A. R., & Tajbakhsh, M. (2007). Comparison of Phenological Stages and Adaptability of 25 Advanced Rapeseed (*Brassica napus* L.) Varieties in Autumnal Cultivation in Urmia – West Azerbaijan province, Iran [Research]. *Journal of Crop Production and Processing,* 11(1), 329-344. [In Persian]

Vernon, L., & Van Gool, D. (2006). Potential impacts of climate change on agricultural land use suitability: canola. *Department of Primary Industries and Regional Development*, (Report 303).

Wallach, D., Makowski, D., Jones, J. W., & Brun, F. (2018). Working with Dynamic Crop Models: Methods, Tools and Examples for Agriculture and Environment. Academic Press.

Wang, S., Wang, E., Wang, F., & Tang, L. (2012). Phenological development and grain yield of canola as affected by sowing date and climate variation in the Yangtze River Basin of China. *Crop and Pasture Science, 63*(5), 478-488.

Warner, K. J., & Jones, G. A. (2017). A population-induced renewable energy timeline in nine world regions. *Energy Policy, 101*, 65-76.

Willmott, C. J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society, 63*(11), 1309-1313.

Zanetti, F., Alberghini, B., Marjanović Jeromela, A., Grahovac, N., Rajković, D., Kiprovski, B., & Monti, A. (2021). Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. A review. *Agronomy for Sustainable Development, 41*, 1-18.

Zeleke, K., Luckett, D., & Cowley, R. (2014). The influence of soil water conditions on canola yields and production in Southern Australia. *Agricultural Water Management, 144*, 20-32.