

Predicting the Effect of Climate Change on the Suitability of Canola (*Brassica napus* L.) Cultivation Land using SDSM and Lars-WG Models in Mazandaran Province

Mohsen Abshenas¹, Behnam Kamkar^{2*}, Afshin Soltani³ and Hossein Kazemi⁴

1- Ph.D. Student, Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

2- Professor, Department of Agrotechnology., Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

4- Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Iran.

(*- Corresponding author's Email: kamkar@um.ac.ir)

Received: 01-06-2022
Revised: 25-09-2022
Accepted: 01-10-2022
Available Online: 01-10-2022

How to cite this article:

Abshenas, M., Kamkar, B., Soltani, A., & Kazemi, H. (2024). Predicting the effect of climate change on the suitability of canola (*Brassica napus* L.) cultivation land using SDSM and Lars-WG models in Mazandaran province. *Journal of Agroecology*, 15(4), 843-862.

DOI: [10.22067/agry.2022.76858.1112](https://doi.org/10.22067/agry.2022.76858.1112)

Introduction

In recent years, the heightened concentration of greenhouse gases has brought increased attention to the pressing issue of climate change. Therefore, monitoring climatic variables to prevent the adverse effects of climate change is more important than ever. In pursuing long-term climatic forecasting and assessing their evolving patterns; various international scientific societies have concentrated on understanding the extent of climate change and devising measures to counter its adverse effects. The development of general circulation models of the atmosphere (GCM) has been a significant stride in this direction. However, GCMs may lack precision in predicting minor changes at a local scale. To address this limitation, the utilization of downscaling models such as SDSM and Lars_WG (that were used here) becomes imperative. These models serve as essential tools for simulating the viability of cultivating agricultural species in the future, especially when considering localized impacts. Because climate change will probably change the conditions for growing canola, as one of the strategic and prominent crops in Iran, studying the effects of this worldwide event on the canola-grown fields in the future is needed.

Materials and Methods

In this research, using temperature and precipitation forecasting models, GIS functions and hierarchical analysis process (AHP), canola suitability classes for 2050 were determined in Mazandaran Province. 37 meteorological and synoptic stations were involved, and climatic data (including temperatures and precipitation) were generated under three RCP scenarios (2.6, 4.5, 8.5). In this study, we utilized two general circulation models (Can-ESM2 and HadGEM2-ES) that had been recommended for application in the study area.

Results and Discussion



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

[https:// DOI: 10.22067/agry.2022.76858.1112](https://doi.org/10.22067/agry.2022.76858.1112)

A comparison of the involved models showed that the SDSM model was superior in predicting temperature, while the Lars-WG model performed better in predicting precipitation. The results for the land suitability revealed that the changes in climatic variables would lead to changing the suitability of agricultural lands for growing canola. Examining temperature change maps in the investigated region revealed that minimum and maximum temperature variables are poised to rise under climate change scenarios, with a more pronounced increase anticipated in maximum temperatures. The findings indicate that the projected temperature increase will establish more conducive conditions for canola cultivation. Additionally, precipitation patterns increase in both RCP 2.6 and 4 scenarios, with a more substantial rise in the RCP 2.6 scenario. Conversely, the RCP 8.5 scenario predicts a decline in precipitation levels. Also, considering the climate change scenarios, the spatial distribution and the area of each suitability class changed slightly, so the high-suitable class will extend under RCP2.6, especially toward the center parts of the study area. Under RCP 8.5 and RCP 4.5 scenarios, not only suitable lands were not considerable, but also the less suitable land extended to the southern and western parts of the study area.

Conclusion

The output of the land suitability maps showed that climate change would change the suitability of the studied agricultural lands in the future. Also, with the implementation of the climate change scenarios, the area and geographical distribution of detected classes will change. In the optimistic scenario, the lands will be more appropriate for canola cultivation and will cover a wider area. In other scenarios, the conditions for canola cultivation in the lands of Mazandaran will be more unsuitable compared to the present, and the decrease in the level of suitability will be more evident in the western and southern lands of the province. Therefore, solutions such as the use of more compatible cultivars and changes in agricultural management in facing new conditions in these areas should be considered. The outcomes of these studies offer practical insights for shaping regional planting strategies, aiding decisions on crop inclusion or exclusion, and informing the overall design of agricultural patterns in the area.

Keywords: Geographic information system (GIS), Precipitation, Temperature, Zoning

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲، ص ۸۶۲-۸۴۳

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر تناسب اراضی کشت کلزا (*Brassica napus* L.) در استان مازندران
با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM و Lars-WG

محسن آب‌شناس^۱، بهنام کامکار^{۲*}، افشین سلطانی^۳ و حسین کاظمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹

چکیده

تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر به دلیل افزایش هرچه بیشتر گازهای گلخانه‌ای بیشتر از گذشته مشهود است. بنابراین، پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی جهت اطلاع از میزان تغییرات آن‌ها و در نظر گرفتن تمهیدات لازم به منظور تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییرات اقلیمی بیش از قبل مورد توجه است. راهکار پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی است. مدل‌هایی چون SDSM و Lars-WG مثال‌هایی از این ریزمقیاس‌نماها می‌باشند که در این مطالعه به آن پرداخته شده است. از آنجا که تغییر اقلیم شرایط کشت گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) که یکی از گیاهان راهبردی و ارزشمند در ایران است را نیز دستخوش تغییر خواهد کرد، بنابراین انجام پژوهشی جهت مدیریت هرچه بهتر تولید این محصول در شرایط تغییر اقلیم، ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق، با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی دما و بارش و بهره‌گیری از ابزارهایی چون سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرایند تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به پهنه‌بندی زراعی گیاه کلزا بر اساس شرایط پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۵۰ میلادی در استان مازندران پرداخته شده است. در این تحقیق از داده‌های ۳۷ ایستگاه هواشناسی و سینوپتیک استفاده شد و به تولید داده‌های اقلیمی (دماهای اصلی و بارش) در سه سناریوی (RCP (2.6, 4.5, 8.5) پرداخته شد. مقایسه مدل‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم نشان داد که مدل SDSM در پیش‌بینی دماهای اصلی موفق‌تر بوده است، اما برای پیش‌بینی میزان بارش مدل Lars-WG عملکرد بهتری داشت. خروجی نقشه تناسب اراضی نشان داد که تغییر متغیرهای اقلیمی در آینده موجب تغییر در تناسب اراضی زراعی خواهد شد. همچنین با اجرای سناریوی تغییر اقلیم، پراکندگی مکانی و مساحت طبقات مختلف کمی دچار تغییر شد، به‌گونه‌ای که با اجرای سناریوی RCP 2.6 مساحت اراضی طبقه خیلی مناسب افزایش یافته و گسترش آن به سمت مرکز استان بوده است. در سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 اراضی با طبقه تناسب خیلی مناسب وجود نخواهد داشت و به سمت طبقات با تناسب ضعیف سوق داده خواهند شد. به‌طور کلی، در سناریوی خوش‌بینانه تناسب اراضی برای کشت کلزا شرایط بهتر و پهنه وسیع‌تری خواهد یافت و در سناریوهای دیگر شرایط برای کشت کلزا در اراضی مازندران نسبت به زمان حال ضعیف‌تر خواهد شد و این کاهش کیفیت در اراضی غربی و جنوبی استان مشهودتر است. بنابراین، راهکارهایی چون استفاده از ارقام سازگارتر و تغییر در مدیریت زراعی در رویارویی با شرایط جدید در این مناطق باید مورد توجه قرار گیرد.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- استاد، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

*- نویسنده مسئول: (Email: kamkar@um.ac.ir)

واژه‌های کلیدی: بارش، پهنه‌بندی، دما، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

مقدمه

تغییر در دماهای اصلی و بارش در یک محدوده مشخص که در تعریف کلی "تغییر اقلیم" نامیده می‌شود، در سال‌های اخیر از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات مرتبط با حوضه کشاورزی برخوردار شده است، زیرا این تغییرات در سال‌های اخیر به دلیل افزایش هر چه بیشتر گازهای گلخانه‌ای خیلی بیشتر از گذشته مشهود است (Koocheki et al., 2015). بنابراین، پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی جهت اطلاع از میزان تغییرات آن‌ها و در نظر گرفتن تمهیدات لازم به منظور تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییرات اقلیمی مورد توجه بسیاری از مجامع علمی جهانی قرار گرفته است. بر همین اساس، مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) توسعه یافته‌اند، اما این مدل‌ها قادر به پیش‌بینی تغییرات کوچک در مقیاس محلی نخواهند بود، راه کار پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی، استفاده از مدل‌های ریز مقیاس نمایی نظیر SDSM و Lars_WG می‌باشند. که عاملی ضروری برای شبیه‌سازی امکان کشت گونه‌های زراعی در آینده است (Hashemi & kiani, 2018).

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از با ارزش‌ترین گیاهان روغنی مناطق معتدله در دنیا محسوب می‌گردد که بر سی امکان کشت آن تحت شرایط تغییر اقلیم، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Everest et al., 2021) با توجه به اهمیت دستیابی به خود اتکایی کشور در بخش تأمین خوراک انسان و دام، تولید کلزا در ایران از بدو شروع فعالیت‌های کشت دانه‌های روغنی، در برنامه‌های توسعه مد نظر قرار گرفته و نیازمند مدیریت بلندمدت و پیش‌بینی امکان توسعه کشت آن در آینده است.

برای تعیین نواحی مستعد کشت کلزا در استان کردستان، پژوهشی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت که برای هر یک از نیازهای اقلیمی لایه جداگانه‌ای تهیه شد. نتیجه نهایی بیانگر آن بود که تنها ۱۶/۸ درصد از مساحت اراضی استان، برای کشت کلزا بسیار مناسب، ۵۳/۸ درصد از مساحت استان نیز در درجه متوسط تا مناسب و حدود ۳۹/۴ درصد از مساحت اراضی استان به دلیل شرایط نامناسب اقلیمی و محیطی، برای کشت نامناسب شناخته شدند (Khorshiddoust et al., 2011). به منظور پهنه‌بندی کلزا در استان

گلستان، از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد و نتایج نشان داد که ۲۱/۳۶ درصد اراضی استان برای تولید کلزا بسیار مستعد و ۳۵/۶ درصد مستعد هستند (Kazemi et al., 2012). به منظور پهنه‌بندی آگروکلیماتیک کاشت کلزا در استان ایلام با استفاده از AHP در محیط GIS، پس از بررسی داده‌های اقلیمی و داده‌های فیزیوگرافی مشخص شد که ۳۰/۵ درصد اراضی ایلام شرایط بدون محدودیت، ۹/۶۴ درصد محدودیت کم، ۳۶/۸۷ درصد محدودیت متوسط و ۳۰/۹۷ درصد دارای شرایط محدودیت زیاد برای کشت کلزا می‌باشند (Shahmoradi, 2011). با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرایند تحلیل سلسله مراتبی، اثر عوامل اقلیمی، توپوگرافی و شوری بر تناسب اراضی حوضه قره‌سوی استان گلستان جهت کشت گندم، مورد مطالعه قرار گرفت و اراضی در چهار پهنه بسیار مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب و نامناسب تقسیم‌بندی شدند که حدود ۵۱۷۰ هکتار (شش درصد) از مساحت اراضی زراعی حوضه قره‌سوی و سه درصد از مساحت کل اراضی حوضه، دارای تناسب مطلوبی جهت کشت گندم دیدیم بودند (Bidadi et al., 2015). در پژوهش دیگری در چهار حوضه استان گلستان، تناسب اراضی و امکان اجرای یک تناوب کلزا-سویا مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که تنها ۱۱/۸۲ درصد از کل اراضی مورد بررسی، برای اجرای تناوب کلزا-سویا بسیار مناسب، و مابقی اراضی در طبقه‌های تناسب متوسط و کم قرار گرفتند (Kamkar et al., 2014) ها شمی و کیانی (Hashemi & kiani, 2018) در پژوهشی به ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای کشت کلزا و چغندر قند با روش‌های متفاوت فائو در استان همدان پرداخته و اظهار داشتند که بیش از ۵۰ درصد اراضی مورد مطالعه در محدوده نامناسب قرار داشتند. روش‌شناسی و سبحانی (Sobhani & Roshanali, 2018) به سنجش تناسب اراضی استان مازندران برای کشت کلزا بر اساس روش‌های ارزیابی تصمیم‌گیری چند معیاره در محیط GIS پرداخته و بیان کردند که اراضی بدون محدودیت ۱۵/۳ درصد، با محدودیت کم ۲۸/۲ درصد، با محدودیت متوسط ۴۸/۲ درصد و با محدودیت زیاد ۸/۳ درصد از زمین‌های کشاورزی مازندران را تشکیل می‌دهند. در پژوهش دیگری تحت عنوان سنجش تناسب اراضی استان مازندران بر اساس عناصر اقلیمی برای کشت کلزا با استفاده از مدل Topsis، شهرهای استان

ابتدا دو مدل ریز مقیاس نمایی SDSM و Lars-WG با یکدیگر مقایسه شدند و در گام بعد از مدل برتر دماهای (حداقل، حداکثر) و بارش در سال ۲۰۵۰ میلادی برآورد و با هدف پیش‌بینی امکان کشت و تهیه نقشه تناسب اراضی برای کشت کلزا بهره برده شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های بلندمدت (۱۰ تا ۳۵ سال بسته به ایستگاه‌های مختلف و سوابق مشاهداتی متفاوت) از ۳۷ ایستگاه هواشناسی و سینوپتیک در محدوده استان‌های مازندران، گلستان، گیلان، سمنان و خراسان شمالی استفاده شده است. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است. در این تحقیق، ابتدا داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها جمع‌آوری شده و از نظر نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM با کمک مدل گردش عمومی Can_ESM2 که دارای دوره واسنجی NCEP-NCAR از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ و قابلیت پیش‌بینی دوره‌های ۳۰ ساله از سال ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ می‌باشد، بهره گرفته شد. در این پژوهش برای هر ایستگاه بسته به میزان سابقه اطلاعاتی هر ایستگاه دوره پایه متفاوتی در بازه زمانی موجود در مدل یعنی (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵) در نظر گرفته شد و هر ایستگاه به صورت جداگانه مورد واسنجی قرار گرفت. همچنین از مدل ریزمقیاس نمایی Lars-WG که با استفاده از مدل گردش عمومی HadGEM2-ES که دارای دوره‌های واسنجی متغیر و دوره‌های پیش‌بینی ۳۰ ساله است داده‌های اقلیمی با همان سناریوهای ذکر شده، تولید شد. دلیل انتخاب این دو مدل گردش عمومی (Can-ESM2 و HadGEM2-ES) معرفی آن به‌عنوان مدل مناسب در تحقیقات پیشین بوده است (Khan et al., 2016; Hashemi et al., 2011). داده‌های تولیدی این دو مدل ریز مقیاس نمایی (Lars-WG و SDSM) قبل از اعمال سناریوها هر کدام با داده‌های مشاهده‌ای براساس آماره‌های میانگین مطلق خطا (MAE^۱)، میانگین اریب خطا (MBE^۲)، (Whitley & Ball, 2002) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE^۳) مقایسه شده و بهترین مدل‌ها برای هر یک از دماهای حداقل، حداکثر و بارش انتخاب شد. این آماره‌ها محدوده‌ای بین صفر تا یک را شامل می‌شوند که هرچه اعداد

در چهار کلاس از بدون محدودیت تا محدودیت زیاد، طبقه‌بندی شدند (Sobhani & Roshanali, 2018). در بررسی تناسب کشت کلزا در استان گلستان با استفاده از مدل تجزیه و تحلیل چند معیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی، میزان تأثیرگذاری عوامل اقلیمی و شرایط خاکی را بر تناسب اراضی گزارش شد (Kazemi & Akinci, 2018). در بررسی دقت مدل SDSM و Lars-WG برای وقایع حداکثر بارش در جنوب ایسلند و معیار توزیع آماری GEV3 با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در فاصله اطمینان ۰/۹۵ گزارش شد که هر دو مدل توانایی شبیه‌سازی وقایع مدل بارش را دارد (Hashemi et al., 2011). در پژوهشی کارایی مدل ریزمقیاس-ساز Lars-WG، داده‌های هواشناسی (دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰)، تحت سناریوهای مختلف با استفاده از آماره‌های متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان دادند که این مدل دارای کارایی مناسبی برای شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی آینده در منطقه مطالعه بود (Karandish, 2016). در مطالعه‌ای به مقایسه سه مدل Lars-WG، Weet herman و CLIMGEN در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در سه اقلیم مختلف گرگان، گنبد و مشهد پرداخته شد و نتایج حاکی از کارایی بهتر مدل Lars-WG در شبیه‌سازی پارامتر حداقل دما در منطقه‌های گرگان و مشهد بود و به‌طور کلی، هر سه مدل پارامتر دما را بهتر از سایر پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی کردند (Kamkar et al., 2014). مقایسه عملکرد روش‌های ریزمقیاس نمایی SDSM و Lars-WG در ایستگاه سد تنگاب در استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل حاکی از عدم برتری مطلق مدل‌ها بر یکدیگر است (Ajamzadeh & Mollainia, 2014). از آنجا که تغییر اقلیم به‌طور قطع شرایط کشت گیاه کلزا را نیز دستخوش تغییر خواهد کرد، بنابراین انجام پژوهش‌های متعدد جهت مدیریت هرچه بهتر تولید این محصول، ضروری به نظر می‌رسد، بنابراین در این تحقیق با استفاده از مدل‌های ریز مقیاس نمایی با هدف پیش‌بینی دما و بارش و بهره‌گیری از ابزارهایی چون سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرایند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، به پهنه‌بندی زراعی گیاه کلزا بر اساس شرایط اقلیمی پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۵۰ میلادی در استان مازندران پرداخته شده است (Kazemi et al., 2012). در همین راستا، در این پژوهش

3- Root Mean Square Error

1- Mean Absolute Error

2- Mean Bias Error

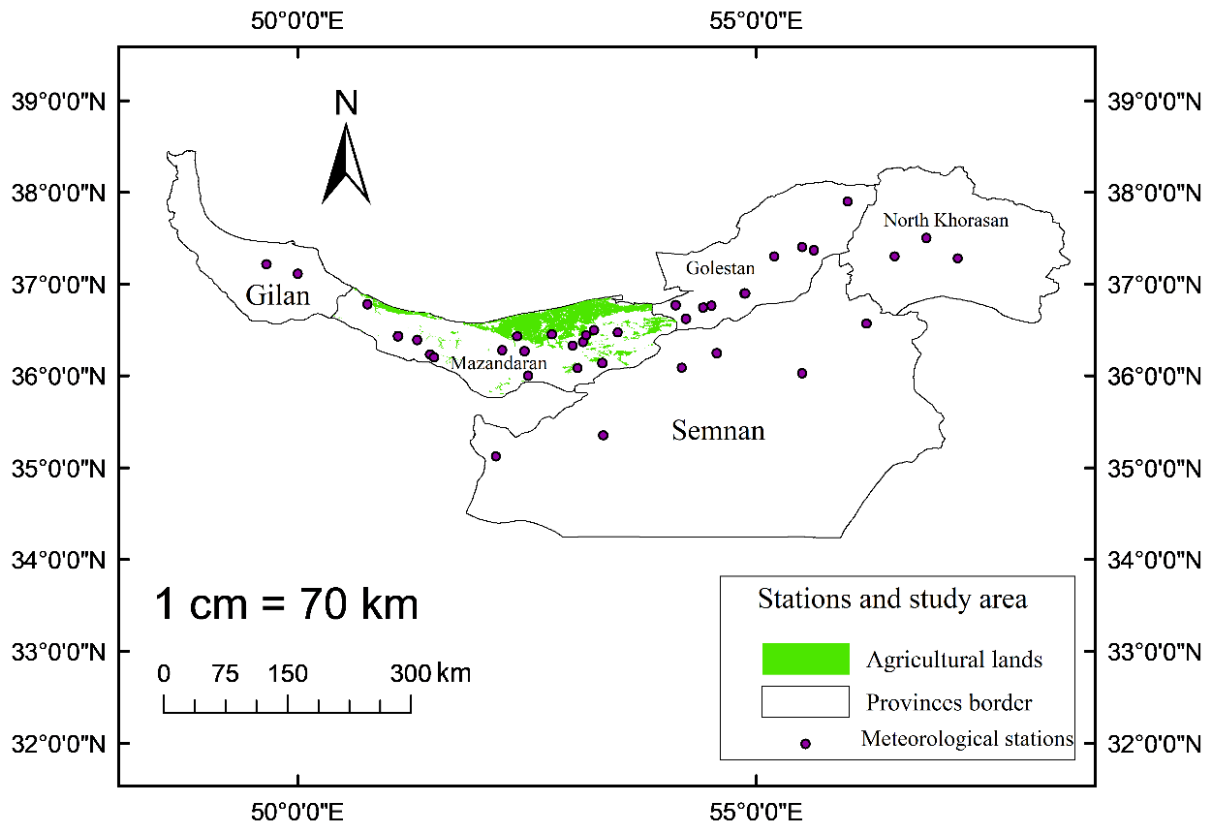
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2} \quad \text{معادله (۳)}$$

که در این معادلات، $Z^*(x_i)$: داده‌های پیش‌بینی شده و $Z(x_i)$: داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

به صفر نزدیک‌تر باشد مدل تطابق بهتری نسبت به داده‌های مشاهداتی دارد (Mozaffari et al., 2012).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| \quad \text{معادله (۱)}$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i)) \quad \text{معادله (۲)}$$



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی اراضی کشاورزی استان مازندران و ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه
 Fig. 1- Geographical location of Mazandaran agricultural lands and studied meteorological stations

ابزارهای میان‌یابی موجود در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) میان‌یابی شدند و سپس با استخراج نقاط متناظر از روی این لایه‌های رستری و مقایسه آن با مقدار واقعی آن، صحت میان‌یابی با کمک آماره‌هایی چون ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) اندازه‌گیری شد که از میان آن‌ها ابزارهای میان‌یابی 2 (IDW) و Kriging که بهترین نتایج را از نظر مقایسه آماره‌ها داشتند، برای این منظور انتخاب شدند. سایر لایه‌های مورد نیاز برای تعیین تناسب اراضی کشت کلزا نیز به همین روش تهیه و

داده‌های اقلیمی (دماهای حداقل، حداکثر و بارش) در سه سناریوی RCP (2.6, 4.5, 8.5) با استفاده از مدل ذکر شده در یک دوره سی ساله تا سال ۲۰۵۰ میلادی تولید شد. در این تحقیق از سناریوهای CMIP5، که در گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم (AR5) لحاظ شده‌اند، استفاده شده است. با استفاده از داده‌های تولید شده توسط مدل‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم، لایه‌های رستری دما و بارش در محدوده زمانی فصل رشد کلزا تولید شد. برای تولید این لایه‌ها داده‌های عددی پیش‌بینی شده تمامی ایستگاه‌ها با استفاده از

2- Inverse distance weighting

1-Geographic Information Systems

زراعت شاغل در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و جهاد کشاورزی استان مازندران و همچنین اعضای هیئت علمی مرکز تحقیقات برنج شهرستان آمل تکمیل شد. برای محاسبه وزن هر یک از عوامل تأثیرگذار بر پهنه‌بندی فراخوانی شده، تجزیه و تحلیل و جمع‌بندی نتایج این پرسش‌نامه‌ها، به وسیله نرم‌افزار Expert Choice (نسخه ۲۰۰۰) انجام و ارزش نسبی هر عامل استخراج گردید. پس از تعیین اوزان، از روش روی هم‌گذاری وزنی لایه‌ها (Weighted overlay) جهت استخراج نقشه‌های نهایی استفاده شد (Kazemi et al., 2012). نمودار جریان‌ی رسم شده در شکل ۲ نشان‌دهنده مراحل و روند این تحقیق است.

تولید شدند. لایه‌های اقلیمی و شوری و اسیدیته‌ی خاک (EC, pH) با استفاده از داده‌های نقطه‌ای که از منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شده بود، با ابزارهای درون‌یابی ذکر شده تولید شدند از لایه‌های ارتفاع، شیب و جهت شیب از مدل رقومی ارتفاعی (Dem) با کیفیت ۳۰ متر تهیه شد. کلیه لایه‌های رستری تولید شده طبق محدوده کاربری زراعی با استفاده از ابزار (Extract by mask) برش داده شد و لایه‌های رستری برش داده شده با استفاده از ابزار Reclassify براساس نیاز اکولوژیکی گیاه کلزا کلاسه‌بندی شدند. نهایتاً تمامی این عوامل با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) وزن‌دهی شدند که برای این کار پرسش‌نامه‌هایی تدوین و توسط ۳۰ متخصص

جدول ۱- طبقات مورد استفاده در تولید نقشه‌های عوامل اقلیمی مؤثر بر تناسب اراضی برای کشت کلزا (Kazemi et al., 2012; Makhdoom et al., 2011; Martin & Saha, 2009)

Table 1- Classes used in the generation of climatic factors maps for canola suitability assessment (Kazemi et al., 2012; Makhdoom et al., 2011; Martin & Saha, 2009)

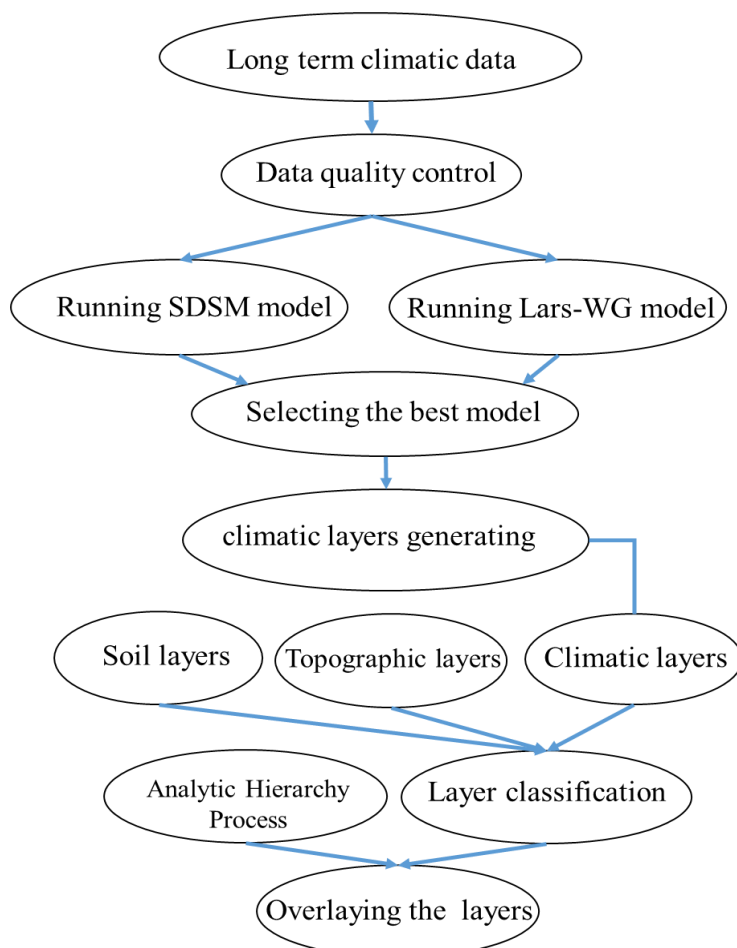
کلاسه Class	دمای بیشینه Maximum temperature (°C)	دمای کمینه Minimum temperature (°C)	دمای متوسط Average temperature (°C)	بارش Precipitation (mm)
خیلی مناسب Highly suitable	25-30	10-15	17-20	400-500
مناسب Suitable	30-33	7-10	15-17	300-400
نسبتاً مناسب Moderately-suitable	33-38	4-7	20-25	250-300
ضعیف Non-suitable	>38	<4	>25	<250

جدول ۲- طبقات مورد استفاده در تولید نقشه‌های عوامل خاکی و توپوگرافی مؤثر بر تناسب اراضی برای کشت کلزا (Kazemi et al., 2012; Makhdoom et al., 2011; Martin & Saha, 2009)

Table 2- Classes used in the generation of soil- and topographic factors maps for canola suitability assessment (Kazemi et al., 2012; Makhdoom et al., 2011; Martin & Saha, 2009)

کلاسه Class	ارتفاع Elevation (m)	شیب Slope (%)	جهت شیب Aspect	شوری EC (dS.m ⁻²)	اسیدیته pH
خیلی مناسب Highly suitable	0-1500	0-2.5	بدون جهت - جنوبی - جنوب شرقی Without direction South Southeast	0-4	6-7
مناسب Suitable	1500-2000	2.5-5	شرقی - شمال شرقی East Northeast	4-8	5.5-6 7-8
نسبتاً مناسب Moderately-suitable	2000-2500	5-7.5	جنوب غربی - شمال غربی Southwest Northwest	8-12	8-8.5

ضعیف Non-suitable	>2500	>7.5	غربی شمالی West North	>12	>8.5 <5
----------------------	-------	------	--------------------------------	-----	------------



شکل ۲- نمودار جریان‌ی مراحل و روند پژوهش
Fig. 2 - Flowchart of the work steps

مشاهداتی داشته است. البته برای پیش‌بینی بارش مدل Lars-WG از خطای کمتری برخوردار بوده است و داده‌های مناسبت‌تری برای تهیه لایه‌های اقلیمی تولید نمود.

تغییرات دمایی بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم

با مقایسه نقشه‌های حاصل از تغییرات دمای سطح استان مشاهده شد که هر دو عامل دمای کمینه و بیشینه با اعمال سناریوهای تغییر اقلیم، افزایش یافته‌اند که این افزایش دما در دمای بیشینه مشهودتر بوده است (جدول ۶). البته نکته قابل توجه این است که این افزایش دما در آینده موجب نزدیک‌تر شدن دما به طبقات مطلوب‌تر در تقسیم‌بندی نیازهای اکولوژیک کلزا خواهد شد.

نتایج و بحث

مقایسه مدل‌های پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم

مقایسه داده‌های تولیدی مدل‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم با داده‌های مشاهداتی نشان داد که هیچ‌کدام از مدل‌ها برتری مطلق بر یکدیگر ندارند (جدول ۳، ۴ و ۵). ثابت شده است که مدل SDSM برای عامل دما در غالب ایستگاه‌ها MBE منفی را نشان می‌دهد که به معنای پیش‌بینی کمتر از واقعیت است. البته مقدار عددی این آماره در مدل Lars-WG بسیار بزرگ‌تر و مثبت بود که نشان از بیش‌برآوردی است، اما بررسی کلی آماره‌ها نشان می‌دهد که مدل SDSM در پیش‌بینی دماهای بیشینه و کمینه نسبت به Lars-WG دارای خطای کمتری بوده و پیش‌بینی‌های نزدیک‌تری به داده‌های

جدول ۳- مقایسه شبیه‌سازهای اقلیمی SDSM و Lars_WG برای دمای بیشینه ایستگاه‌های مورد مطالعه
 Table 3- Comparison of SDSM and Lars_WG climate simulators for the maximum temperature of studied stations

نام ایستگاه Station	Lars-WG			SDSM		
	RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE
دشت ناز Dashtnaz	0.654	0.133	0.594	0.024	-0.0048	0.0178
قائم‌شهر Ghaemshahr	0.580	0.152	0.462	0.024	-0.011	0.018
قراخیل Gharakhel	0.567	0.147	0.450	0.024	-0.007	0.017
کیاسر Kiasar	0.680	-0.057	0.568	0.031	0.016	0.021
کجور Kojor	0.656	0.009	0.480	0.177	0.055	0.126
نوشهر Noshahr	0.662	-0.036	0.542	0.014	0.006	0.009
پل سفید Polsefid	0.684	0.033	0.529	0.033	-0.007	0.027
رامسر Ramsar	0.656	0.104	0.547	0.009	0.002	0.008
ساری Sari	0.648	0.122	0.529	0.022	-0.007	0.016
سیاه بیشه Siahbishe	0.676	0.033	0.550	0.292	-0.064	0.229
مینودشت Minodasht	0.524	-0.119	0.432	0.378	-0.284	0.295
کردکوی Kordkoy	0.468	0.166	0.362	0.445	0.069	0.223
هاشم‌آباد Hashemabad	0.523	-0.128	0.405	0.328	-0.177	0.271
گرگان Gorgan	0.717	-0.099	0.568	0.014	-0.001	0.011
کالاله Kalalehh	0.958	0.604	0.785	0.149	-0.009	0.118
مراوه تپه Maravetape	0.633	-0.044	0.487	0.191	-0.092	0.146
بندر ترکمن Bandar Torkman	0.742	0.104	0.568	0.153	-0.003	0.121
بندر امیرآباد Bandar Amirabad	0.710	0.006	0.582	0.018	0.001	0.014
علی‌آباد Aliabad	0.860	-0.044	0.701	0.062	-0.035	0.045
آمل Amol	0.678	0.049	0.575	0.060	0.024	0.051
بابلسر Babolsar	0.632	0.081	0.521	0.018	-0.009	0.015
گنبد Gonbad	0.693	-0.139	0.576	0.026	0.013	0.021
بجنورد Bojnord	0.669	0.101	0.634	0.035	-0.004	0.015
اسفراین Esfarayn	0.595	0.120	0.502	0.035	-0.010	0.015

فرودگاه گرگان Gorgan Airport	0.582	0.115	0.490	0.035	-0.006	0.014
سماfan Samafan	0.695	-0.089	0.608	0.042	0.017	0.018
آلاشت Alasht	0.671	-0.023	0.520	0.188	0.056	0.123
آمیرآباد Amirabad	0.677	-0.032	0.582	0.025	0.007	0.006
بادله Badele	0.699	0.001	0.569	0.044	-0.006	0.024
رودسر Rodsar	0.671	0.072	0.587	0.020	0.003	0.005
لاهیجان Lahijan	0.663	0.090	0.569	0.033	-0.006	0.013
بایه کلا Bayekola	0.691	0.001	0.590	0.303	-0.063	0.226
بیارجمند Biarjmand	0.539	-0.151	0.472	0.389	-0.283	0.292
سمنان Semnan	0.463	0.134	0.402	0.456	0.070	0.220
شاهرود Shahrod	0.538	-0.160	0.445	0.339	-0.176	0.268
دامغان Damghan	0.732	-0.131	0.608	0.025	0.000	0.008
گرمسار Garmsar	0.173	0.572	0.825	0.160	-0.008	0.115

جدول ۴- مقایسه شبیه‌سازهای اقلیمی SDSM و Lars_WG برای دمای کمینه ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 4- Comparison of SDSM and Lars_WG climate simulators for the minimum temperature of studied stations

نام ایستگاه Station	Lars-WG			SDSM		
	RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE
دشت ناز Dashtnaz	0.655	-0.032	0.534	0.016	-0.006	0.017
قائم‌شهر Ghaemshahr	0.571	0.139	0.444	0.027	-0.008	0.017
قراخیل Gharakhel	0.567	0.147	0.450	0.024	-0.007	0.017
کیاسر Kiasar	0.634	-0.072	0.536	0.020	0.009	0.016
کجور Kojor	0.600	0.009	0.501	0.091	0.021	0.072
نوشهر Noshahr	0.653	0.012	0.554	0.015	0.007	0.010
پل سفید Polsefid	0.637	-0.029	0.509	0.015	0.000	0.013
رامسر Ramsar	0.731	0.293	0.588	0.016	-0.004	0.013
ساری Sari	0.640	-0.022	0.512	0.015	-0.004	0.012
سیاه بیشه Siahbishe	0.615	-0.028	0.517	0.166	-0.043	0.125
مینودشت Minodasht	0.400	0.179	0.310	0.371	-0.147	0.169

کردکوی Kordkoy	0.417	0.098	0.344	0.313	-0.077	0.200
هاشم آباد Hashemabad	0.467	0.039	0.375	0.304	-0.185	0.256
گرگان Gorgan	0.686	-0.018	0.566	0.016	0.005	0.013
کلاله Kalalehh	0.927	0.658	0.702	0.043	-0.012	0.034
مراوه تپه Maravetape	0.472	-0.080	0.380	0.166	-0.080	0.132
بندر ترکمن Bandar Torkman	0.614	0.031	0.510	0.098	-0.016	0.073
بندر امیرآباد Bandar Amirabad	0.686	-0.025	0.548	0.013	0.001	0.011
علی آباد Aliabad	0.447	0.033	0.367	0.014	0.002	0.011
آمل Amol	0.605	-0.009	0.488	0.021	-0.009	0.016
بابلسر Babolsar	0.758	0.313	0.613	0.012	-0.003	0.009
گنبد Gonbad	0.730	0.299	0.563	0.027	-0.008	0.021
بجنورد Bojnord	0.733	0.281	0.602	0.015	-0.002	0.011
اسفراین Esfarayn	0.642	-0.034	0.526	0.014	-0.002	0.010
فرودگاه گرگان Gorgan Airport	0.617	-0.04	0.531	0.165	-0.041	0.123
سماقان Samafan	0.402	0.017	0.324	0.370	-0.245	0.267
آلاشت Alasht	0.419	0.086	0.358	0.412	-0.075	1.198
آمیرآباد Amirabad	0.469	0.027	0.389	0.303	-0.183	0.254
بادله Badele	0.688	-0.03	0.58	0.015	0.007	0.011
رودسر Rodsar	0.929	0.646	0.716	0.042	-0.011	0.032
لاهیجان Lahijan	0.474	-0.092	0.394	0.165	-0.078	0.130
بایه کلا Bayekola	0.616	0.019	0.524	0.097	-0.014	0.071
بیارجمند Biarjmand	0.688	-0.037	0.562	0.012	0.003	0.009
سمنان Semnan	0.449	0.021	0.381	0.013	0.004	0.009
شاهرود Shahrod	0.607	-0.021	0.502	0.020	-0.007	0.014
دامغان Damghan	0.760	0.301	0.627	0.011	-0.001	0.007
گرمسار Garmsar	0.732	0.287	0.577	0.026	-0.006	0.019

جدول ۵- مقایسه شبیه‌سازهای اقلیمی SDSM و Lars_WG برای تخمین بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه
 Table 5 - Comparison of SDSM and Lars_WG climate simulators for precipitation forecasting in the studied stations

نام ایستگاه Station	Lars-WG			SDSM		
	RMSE	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE
دشت ناز Dashtnaz	0.292	-0.030	0.255	0.452	0.390	0.381
قائم‌شهر Ghaemshahr	0.223	-0.077	0.175	0.451	0.415	0.421
قراخیل Gharakhel	0.233	-0.074	0.174	0.457	0.405	0.405
کیاسر Kiasar	0.234	0.113	0.173	0.363	0.310	0.310
کجور Kojor	0.105	-0.014	0.082	0.219	0.168	0.169
نوشهر Noshahr	0.666	0.359	0.432	1.061	0.819	0.819
پل سفید Polsefid	0.198	0.031	0.161	0.451	0.369	0.369
رامسر Ramsar	0.640	0.237	0.434	1.110	0.847	0.847
ساری Sari	0.288	-0.029	0.235	0.422	0.385	0.385
سیاه بیسه Siahbishe	0.177	-0.006	0.126	0.351	0.283	0.283
مینودشت Minodasht	0.306	0.138	0.260	0.451	0.371	0.411
کردکوی Kordkoy	0.369	0.075	0.306	0.421	0.377	0.377
هاشم‌آباد Hashemabad	0.159	0.005	0.117	0.431	0.378	0.378
گرگان Gorgan	0.175	0.044	0.138	0.314	0.291	0.291
کلاله Kalaleh	0.035	0.001	0.106	0.052	0.037	0.139
مراوه تپه Maravetape	0.173	0.041	0.125	0.245	0.185	0.185
بندر ترکمن Bandar Torkman	0.185	0.038	0.135	0.349	0.280	0.280
بندر امیرآباد Bandar Amirabad	0.241	0.006	0.183	0.427	0.353	0.353
علی‌آباد Aliabad	0.321	0.114	0.247	0.367	0.335	0.335
آمل Amol	0.326	0.106	0.238	0.401	0.366	0.366
بابلسر Babolsar	0.301	-0.095	0.232	0.519	0.406	0.406
گنبد Gonbad	0.415	-0.090	0.163	0.601	0.142	0.522
بجنورد Bojnord	0.149	0.028	0.168	0.155	-0.080	0.193
اسفراین Esfarayn	0.104	0.018	0.174	0.154	-0.077	0.203

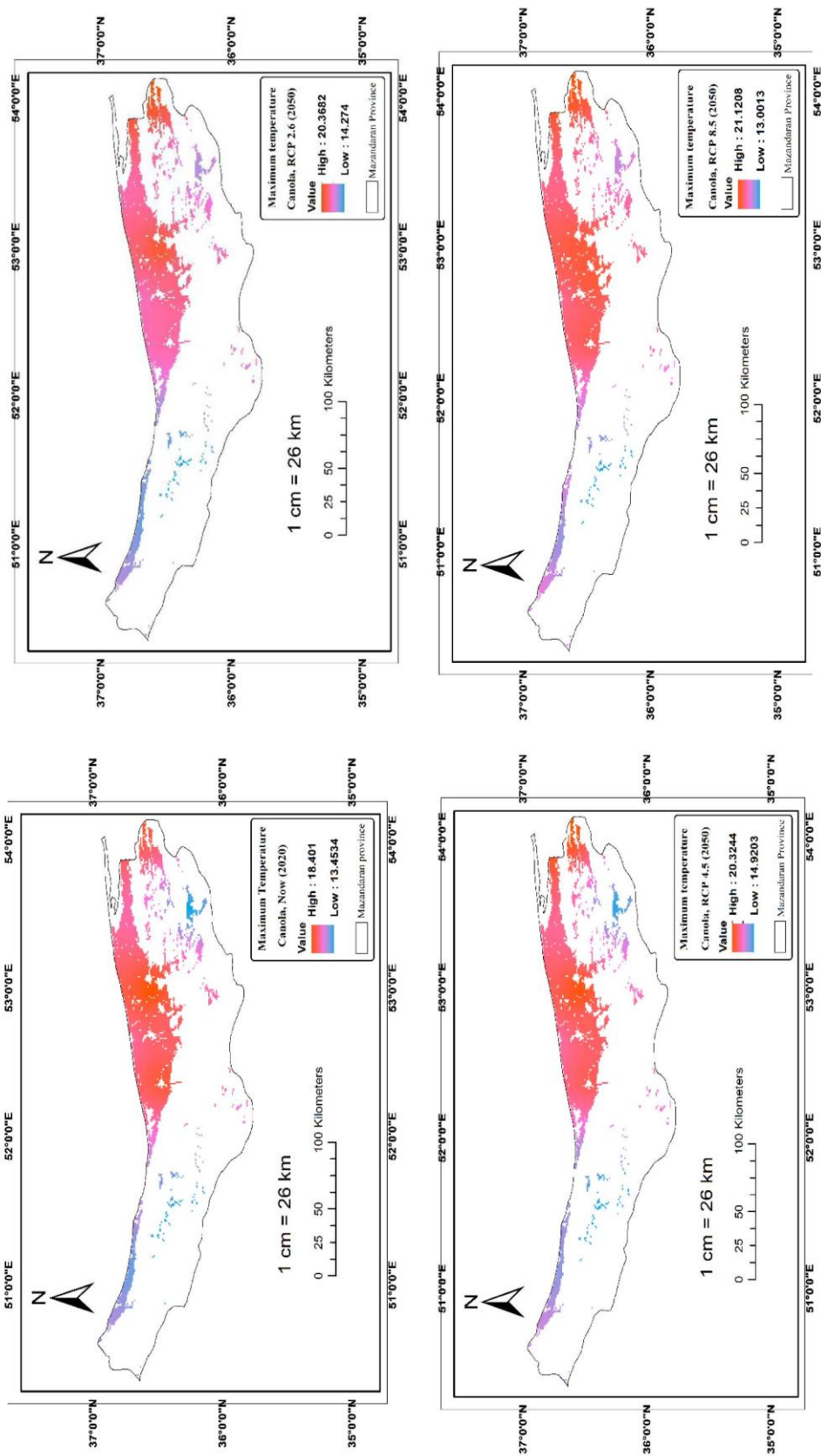
فرودگاه گرگان Gorgan Airport	0.143	0.123	0.138	0.153	0.140	0.204
سماfan Samafan	0.013	0.081	0.136	0.062	-0.017	0.075
آلاشت Alasht	0.063	0.132	0.078	0.412	0.356	0.636
آمیرآباد Amirabad	0.041	0.382	0.168	0.141	0.028	0.168
بادله Badele	0.079	0.160	0.127	0.414	0.234	0.161
رودسر Rodsar	0.077	0.198	0.139	0.215	-0.032	0.258
لاهیجان Lahijan	0.105	0.196	0.168	0.106	-0.009	0.147
بایه کلا Bayekola	0.171	0.184	0.168	0.240	0.135	0.276
بیارجمند Biarjmand	0.172	0.190	0.138	0.286	0.072	0.339
سمنان Semnan	0.185	0.191	0.148	0.097	0.002	0.159
شاهرود Shahrod	0.033	0.104	0.131	0.118	0.041	0.145
دامغان Damghan	0.079	0.050	0.069	0.086	-0.002	0.105
گرمسار Garmsar	0.096	0.198	0.162	0.105	0.038	0.163

جدول ۶- میانگین و تغییرات دماهای اصلی و بارش در سال ۲۰۵۰ نسبت به زمال حال در طول فصل رشد کلزا در استان مازندران
Table 6- Mean and change values of the main temperatures and precipitation in 2050 compared to current state during canola growing season in Mazandaran province

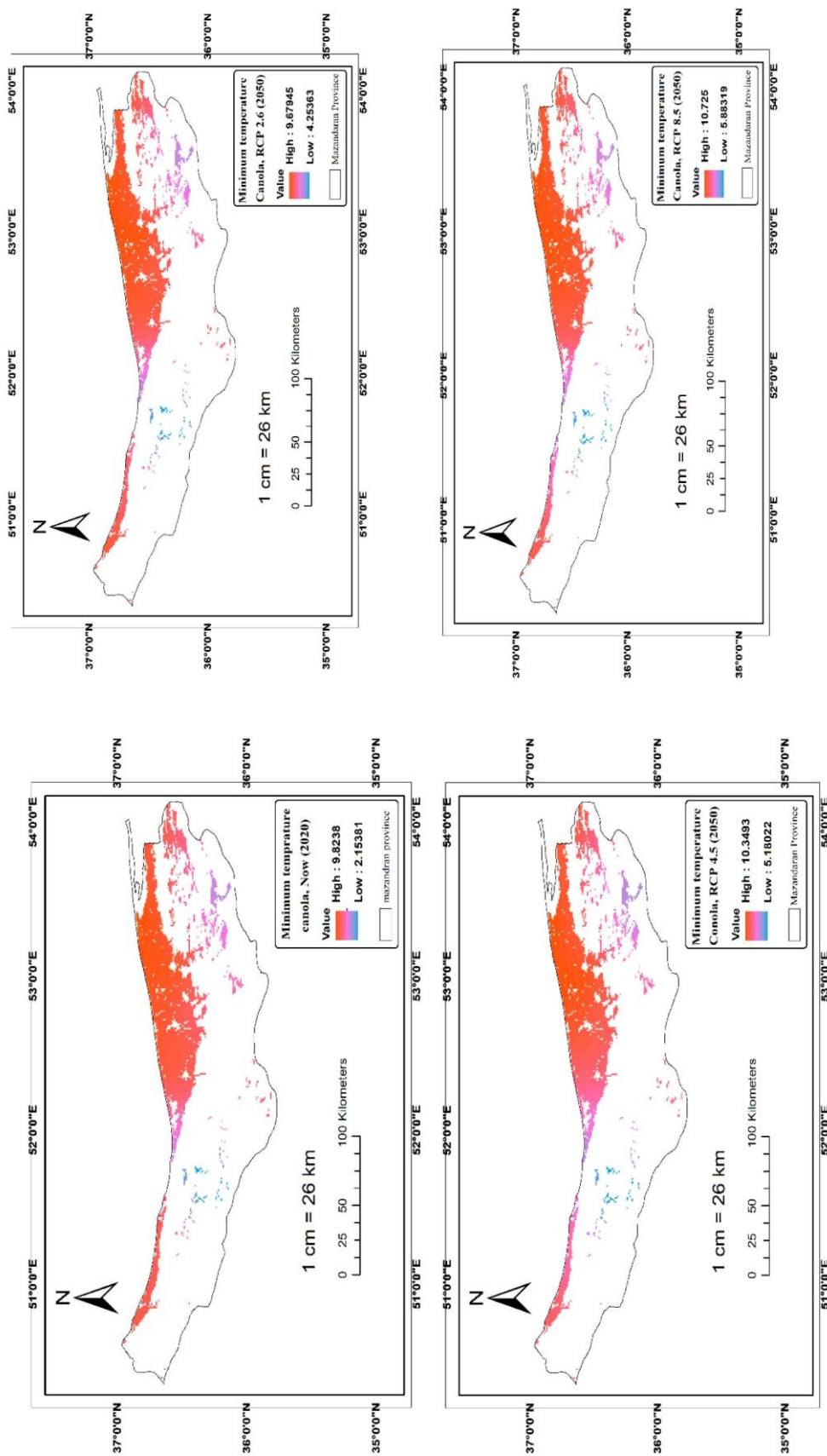
سناریوها Scenarios	تغییرات بارش Precipitation changes (mm) (ΔR)	مجموع بارش Total precipitation (mm)	تغییرات دمای بیشینه Maximum temperature changes (ΔTmax)	میانگین دمای بیشینه Average maximum temperature (°C)	تغییرات دمای کمینه Minimum temperature changes (ΔTmin)	میانگین دمای کمینه Averaged minimum temperature (°C)
زمان حال Current state	---	535.43	---	16.93	---	7.98
RCP 2.6	62.42 11.6 (%)	597.43	1.28 (°C) 7.5 (%)	18.21	0.89 (°C) 12.2 (%)	8.96
RCP 4.5	5.05 0.94 (%)	540.48	(°C)1.66 9.8 (%)	18.59	1.78 (°C) 22.3 (%)	9.76
RCP 8.5	-45.03 -8.4 (%)	490.40	2.63 (°C) 15.5 (%)	19.56	2.32 (°C) 29 (%)	10.30

مطالعه تفاوت چندانی نخواهد داشت، اما بارندگی مناطق شرقی و مرکزی در آینده کمی بیشتر خواهد بود (شکل ۵). نتایج مشابهی را برای مازندران و شمال نیوزلند نیز گزارش شد (Darzi Naftchali & Karandish, 2016; Hashemi et al., 2011)

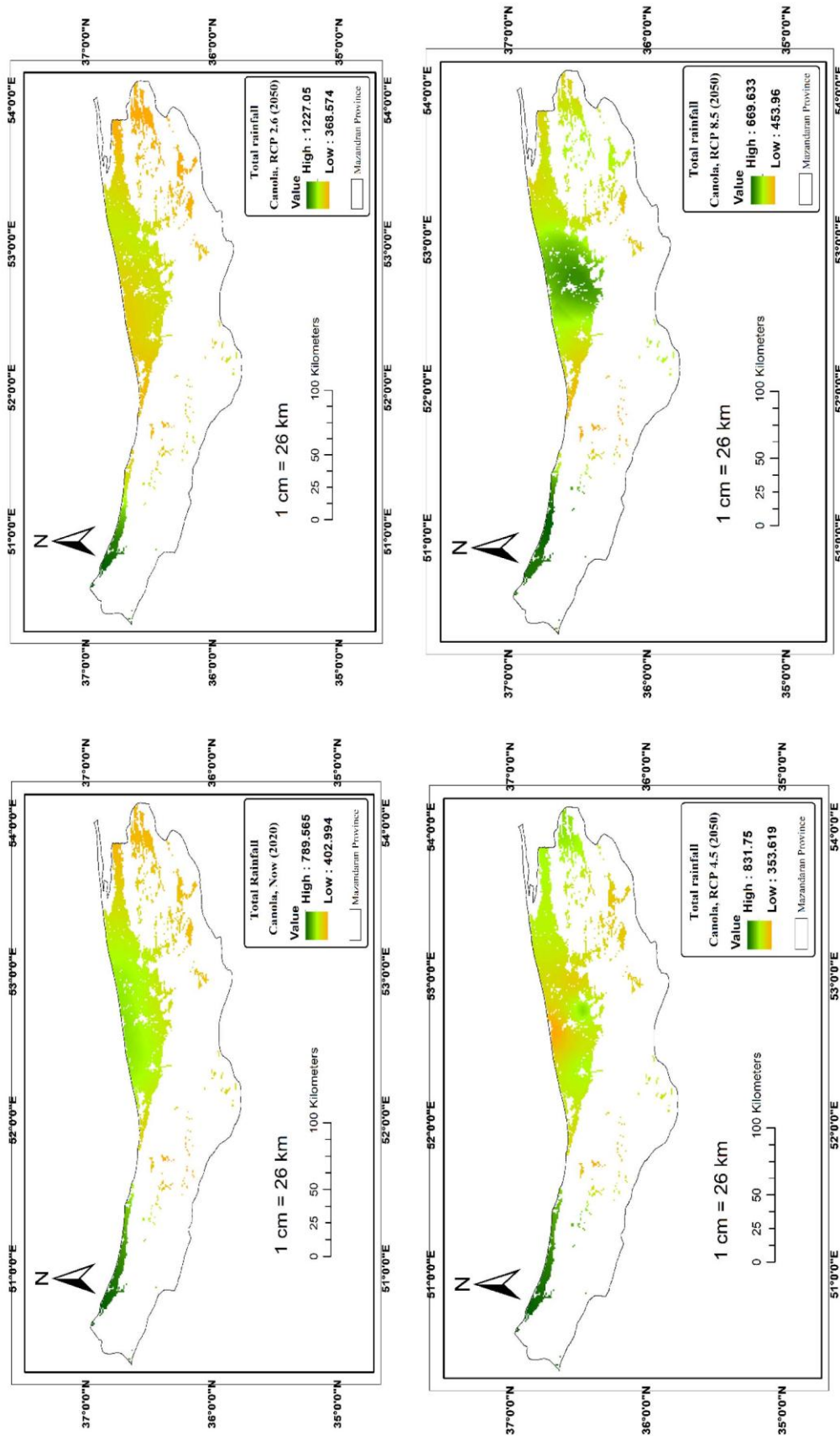
نتایج در مورد میزان بارش نیز افزایش بارندگی در آینده را در دو سناریوی RCP 2.6 و 4.5 نشان می‌دهد که این افزایش بارندگی در سناریوی RCP 2.6 بیشتر بوده است، اما در سناریوی RCP 8.5 کاهش بارندگی پیش‌بینی شده است. نتایج پراکندگی مکانی بارش در نقشه‌های تولید شده نشان داد که بارش‌ها در غرب محدوده مورد



شکل ۳- نقشه‌های دمای بیشینه زمان حال و آینده (۲۰۵۰) در سناریوهای ۲.۶، ۴.۵، ۸.۵ در طول فصل رشد کلزا
 Fig. 3- Current and future (2050) maximum temperature maps in RCP scenarios 2.6, 4.5, 8.5 during canola growing season



شکل ۴- نقشه‌های دمای کمینه زمان حال و آینده (۲۰۵۰) در سناریوهای ۲.۶، ۴.۵، ۸.۵ در طول فصل رشد کلزا
 Fig. 4- Current and future (2050) minimum temperature maps in RCP scenarios 2.6, 4.5, 8.5 during canola growing season



شکل ۵- نقشه‌های میزان بارش در زمان حال و آینده (۲۰۵۰) در سناریوهای ۲.۶، ۴.۵، ۸.۵ در طول فصل رشد کلزا
 Fig. 5- Current and future (2050) precipitation maps in RCP scenarios 2.6, 4.5, 8.5 during canola growing season

نتایج تناسب اراضی زراعی تحت اثرات تغییر اقلیم

تناسب کشت کلزا در اراضی زراعی مازندران در زمال حال و سناریوی RCP 2.6 در سه کلاسه نسبتاً مناسب، مناسب و خیلی مناسب قرار گرفت، اما در دو سناریوی دیگر کلاسه ضعیف هم دیده شد. نتایج (شکل ۷) نشان داد که در زمال حال، مساحت زیادی از اراضی مازندران (۷۴/۴۵ درصد اراضی)، در کلاسه مناسب قرار دارند. در سناریوی RCP 2.6 اراضی به سمت کلاسه خیلی مناسب میل می‌کند و ۷۷/۲۶ درصد اراضی را شامل می‌شود، که این اتفاق را می‌توان به افزایش میزان بارش در فصل رشد نسبت داد. در سناریوی RCP 8.5 کلاسی خیلی مناسب مشاهده نشد، بنابراین بررسی تناسب اراضی در آینده با سناریوهای بدبینانه و حد و سطر نشان داد که برای کشت کلزا در این سناریوها از کلاسه مناسب و خیلی مناسب کاسته شده و به سطح اراضی با کلاسه ضعیف افزوده خواهد شد. با اجرای سناریوهای تغییر اقلیم اراضی مرکزی و شمالی که شامل شهرستان‌هایی چون ساری، قائمشهر، بابل، آمل و بابلسر و بخش‌های نزدیک به این شهرها برای کشت کلزا در کلاسه بهتر نسبت به زمان حال قرار می‌گیرند و اراضی جنوبی مانند اراضی جنوب شهرستان‌های نکا و بهشهر و غربی مانند اراضی شهرستان‌های نور، نوشهر در کلاسه‌های ضعیف‌تر قرار خواهند گرفت. اورست و همکاران (Everest et al., 2021)، کاظمی و آکینسی (Kazemi & Akinci, 2018) و همچنین آگور (Aguiar et al., 2018) در تحقیقاتی مشابه تغییر کلاسه‌های تناسب اراضی بر اثر تغییر دماهای اصلی و بارش را

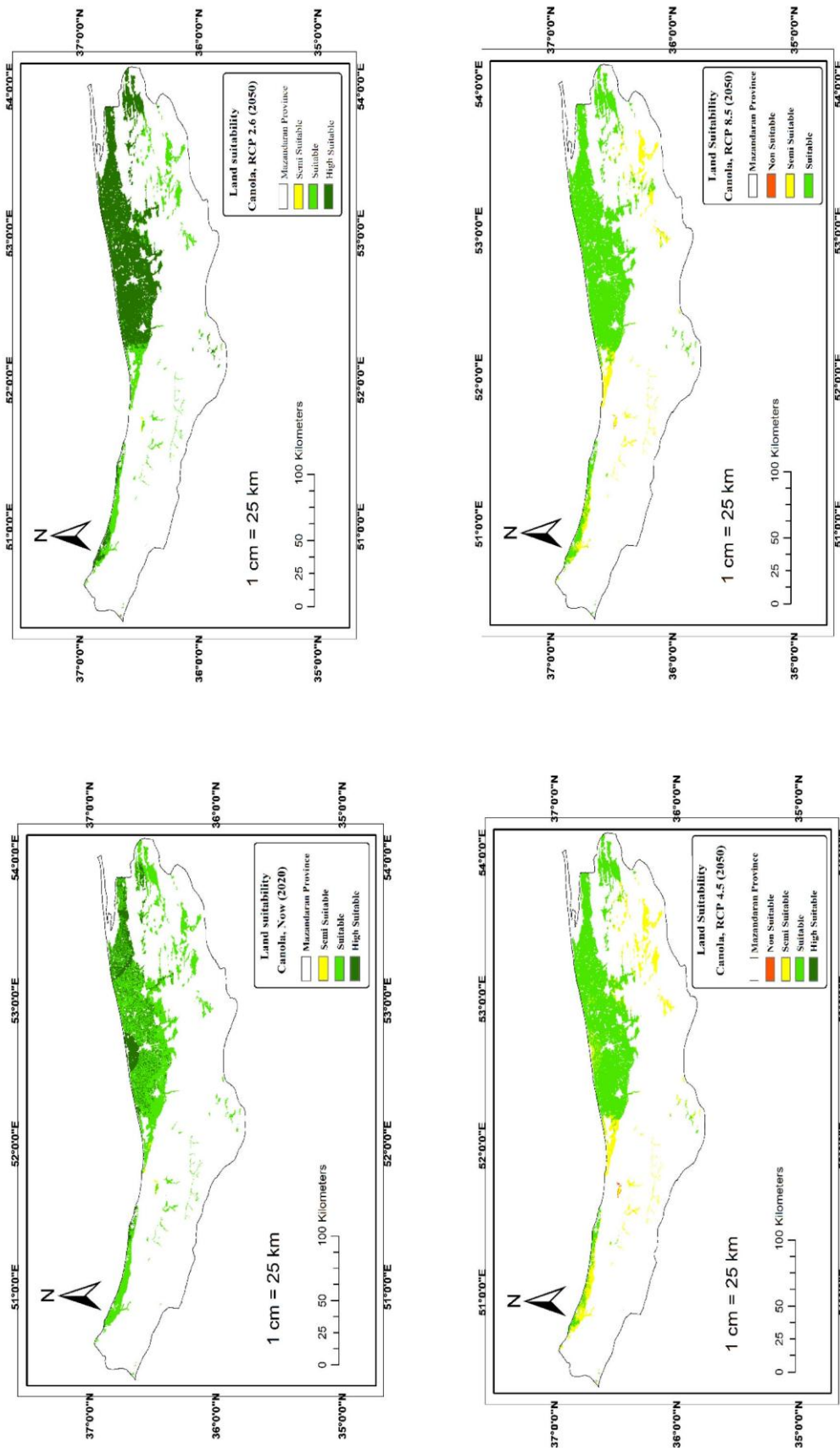
تأیید نمودند.

با بررسی نقشه‌های تغییرات دما و بارش و همچنین مطابقت آن با نقشه‌های تناسب اراضی اثبات شد که افزایش دما شرایط را برای اراضی زراعی شمالی و مرکزی استان به سمت دمای مطلوب‌تر برای رشد و نمو کلزا به پیش خواهد برد. دمای هوای مازندران در فصل رشد کلزا که عموماً در پاییز و زمستان است، غالباً در محدوده نسبتاً مناسب اکولوژیک قرار می‌گیرد، بنابراین کمی گرم‌تر شدن هوا شرایط را برای رشد و امکان کشت این محصول مطلوب‌تر می‌کند. از طرفی، نتایج نشان داد که افزایش بارندگی در سناریوی خوش‌بینانه RCP 2.6 همراه با این افزایش دما موجب افزایش ۵۲/۱۱ درصدی در مساحت اراضی خیلی مناسب نسبت به زمان حال شده است. عدم وجود یخبندان زمستانه، وجود بارش‌های به نسبت کافی و همچنین نزدیک بودن دمای هوا در طول فصل رشد به دمای مطلوب گیاه کلزا موجب شده است که درصد بالایی از اراضی در طبقه خیلی مناسب و مناسب قرار بگیرند. نتایج مبین آن بود که افزایش همزمان دما و کاهش بارش در سناریوی RCP 8.5 شرایط را برای کشت کلزا محدودتر خواهد کرد که بروز اراضی با تناسب ضعیف در آینده را به همراه خواهد داشت (Favi et al., 2022). سبحانی و روشنگری (Sobhani & Roshanali, 2018) با چند روش مشابه نتایج نزدیکی یافته‌های این تحقیق برای استان مازندران گزارش نمودند.

جدول ۷- مساحت و درصد تناسب‌های مختلف جهت کشت کلزا در اراضی کشاورزی استان مازندران

Table 7- Area and total share of each suitability class for canola cultivation in agricultural lands of Mazandaran province

سناریوها Scenarios	طبقات تناسب اراضی برای کشت کلزا Land suitability classes for canola cultivation							
	ضعیف Non-suitable		نسبتاً مناسب Moderately-suitable		مناسب Suitable		خیلی مناسب Highly suitable	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد
	Hectares	Percent	Hectares	Percent	Hectares	Percent	Hectares	Percent
زمان حال Current state	---	---	2092	0.39	391475	74.45	132238	25.15
RCP 2.6	---	---	1334	0.25	118200	22.47	406326	77.26
RCP 4.5	895	0.17	105772	20.11	419184	79.71	3	0.0004
RCP 8.5	315	0.06	68248	12.97	457290	86.96	---	---



شکل ۶- نقشه تناسب اراضی زراعی استان مازندران برای کشت کلزا در زمان حال و آینده (۲۰۵۰)
 Fig. 6- Land suitability map for current and future canola cultivation (2050) in Mazandaran province

نتیجه‌گیری

مقایسه مدل‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم نشان داد که مدل SDSM در پیش‌بینی دماهای اصلی موفق‌تر بوده است، اما برای پیش‌بینی میزان بارش مدل Lars-WG عملکرد بهتری داشت. با بررسی پیش‌بینی مدل‌های مورد مطالعه مشاهده شد که در تمامی سناریوها، دمای کمینه و بیشینه افزایش خواهد داشت، در حالی که میزان بارش در سناریوی RCP 8.5 کاهش می‌یابد و در سایر سناریوها افزایش خواهد بود. خروجی نقشه تناسب اراضی برای شرایط حال و آینده نیز به وضوح نشان داد که تغییر متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه در آینده موجب تغییر در تناسب اراضی زراعی مورد مطالعه خواهد شد. همچنین با اجرای سناریوی تغییر اقلیم پراکنده مکانی و مساحت طبقات مختلف کمی دچار تغییر شد، به گونه‌ای که با اجرای سناریوی RCP

2.6 مساحت اراضی طبقه خیلی مناسب افزایش یافته و گسترش آن به سمت مرکز استان بوده است. در سناریوهای RCP 8.5 و RCP 4.5 اراضی با طبقه تناسب خیلی مناسب وجود نخواهد داشت و به سمت طبقات با تناسب ضعیف سوق داده خواهند شد و دامنه گسترش این طبقات به سمت اراضی جنوبی و غربی کشیده خواهد شد. به طور کلی، در سناریوی خوش‌بینانه تناسب اراضی برای کشت کلزا شرایط بهتر و پهنه وسیع‌تری خواهد یافت و در سناریوهای دیگر شرایط برای کشت کلزا در اراضی مازندران نسبت به زمان حال ضعیف‌تر خواهد شد و این کاهش کیفیت در اراضی غربی و جنوبی استان مشهودتر است. بنابراین، راهکارهایی چون استفاده از ارقام سازگارتر و تغییر در مدیریت زراعی در رویارویی با شرایط جدید در این مناطق باید مورد توجه قرار گیرد.

References

1. Aguiar, F., Bentz, J., Silva, J., Fonseca, A., Swart, R., Duarte Santos, F., & Lopes, G., (2018). Adaptation to climate change at local level in Europe: An overview. *Environmental Science and Policy*, 86, 38-63. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.04.010>
2. Ajamzadeh, A., & Mollainia, M., (2014). Comparison of performance of SDSM and Lars-WG microscopic methods Case study: Tangab Dam Station, Fars province, First National Environmental Conference, Isfahan, Iran. (In Persian with English Summary)
3. Bidadi, M., Kamkar, B., Abdi, O., & Kazemi, H., (2015). Land suitability analysis on rainfed wheat cropping using geospatial information systems (A case study: Qaresoo basin). *Journal of Agricultural Science (University of Tabriz)*, 25, 131-143. (In Persian with English Summary)
4. Darzi Naftchali, A., Karandish, F., (2016). Rice Cultivation management in Mazandaran province under climate change. *Formerly Soil and Water Science*, 3, 333-346. (In Persian with English Summary)
5. Everest, T., Koparan, H., Sungur, A., & Ozcan, H., (2021). An important tool against combat climate change: Land suitability assessment for canola (a case study: Çanakkale, NW Turkey). *Environment, Development and Sustainability*, 171, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01985-x>
6. Favi, G.A., Dassou, G.H., Agounde, G., Marie-Ange, J., Ouachinou, S., Djidohokpin, D., Cossi Adomou, A., Yédomonhan, H., Tossou, G., & Akoègninou, A., (2022). Current and future distribution pet tern of *Cochlospermum planchonii* and *Cochlospermum tinctorium* in Benin (West Africa), in response to climate change. *Scenario Modeling Earth Systems and Environment*, 8, 773-786. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01109-4>
7. Hajarpoor, A., Yousefi, M., & Kamkar, B., (2014). Accuracy assessment of weather assimilators of CLIMGEN, LARS-WG and weather man in assimilation of three different climatic parameters of three different climate (Gorgan, Gonbad and Mashhad). *Geography and Development*, 35, 201-216. (In Persian with English Summary)
8. Hashemi, S., Kiani, F., (2018). Qualitative land suitability evaluation for canola and sugar beet cultivations with FAO different methods (Gyan Area, Hamadan Province). *Applied Soil Research*, 5, 16-30. (In Persian with English Summary)
9. Hashemi, M., Shamseldin, A., & Melville, B., (2011). Comparison of SDSM and LARSWG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25, 475-484.
10. Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shetaee, S., & Sadeghi, S., (2012). Agroecological zoning of agricultural lands in Golestan province for canola cultivation by Geographic Information System (GIS) and

- Analytical Hierarchy Process (AHP). *Electronic Journal Of Crop Production*, 5, 123-139.
11. Kazemi, H., & Akinci, H., (2018). A land use suitability model for rained farming by Multi-criteria Decision-making Analysis (MCDA) and Geographic Information System (GIS). *Ecological Engineering*, 166, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.021>
 12. Khan, M.S., Coulibaly, P., & Dibike, Y., (2016). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods, *Journal of Hydrology*, 319, 357-382
 13. Khorshiddoust, A., Hosseini, A., & Mohammadpour, K., (2011). Suitable site selection for canola cultivation in Kurdistan province using geographical information system (Gis). *Water and Soil Science*, 21 37-48. (In Persian with English Summary)
 14. Koocheki, A., Nassiri Mahalleti, M., & Jafari, L., (2015). Evaluation of climate change effect on agricultural production of Iran: I. Predicting the future agroclimatic conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13, 651-664. (in Persian with English Summary)
 15. Makhdoom, M., Darvish Sefet, A., Jafarzadeh, H., & Makhdoom, A., (2011). Environmental Evaluation and Planning by Geographic Information System. University of Tehran Press, Iran. 304 p
 16. Martin, D., & Saha, S.K., (2009). Land evaluation by integrating remote sensing and GIS for cropping system analysis in a watershed. *Current Science*, 96, 569-575.
 17. Mozaffari, G., Mir Mousavi, H., & Khosravi, M., (2012). The assessment of geostatistic methods and linear regression in order to specify the spatial distribution of annual precipitation case study: Boushehr province. *Journal of Geography and Development*, 27, 93-79. (In Persian with English Summary)
 18. Shahmoradi, I., (2011). Agro-climatic zonation of canola cultivation using AHP in GIS environment in Ilam province, M.Sc. Thesis in Natural Geography, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. (In Persian with English Summary)
 19. Sobhani, B., & Roshanali, M., (2018). Land suitability assessment of Mazandaran Province for canola cultivation based on multi-criteria decision making evaluation methods In GIS environment. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 8, 129-148. (In Persian with English Summary)
 20. Whitley, E., & Ball, J., (2002). Statistics review 1: Presenting and summarising data. *Crit Care*, 6, 66-71. DOI: 10.1186/cc1455