



Projection and Zoning the Frequency of Adverse temperature extreme events Wheat crop in western Iran

Received: 2024.05.05

Accepted: 2024.09.13

Mahmoud Ahmadi, Mohammad Kamangar *

Department of Climatology,
Faculty of Earth Sciences,
Shahid Beheshti University,
Tehran, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Climate change poses a significant global threat to human health and impacts various sectors of society, including water security and agricultural production. Wheat, as one of the most important crops worldwide, plays a vital role in ensuring food security and the livelihoods of farmers. With an annual production exceeding 600 million tons, it ranks as the third largest crop after maize and rice. Given that most wheat is grown in rainfed areas, the impacts of climate change on these crops are particularly significant. This research aims to examine the effects of climate change on wheat yield in different regions and provide strategies to reduce its vulnerability to these changes. The study seeks to analyze climatic data and use simulation models to investigate the challenges facing wheat due to rising temperatures and changing precipitation patterns.

Materials and Methods: This study utilized climatic and agricultural data from several regions where wheat is cultivated. In this context, maximum and minimum temperature data from 16 synoptic stations were collected, quality controlled, analyzed, and simulated for the future using the RCP 5.8 scenario. The frequency of adverse temperature phenomena was calculated based on the B.H.H agroclimatic index and interpolated across the entire study area using co-kriging. Analyses were conducted using statistical software and advanced models to identify the relationship between climatic variables and wheat yield.

Results and Discussion: Using linear regression modeling, the results indicated that in some stations, the slopes of maximum and minimum temperatures were negative, while in others, the slopes were positive. These changes were particularly evident in mountainous stations. The results showed an increasing trend in temperatures, especially minimum temperatures, and a significant rise in the risk of thermal stress for wheat. The findings indicated that rising temperatures significantly affect the reduction of the wheat growing season, with this impact being more pronounced in elevated areas. The likelihood of adverse maximum temperature events for wheat ranges from one to 23 occurrences for the mid-future scenario. The most vulnerable areas are located at higher latitudes within the study area, particularly regions where wheat cultivation is more prevalent, such as Dehgolan, Qorveh, and around Hamadan. Subsequently, the study area was classified into four distinct zones. The analysis of variance test showed significant differences among classes with a statistic of 10754.91 and a p-value of 0.000. Approximately 38% of the western country will face severe exposure to adverse maximum temperature events for wheat, with frequencies ranging from 15 to 23 occurrences.

Conclusion: Based on the findings of this research, it can be concluded that climate change represents a serious threat to wheat production, necessitating that farmers and policymakers consider appropriate strategies to reduce the vulnerability of this crop. Such strategies may include selecting temperature-resistant varieties and adjusting planting times. This research clearly demonstrates that, despite the challenges posed by climate change, implementing suitable measures can improve wheat yield and enhance the sustainability of its production.

Keywords: Climate Change, Wheat, Cokriging, Scenario, Western Iran.

How to cite this article:

Ahmadi, M. and Kamangar, M., 2025. Projection and zoning the frequency of adverse temperature extreme events for wheat crop in western Iran. *Adv. Environ. Sci.* 23(2): 339-358.

* Corresponding Author Email Address: m_kamangar@sbu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2025.235224.1394




Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

پیش‌نمایی و ناحیه‌بندی فراوانی رخدادهای نامطلوب حدی دمایی محصول گندم در غرب ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۳

محمود احمدی، محمد کمانگر* 

گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم
زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران،
ایران

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: تغییرات آب‌وهوایی علاوه بر اینکه یک تهدید جهانی مهم برای سلامتی انسان است بر بخش‌های مختلفی از جامعه از جمله امنیت آبی و تولید محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارد. گندم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در جهان، نقش حیاتی در تأمین امنیت غذایی و معیشت کشاورزان ایفا می‌کند. با تولید سالانه بیش از ۶۰۰ میلیون تن، این محصول بعد از ذرت و برنج، سومین محصول بزرگ زراعی محسوب می‌شود. با توجه به اینکه بیشتر گندم‌های کشت‌شده در مناطق دیم قرار دارند، تأثیرات تغییرات اقلیمی بر این محصولات به‌ویژه حائز اهمیت است. هدف این تحقیق بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر عملکرد گندم در مناطق مختلف و ارائه راهکارهایی برای کاهش آسیب‌پذیری آن در برابر این تغییرات است. پژوهش حاضر بر آن است تا با تحلیل داده‌های اقلیمی و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، چالش‌های پیش‌روی گندم را در اثر افزایش دما و تغییر الگوهای بارش بررسی کند.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه از داده‌های اقلیمی و زراعی چندین منطقه مختلف که گندم در آنها کشت می‌شود، استفاده شد. در همین راستا داده‌های دمای حداکثر و حداقل ۱۶ ایستگاه سینوپتیک جمع‌آوری، کنترل کیفی، تحلیل و با استفاده از سناریو RCP ۸/۵ برای آینده شبیه‌سازی گردید. فراوانی پدیده‌های نامطلوب دمایی بر اساس شاخص آگروکلیمایی B.H.H محاسبه شده و با روش کوکریجینگ برای کل محدوده مطالعاتی درون‌یابی گشت. تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری و مدل‌های پیشرفته انجام شد تا ارتباط بین متغیرهای اقلیمی و عملکرد گندم مشخص گردد.

نتایج و بحث: با استفاده از الگوسازی رگرسیون خطی، نتایج نشان می‌دهد که در برخی ایستگاه‌ها، شیب دمای حداکثر و حداقل منفی است، در حالی که در دیگر ایستگاه‌ها این شیب مثبت است. این تغییرات به‌ویژه در ایستگاه‌های کوهستانی بیشتر مشهود است. نتایج نشان‌دهنده یک روند افزایشی در دماها، به‌ویژه دماهای حداقل، و افزایش قابل توجه در خطر وقوع تنش دمایی برای گندم است. نتایج نشان داد که افزایش دما به‌طور معناداری بر کاهش طول فصل رشد گندم تأثیر دارد و این تأثیر در مناطق مرتفع بیشتر احساس می‌شود. احتمال وقوع رخداد نامطلوب دمایی حداکثر برای گندم از یک تا ۲۳ رخداد برای آینده میانه وجود دارد. آسیب‌پذیرترین مناطق در عرض‌های بالاتر جغرافیایی محدوده مطالعاتی یعنی مناطقی که کشت گندم در آنها بیشتر است مانند دهگلان و قره و اطراف همدان قرار خواهد داشت. سپس محدوده مورد مطالعه در چهار ناحیه مجزا طبقه‌بندی گردید. آزمون تحلیل واریانس طبقات با آماره $p\text{-value} = 0/0001075491$ پذیرفته شدن معناداری طبقات را نشان داد. حدود ۲۸ درصد از غرب کشور با فراوانی ۱۵ تا ۲۳ رخداد در معرض قرارگیری شدید رخدادهای نامطلوب دمای حداکثری گندم خواهند گرفت.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات اقلیمی تهدیدی جدی برای تولید گندم محسوب می‌شود و لازم است که کشاورزان و سیاست‌گذاران به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری این محصول، استراتژی‌های مناسبی را در نظر بگیرند. از جمله این استراتژی‌ها می‌توان به انتخاب ارقام مقاوم به دما و تغییر زمان کاشت اشاره کرد. این تحقیق به‌خوبی نشان می‌دهد که با وجود چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی، اتخاذ تدابیر مناسب می‌تواند به بهبود عملکرد گندم و پایداری تولید آن کمک کند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، گندم، کوکریجینگ، سناریو، غرب ایران.

استناد به این مقاله: احمدی، م. و
کمانگر، م. ۱۴۰۴. پیش‌نمایی و
ناحیه‌بندی فراوانی رخدادهای
نامطلوب حدی دمایی محصول گندم
در غرب ایران. فصلنامه علوم محیطی
نوین. ۳۵۸-۳۳۹: (۲) ۲۳.

* Corresponding Author Email Address: m_kamangar@sbu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2025.235224.1394



مقدمه

Hussain .Shokohi *et al.*, 2019; Wanga *et al.*, 2020) and Mudasser (2007) نشان دادند که تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد گندم در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب می‌شود؛ اما منطقه مرطوب با افزایش دما تا چهار درجه سانتی‌گراد، روند افزایش عملکرد را نشان می‌دهد. (Babaeian *et al.* (2013) دریافتند که افزایش دما باعث کاهش طول فصل رشد و کاهش عملکرد گندم می‌شود، به طوری که این تأثیر در مناطق مرتفع شدیدتر است؛ به نحوی که کاهش عملکرد گندم در مناطق پست ۷-۲۱ درصد و در مناطق مرتفع ۱۴-۲۳ درصد خواهد بود. Sultana *et al.* (2009) نشان دادند که در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، افزایش بارش، تابش خورشید و دی‌اکسید کربن بهره‌وری گندم را افزایش می‌دهد. با این حال، افزایش دما موجب افزایش تبخیر و تعرق و کاهش بازدهی گندم می‌شود. (Hong *et al.* (2019) به این نتیجه رسیدند که تغییر اقلیم در مناطق گندم‌خیز ایران باعث افزایش احتمال تنش‌های حرارتی در مرحله گل‌دهی و پرشدن دانه می‌شود، به گونه‌ای که این تنش‌ها در آینده به پدیده‌ای غالب تبدیل خواهند شد. (Li *et al.* (2021) بیان کردند که افزایش یک درجه سانتی‌گراد در دمای متوسط جهانی می‌تواند تولید جهانی گندم را تا ۶.۴ درصد کاهش دهد. (Usman *et al.* (2013) استفاده از مدل‌های پیش‌بینی و تکنیک‌های آماری مانند کوکریجینگ را برای ارزیابی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر محصولات کشاورزی ضروری دانستند. (Ortiz-Bobea *et al.* (2021) نشان دادند که تغییر اقلیم باعث کاهش ۲۱ درصدی رشد بهره‌وری کشاورزی جهانی در طول شش دهه گذشته شده است، به طوری که مناطق گرم‌تر نظیر آفریقا، آمریکای لاتین و آسیا بیشترین تأثیرات منفی را تجربه کرده‌اند. (Schauberger *et al.* (2021) بیان کردند که گرم شدن جهانی و تغییرات اقلیمی دیگر منجر به کاهش بهره‌وری و افزایش دشواری در تولید کشاورزی، به ویژه در دماهای

تغییر اقلیم به تغییر در وضعیت آب‌وهوایی اشاره دارد که می‌توان آن را با استفاده از بررسی معناداری آزمون‌های آماری، مانند تغییر در میانگین یا تغییرپذیری ویژگی‌ها در طولانی‌مدت (معمولاً چند دهه یا بیشتر) شناسایی کرد. افزایش دمای جهانی، گرم شدن اقیانوس‌ها، کوچک شدن ورق‌های یخی، عقب‌نشینی یخچال‌های برفی، بالا آمدن سطح دریاها، کاهش یخ‌های دریای قطب شمال، اسیدی شدن اقیانوس‌ها و رویدادهای حدی دمایی همه نشانه‌های مشهودی از تغییرات اقلیمی در سطح کره زمین است. تغییرات آب‌وهوایی علاوه بر اینکه یک تهدید جهانی مهم برای سلامتی انسان است (Watts *et al.*, 2018). بر بخش‌های مختلفی از جامعه نیز تأثیر می‌گذارد که از بین آن‌ها اثر تغییر اقلیم بر امنیت آبی و تولید محصولات کشاورزی بسیار حائز اهمیت است (Wang *et al.*, 2013). ارتباط بین اقلیم و کشاورزی به دلیل پویایی و تغییرات زیاد مکانی و زمانی پیچیده است؛ اما افزایش دما ممکن است بهره‌وری کشاورزی آینده را کاهش دهد (Arora, 2019). به علل تنش گرمایی، افزایش تقاضای آب گیاهان به خاطر نرخ تعرق بیش‌ازحد و کوتاه شدن و جلو افتادن دوره رشد تأثیر منفی تغییرات آب‌وهوا بر عملکرد غلات دوبرابر خواهد بود (Giannakopoulos *et al.*, 2009).

گندم یکی از مهم‌ترین محصولات غلات در جهان است این محصول با تولید سالانه بیش از ۶۰۰ میلیون تن، سومین محصول بزرگ در جهان پس از ذرت و برنج و یک منبع ضروری کربوهیدرات برای میلیون‌ها نفر است (FAO, 2016). از آنجایی که گندم در اکثر مناطق جهان به صورت دیم به عمل می‌آید و محصولات دیمی اساساً بر ویژگی‌های اقلیمی متکی هستند تغییر اقلیم می‌تواند بر این محصول تأثیر زیادی بگذارد. تاکنون مطالعات و تحقیقاتی بسیاری در رابطه با آسیب‌پذیری کشاورزی گندم در برابر تغییرات آب‌وهوایی انجام شده است (Li *et al.*, 2015; Kamali *et al.*, 2018; Kerr *et al.*, 2018; Rivas *et al.*, 2018;

تغییر شرایط اقلیمی می‌تواند منجر به تغییرات معنی‌دار در محدوده‌های جغرافیایی کشت شود که این تغییرات با توجه به ویژگی‌های محیطی متفاوت است. خشکسالی شدید در سال ۲۰۱۸ در استرالیا بیشتر مناطق کشاورزی در جنوب شرقی استرالیا را در بر گرفت که منجر به کاهش تقریباً ۴۵ درصدی تولید گندم در آنجا شد (Wanga et al., 2020). مناطق کشت گندم در جهان که با خطر وقوع دماهای بسیار بالا طی مراحل حساس رشد و نمو تهدید می‌شوند که احتمالاً تا سال ۲۰۳۰ به دو برابر و تا سال ۲۰۵۰ به سه برابر افزایش خواهند یافت (Gourdji et al., 2013). بررسی و تبیین مکانی اثرات تغییر اقلیم پیش‌آگاهی‌های مفیدی را در اختیار سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان حوزه کشاورزی قرار می‌دهد.

کشت محصول گندم یکی از مهم‌ترین غلات جهت تأمین معاش کشاورزان غرب کشور است. مسأله اصلی این تحقیق بررسی چگونگی تأثیر این تغییرات بر عملکرد گندم در مناطق مختلف غرب کشور است. در این راستا، این پژوهش تلاش می‌کند تا با بهره‌گیری از داده‌های اقلیمی و مدل‌سازی، آسیب‌پذیری گندم را در برابر تغییرات دما و بارش در نواحی مختلف جغرافیایی به‌ویژه در مناطق مرتفع و کم ارتفاع ارزیابی کند. همچنین، بررسی خواهد شد که چگونه اقدامات سازگارانه مانند تغییر زمان کاشت و انتخاب ارقام مقاوم به دما می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری این محصول کمک کند. با توجه به اهمیت گندم در امنیت غذایی جهان و نقش حیاتی آن در اقتصاد کشاورزی، این تحقیق به دنبال ارائه راهکارهای عملی برای سیاست‌گذاران و کشاورزان در مواجهه با اثرات تغییر اقلیم است. و تغییرات بازدهی این محصول تبعات زیاد اقتصادی و اجتماعی بر کشاورزان دارد؛ به همین دلیل تبیین و تحلیل فضایی وضع موجود آینده و ایجاد نقشه‌های ریسک خطرات جهت افزایش ظرفیت سازگاری و تاب‌آوری از اهمیت بسزایی برخوردار است. سوالاتی که در این تحقیق دنبال خواهد شد: آیا تغییرات دمای حداکثری و حداقلی در سناریوهای

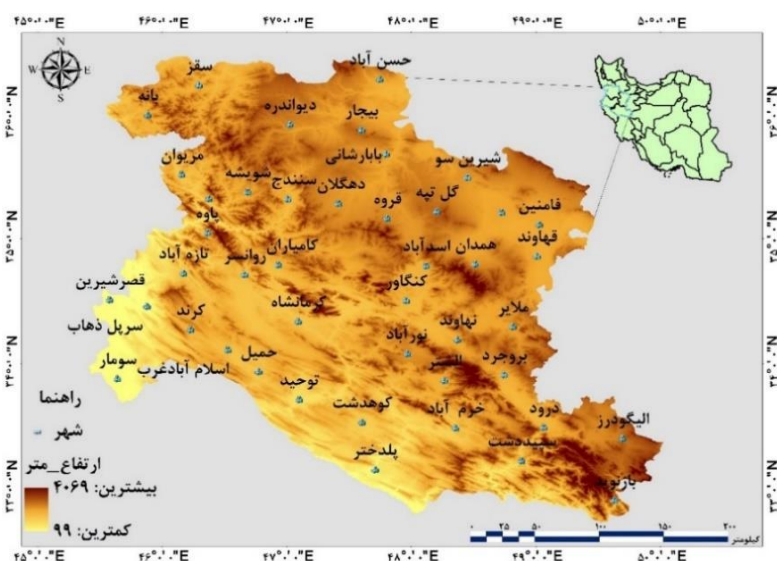
بالتر، شده است. (Anderson and Smith (2022) نشان دادند که مناطق با ارتفاع متوسط (۱۰۰۰-۲۰۰۰ متر) بیشترین تغییرپذیری در الگوهای دمایی را تجربه می‌کنند که این امر تأثیر مستقیمی بر عملکرد گندم دارد. Asseng et al. (2015) دریافتند که افزایش دما تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش عملکرد گندم در مناطق مختلف جهان دارد. Asseng et al. (2011) گزارش دادند که فراوانی رخدادهای حدی دمایی در طول فصل رشد گندم در دهه اخیر ۳۵ درصد افزایش یافته است. (Skendžić et al (2023) استفاده از GIS و سنجش از دور نشان دادند که الگوهای فضایی تنش حرارتی در مناطق کشت گندم به‌طور قابل‌توجهی در حال تغییر است و مناطق کوهستانی به‌طور خاص در معرض این تغییرات قرار دارند. Ahmad and Khan (2023) دریافتند که تنش‌های حرارتی در مراحل حساس رشد گندم می‌تواند تا ۴۰ درصد عملکرد را کاهش دهد. (Rahman et al. (2023) پیش‌بینی کردند که تا سال ۲۰۵۰، مناطق تولید گندم در آسیای غربی با افزایش ۲-۴ درصدی دما مواجه خواهند شد. Pakrooh and Kamal (2023) در مطالعات خود در ایران نشان دادند که تغییرات اقلیمی می‌تواند منجر به کاهش ۱۵-۳۰ درصدی عملکرد گندم در مناطق غربی کشور شود. Talukder et al. (2024) نشان دادند که تغییر در زمان‌بندی کاشت گندم می‌تواند تا ۲۵ درصد از کاهش عملکرد ناشی از گرما را جبران کند. (Wilson et al. (2024) گزارش دادند که تغییر در الگوهای بارش و افزایش وقوع خشکسالی‌ها تأثیر منفی قابل‌توجهی بر تولید گندم دیم دارد. با بررسی مطالعات گذشته می‌توان گفت بسیاری از مطالعات با استفاده از هر دو روش آماری و شبیه‌سازی عددی ثابت کرده‌اند که تغییرات آب‌وهوایی بازدهی محصول گندم به شیوه کاشت کنونی را تهدید می‌کند. در تحقیقات پیشین اثر تغییر اقلیم بر گندم با روش‌های آماری و مدل‌های شبیه‌سازی زراعی که نیاز به ورودی‌های زیادی دارند و برای محیط‌های در مقیاس مزرعه بررسی شده است.

آن‌ها، نتایج این تحقیق می‌تواند به بهبود برنامه‌ریزی‌های فضایی و ناحیه‌بندی اقلیمی منجر شود.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل استان‌های کردستان، کرمانشاه، ایلام، همدان و لرستان بین عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ} 31' 36''$ تا $31^{\circ} 51' 36''$ شمالی تا $45^{\circ} 27' 18''$ تا $45^{\circ} 26' 26''$ شرقی با وسعت 12146667 هکتار است (شکل ۱). بر اساس پهنه‌بندی آب و هوایی ایران در سیستم کوپن که توسط Ganji (2003) انجام شده، بخش اعظم زاگرس در شمال کردستان، همدان، کرمانشاه و لرستان دارای آب‌وهوای مدیترانه‌ای است و در نواحی مرتفع زاگرس نیز آب‌وهوای سرد و خشک مشاهده می‌شود و بخش‌های جنوب غربی کرمانشاه و ایلام دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک است (Abrifam *et al.*, 2001). بر اساس تقسیم‌بندی Alijani (2021) نیز غرب ایران به‌طور کلی دارای آب‌وهوای کوهستانی و پایکوهی است. وضعیت حرارتی ناحیه در تابستان همگن‌تر از زمستان است. این محدوده در دوره سرد سال، به علت حاکمیت بادهای غربی و نزدیکی به منبع رطوبتی دریای مدیترانه بارندگی زیادی دارد، اما دوره گرم سال نفوذ پرفشار آزر باعث کاهش بارندگی می‌شود (Mojarad and Masoompour, 2013)

تغییر اقلیم (RCP 8.5) با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های سردسیر و گرمسیر ایران متفاوت است؟ و اینکه چگونه تغییرات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) بر وقوع پدیده‌های نامطلوب دمایی حداکثری تأثیر می‌گذارد و نتایج این تغییرات در برنامه‌ریزی‌های فضایی چگونه قابل استفاده است؟ هدف اصلی این تحقیق بررسی و تحلیل تغییرات دمای حداقل و حداکثر در ایستگاه‌های مختلف ایران تا سال ۲۱۰۰ با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی آب و هوایی CMIP5 و سناریوی شدید اقلیمی RCP 8.5 است. این تحقیق به دنبال آن است تا با تحلیل داده‌های دمایی تاریخی و مدل‌سازی تغییرات اقلیمی آینده، میزان و شدت تغییرات دمایی در ایستگاه‌های غرب کشور ایران را مورد بررسی قرار دهد و تاثیر این تغییرات را بر منابع آب، کشاورزی، سلامت عمومی و اکوسیستم‌ها مشخص کند. با توجه به اهمیت روزافزون تغییرات اقلیمی و تأثیرات مخرب آن بر مناطق مختلف، این تحقیق قصد دارد تا با ارائه مدل‌های پیش‌بینی و شبیه‌سازی‌های دقیق، سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران را در مدیریت منابع طبیعی و طراحی استراتژی‌های مناسب برای مقابله با تغییرات اقلیمی یاری دهد. همچنین با بررسی فراوانی رخدادهای نامطلوب دمایی و الگوهای مکانی



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران

Fig. 1- Geographical location of the study area within Iran

داده‌ها و روش مطالعه

متغیرهای مهم هواشناسی تأثیرگذار در رشد، توسعه و میزان عملکرد محصولات عبارت‌اند از تشعشع خورشیدی، دما، بارش (میزان و توزیع زمانی)، رطوبت نسبی و سرعت باد (Abbate *et al.*, 2004). با توجه به اهمیت شرایط اقلیمی بخصوص درجه حرارت در مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان در مطالعات اقلیم کشاورزی ضروری است که در انجام تحقیقات از داده‌های روزانه دیده‌بانی شده در ایستگاه‌های هواشناسی برای انجام تحقیقات استفاده شود. صرف‌نظر از اینکه تا چه اندازه شرایط گیاه از نظر نور یا رطوبت مناسب باشد اما اگر دمای محیط گیاه از حداقل مشخصی کاهش یافته و یا از حداکثر معینی تجاوز کند رشد آن متوقف می‌شود (Alizadeh, 2014). در این تحقیق به‌منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر فراوانی وقوع پدیده‌های نامطلوب از داده‌های حداقل و حداکثر ۱۶ ایستگاه محدوده غرب کشور استفاده شد.

در این تحقیق، نمونه‌های پژوهش بر اساس داده‌های دمای حداقل و حداکثر ایستگاه‌های هواشناسی در محدوده مورد مطالعه انتخاب شده‌اند. این ایستگاه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شده‌اند که پراکندگی جغرافیایی مناسبی داشته و تغییرات اقلیمی مناطق مختلف را به‌خوبی نمایان کنند. معیارهای انتخاب ایستگاه‌ها شامل عوامل زیر بوده است:

موقعیت جغرافیایی و پوشش کامل منطقه: ایستگاه‌های هواشناسی از استان‌های مختلف (کردستان، کرمانشاه، ایلام، همدان و لرستان) انتخاب شدند تا نمایانگر الگوهای اقلیمی متفاوت در این منطقه باشند. این محدوده بین عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ} 51' 36''$ تا $36^{\circ} 49' 45''$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $45^{\circ} 27' 18''$ تا $50^{\circ} 04' 26''$ شرقی قرار دارد و با وسعت $12,146,667$ هکتار به‌عنوان یکی از مناطق مهم زاگرس شناخته می‌شود. این محدوده دارای تنوع اقلیمی بالایی است و انتخاب ایستگاه‌های مختلف در نقاط مختلف این منطقه به محققان کمک کرده تا تغییرات اقلیمی منطقه را به‌درستی شبیه‌سازی کنند.

نوع اقلیم و تنوع آب‌وهوایی: ایستگاه‌ها بر اساس طبقه‌بندی‌های اقلیمی معتبر، نظیر پهنه‌بندی آب‌وهوایی ایران در سیستم کوپن (Ganji, 2003) و مطالعات مربوط به آب‌وهوای کوهستانی و پایکوهی (Alijani, 2012)، انتخاب شده‌اند. این طبقه‌بندی‌ها مناطق با آب‌وهوای مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک و خشک را در نظر گرفته‌اند که در نواحی مختلف منطقه وجود دارند. بنابراین، ایستگاه‌های هواشناسی با توجه به نوع اقلیم منطقه، انتخاب و توزیع شده‌اند تا بتوانند نمایانگر شرایط آب‌وهوایی متنوعی از جمله مناطق کوهستانی، مرتفع و پایکوهی باشند.

داده‌های تاریخی موجود: یکی از مهم‌ترین معیارهای انتخاب ایستگاه‌ها، دسترسی به داده‌های کامل و قابل اعتماد برای مدت زمان طولانی (چندین دهه) است. در این تحقیق، از داده‌های دمای حداقل و حداکثر روزانه که به‌صورت مداوم در طی سالیان متمادی در این ایستگاه‌ها جمع‌آوری شده، استفاده شده است. این داده‌ها به محققان اجازه می‌دهند تا روندهای بلندمدت تغییرات دمایی را شناسایی کرده و برای شبیه‌سازی مدل‌های اقلیمی استفاده کنند.

اعتبار و کیفیت داده‌ها: برای اطمینان از دقت شبیه‌سازی‌ها، ایستگاه‌هایی انتخاب شده‌اند که داده‌های معتبر و بدون نقص دارند. این امر از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا هر گونه خطا یا نبود داده در ایستگاه‌های هواشناسی می‌تواند نتایج شبیه‌سازی را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، ایستگاه‌هایی که داده‌های آن‌ها از نظر کیفیت و پوشش زمانی کامل و قابل اعتماد بوده‌اند، در این پژوهش لحاظ شده‌اند.

اهمیت اقلیم در رشد و عملکرد محصولات کشاورزی: همان‌طور که در ادبیات تحقیق اشاره شد، عوامل اقلیمی نظیر دما و بارش از عوامل کلیدی در رشد و عملکرد محصولات کشاورزی هستند. از این‌رو، انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی بر اساس اهمیت آن‌ها در تحلیل و پیش‌بینی شرایط کشاورزی منطقه بوده است همچنین از شاخص اقلیم کشاورزی اثر دمای حداکثری

۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه IASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه بین المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IASA اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه ای است (Askareh and Akbarzadeh, 2017).

ریزمقیاس گردانی

اطلاعات برای کمک به تصمیم‌گیری‌های محلی، ملی یا منطقه‌ای، در مقیاس‌های مکانی و زمانی کوچک‌تر از آنچه که توسط مدل‌های جهانی ارائه می‌شود مورد نیاز واقع می‌شوند. خروجی GCMها را می‌توان به صورت دینامیک (با استفاده از مدل آب‌وهوا منطقه‌ای ناحیه‌محدود، RCM) یا به صورت آماری (با استفاده از روابط آماری استخراج‌شده از مشاهدات گذشته) ریزمقیاس گردانی کرد. مدل اس دی اس ام یکی از روش‌های ریزمقیاس گردانی است که خروجی‌های GCM را با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم در مقیاس ایستگاهی و روزانه تولید می‌کند. این مدل ترکیبی از مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره و پیش‌بینی کننده را در گام‌های کالیبرسون و پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌دهد (Hashmi *et al.*, 2011). در این روش ابتدا متغیر پیش‌بینی شونده (مانند دما و بارش) را با استفاده از روش‌های رگرسیونی ترکیبی و یک مولد هواشناسی تصادفی کوچک مقیاس نموده و در مرحله بعد با استفاده از مولد هواشناسی تصادفی، متغیر پیش‌بینی شونده، در محل ایستگاه مجدداً تولید می‌گردد (Amirabadizadeh *et al.*, 2018). در این روش، ریزمقیاس سازی آماری، متغیرهای اقلیمی روزانه طی مراحل زیر صورت می‌پذیرد: کنترل کیفیت و تغییر شکل داده‌ها، انتخاب بهترین متغیرهای پیش‌بینی کننده، کالیبره نمودن مدل، تولید داده‌های هواشناسی (با استفاده از پیش‌بینی کننده مشاهده‌ای)، بررسی کیفی مدل سازی با استفاده از شاخص‌های آماری و گرافیکی و در نهایت تولید سناریو اقلیمی (Hessami *et al.*, 2008). پس از بررسی‌های اولیه سری‌های زمانی به منظور شبیه‌سازی دمای آینده و استخراج پدیده‌های

B.H.H با شرط چنانچه پیش از یک دوره حداقل شش‌روزه متوالی با دمای متوسط کمتر از ۳ درجه سانتی‌گراد، دمای حداکثر، حداقل برای ۹ روز بیش از ۱۸ درجه سانتی‌گراد برای دوره آینده میانه (۲۰۴۰-۲۰۶۹) را برای تعریف این پدیده لحاظ شد. این شاخص میانگینی از رقم‌های مناطق مدیترانه ای است و که بر اساس مطالعات Trnka و همکاران (۲۰۱۴) بدست آمده، استفاده شد.

تغییر آب‌وهوا و سناریوهای اقلیمی

سناریوها خط سیرهای نماینده غلظت گازهای گلخانه ای برای تحلیل پس‌خورهای بین تغییرات اقلیمی و فاکتورهای اجتماعی-اقتصادی نظیر رشد جهانی جمعیت، توسعه اقتصادی و پیشرفت‌های فناوری می‌شود. این سناریوها امکان اکتشاف سازمان یافته از چالش‌های مرتبط با سیاست‌های سازگاری و تعدیل احتمالی آینده را فراهم می‌آورند (Riahi *et al.*, 2011). هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود از سناریوهای جدید RCP به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه ای استفاده کرده است. سناریوی انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6، و RCP8.5 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند (Charron, 2014). در این تحقیق از سناریوی بدبینانه RCP8.5 استفاده از این سناریو بدبینانه به‌این‌علت در نظر گرفته شد که سطح آمادگی‌های قبل از وقوع مخاطرات طبیعی باید در مقابل خطرات باید حداکثری باشد. همچنین استفاده از این سناریو در زمینه آسیب‌پذیری ناشی از تغییرات اقلیمی و پاسخ‌های بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Warnatzsch, 2019 and Reay). در سناریوی RCP8.5 بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب‌وهوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. به‌طوریکه ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی‌اکسید کربن به

جوی یاخته‌های که هر ایستگاه را پوشش می‌داد و یاخته‌های مجاور هر ایستگاه اخذ گردیده و همبستگی با داده‌های ایستگاهی ایجاد شد. در نهایت، یاخته با بیشترین همبستگی انتخاب شد (جدول ۱).

نامطلوب دمایی گندم از مدل اس دی اس که ترکیبی از دو روش تولید آب‌وهوایی غیرقطعی و رگرسیون است استفاده شد. به‌منظور انتخاب یاخته مناسب از سری یاخته‌های پایگاه داده‌ای جوی NCEP و نیز مدل CANESM2، ابتدا داده‌های

جدول ۱- مشخصات یاخته انتخاب شده برای شبیه‌سازی دما
Tabel 1. Characteristics of the selected cell for temperature simulation

نام ایستگاه	سلول شبکه‌ای در طول (X grid cell)	سلول شبکه‌ای در عرض (Y grid cell)	مرکز طولی یاخته	مرکز عرضی یاخته
اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، سنندج، ملایر، بیجار، بروجرد، خرم‌آباد، روانسر، زرینه، قروه، کنگاور، همدان	۱۸	۴۵	۴۷/۸۱	۳۴/۸۸
سقز، مریوان، سرپل ذهاب	۱۷	۴۵	۴۵	۳۴/۸۸
الیگودرز	۱۹	۴۴	۵۰/۶۲	۳۲/۰۹

نتایج

در بررسی داده‌های پرت سری‌های مورد مطالعه با توجه به آماره گرابس برای دماهای حدی در کلیه ایستگاه‌های مطالعاتی آماره کمتر از آستانه بحرانی محاسبه شد و همچنین با توجه به پی‌ولیو آزمون در هیچ یک از سری‌های زمانی بررسی شده داده پرت مشاهده نشد. سپس داده‌ها به لحاظ آماره‌های توصیفی مورد بررسی قرار گرفت با بررسی توصیفی سری‌های زمانی داده‌ها، ایستگاه سقز بیشترین دامنه تغییرات دمای حداکثر و حداقل را به ترتیب با ۶/۶۲ و ۴/۶۵ اختلاف درجه نشان داد. سرپل ذهاب با ۳۹ درصد کمترین ضریب تغییرات دمای بیشینه و زرینه با ۲۷۳ درصد بیشترین ضریب تغییرات دمای بیشینه را دارا بودند. در ادامه با الگوسازی رگرسیون خطی بر دمای بیشینه میزان شیب، عرض از مبدأ و معناداری ضرایب در سطح ۹۵ درصد مورد بررسی و مقادیر P_Value در مورد تصمیم‌گیری برای وارد نمودن آن پارامتر در مدل در زیر معادلات نوشته شده است (جدول ۲).

پس از شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر رخدادهای نامطلوب دمایی حداکثری گندم با توجه به شاخص تعریف شده در نرم افزار متلب پیاده‌سازی شده (کد نرم افزاری در پیوست موجود است) و فراوانی رخداد برای هر ایستگاه استخراج شد. فراوانی رودیدهای هر ایستگاه در لایه نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی برای درون‌یابی ثبت گردید. قبل از اعمال درون‌یابی تحلیل اکتشافی بر روی داده‌ها انجام شد. و با استفاده از روش کوکرجینگ برای کل محدوده درون‌یابی انجام پذیرفت.

از اهداف نهایی مطالعات جغرافیایی ناحیه‌بندی و برنامه‌ریزی فضایی است. مرزبندی، سطح‌بندی و جهت‌دهی نظام هندسی فضا در قالب قطب‌ها، جبهه‌ها و خوشه‌های فضایی را ناحیه‌بندی فضا گویند. همگونی (ویژگی‌های مشابه فضا)، فشردگی (نزدیکی فضاهای جغرافیایی) و برابری (ارزش‌های مشابه) درون ناحیه‌ای از ویژگی‌های منحصر بفرد ناحیه‌بندی است (Assuncao, 2006). ناحیه‌بندی بر اساس فراوانی وقوع انجام گرفته و با آزمون تحلیل واریانس معناداری نواحی مورد بررسی قرار گرفت.

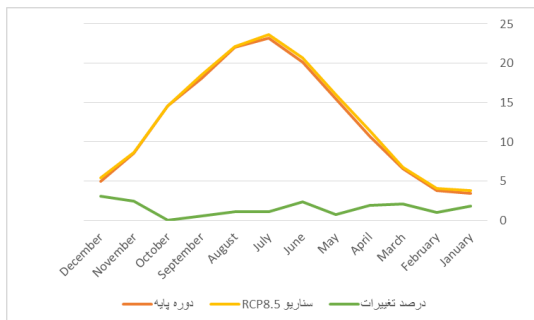
جدول ۲- مدل برازش یافته شده بر دما حداقل و حداکثر روزانه
 Tabel 2. Fitted model for daily minimum and maximum temperature

نام ایستگاه	متغیر	مدل برازش داده شده	نوع الگو (خطی یا سهمی)
اسلام آباد غرب	حداکثر	دما = $۲۲/۴۶ - ۰/۰۰۰۱۷۷t + ۰/۰۰۰۰۰۰۴t^2$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۵۲) (۰/۰۴۸)	سهمی
	حداقل	دما = $۹/۳۳۴ - ۰/۰۰۰۷۶۴t + ۰/۰۰۰۰۰۰۱t^2$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	سهمی
الیگودرز	حداکثر	دما = $۱۸/۰۳ + ۰/۰۰۰۰۹t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
	حداقل	دما = $۷/۳۳۱ - ۰/۰۰۰۰۲۰۱t + ۰/۰۰۰۰۰۰۱t^2$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۱۵) (۰/۰۰۷)	سهمی
بروجرد	حداکثر	دما = $۲۰/۲۳ + ۰/۰۰۰۱۲۳t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
	حداقل	دما = $۹/۱۴ - ۰/۰۰۰۰۲۳۲t + ۰/۰۰۰۰۰۰۱t^2$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۱۸) (۰/۰۰۰)	سهمی
بیجار	حداکثر	دما = $۱۵/۰۱۹ + ۰/۰۰۰۰۲۱۰t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
	حداقل	دما = $۵/۸۷۲ + ۰/۰۰۰۱۳۹t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
خرم آباد	حداکثر	دما = $۲۵/۰۹۵ - ۰/۰۰۰۱۲۷t + ۰/۰۰۰۰۰۰۱t^2$ P_Value= (۰/۰۰۱) (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	سهمی
	حداقل	دما = $۷/۳۳۱ + ۰/۰۰۰۰۲۹۲t - ۰/۰۰۰۰۰۰۱t^2$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	سهمی
روانسر	حداکثر	دما = $۲۳/۶۸۸ - ۰/۰۰۰۰۸۲۷t + ۰/۰۰۰۰۰۰۱t^2$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	سهمی
	حداقل	دما = $۱۱/۱۲۰ - ۰/۰۰۰۰۵۳۳t + ۰/۰۰۰۰۰۰۱t^2$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	سهمی
زرینه	حداکثر	دما = $۱۲/۷۱۵ + ۰/۰۰۰۰۲۰۱t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
	حداقل	دما = $۳/۷۳ - ۰/۰۰۰۰۳۰۳t + ۰/۰۰۰۰۰۰۱t^2$ P_Value= (۰/۰۰۳) (۰/۰۰۲) (۰/۰۰۰)	سهمی
سرپل ذهاب	حداکثر	دما = $۲۵/۲۴ + ۰/۰۰۰۰۵۹۵t - ۰/۰۰۰۰۰۰۱t^2$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	سهمی
	حداقل	دما = $۱۲/۱۴۳ + ۰/۰۰۰۱۱۹t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی

ادامه جدول ۲_ مدل برازش یافته شده بر دما حداقل و حداکثر روزانه
 Tabel 2. (cont.). Fitted model for daily minimum and maximum temperature

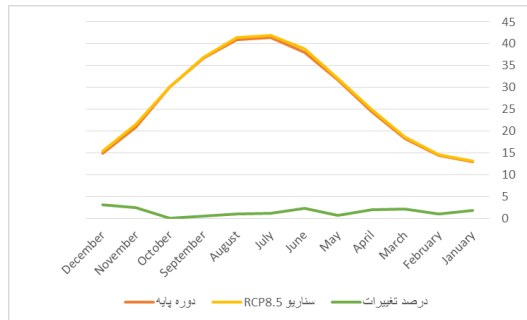
نام ایستگاه	متغیر	مدل برازش داده شده	نوع الگو (خطی یا سهمی)
سفر	حداکثر	$\text{دما} = ۱۹/۳۲ + ۰/۰۰۰۲۳۵t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
	حداقل	$\text{دما} = ۵/۶ + ۰/۰۰۰۲۹۵t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۵۲)	خطی
سنندج	حداکثر	$\text{دما} = ۱۹/۴۲۵ + ۰/۰۰۰۱۳۸t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
	حداقل	$\text{دما} = ۸/۶ + ۰/۰۰۰۴۴۳t +$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
قروه	حداکثر	$\text{دما} = ۱۶/۲۳ + ۰/۰۰۰۱۹۰t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
	حداقل	$\text{دما} = ۵/۹۷۱ + ۰/۰۰۰۱۷۷t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
کرمانشاه	حداکثر	$\text{دما} = ۲۱/۰۲ + ۰/۰۰۰۰۹۱t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
	حداقل	$\text{دما} = ۶/۰۰۲ + ۰/۰۰۰۰۹۶t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
کنگاور	حداکثر	$\text{دما} = ۱۹/۸۷ + ۰/۰۰۰۱۶۷t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
	حداقل	$\text{دما} = ۴/۷۴ + ۰/۰۰۰۰۹۴t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
مریوان	حداکثر	$\text{دما} = ۱۸/۹۵ + ۰/۰۰۰۰۳۰۳t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
	حداقل	$\text{دما} = ۵/۶۸ + ۰/۰۰۰۰۴۴t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۴)	خطی
ملایر	حداکثر	$\text{دما} = ۱۸/۰۶ + ۰/۰۰۰۰۶۲۹t - ۰/۰۰۰۰۰۰۱t^2$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
	حداقل	$\text{دما} = ۶/۲۶ + ۰/۰۰۰۱۲۵t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
همدان	حداکثر	$\text{دما} = ۱۸/۱۵۶ + ۰/۰۰۰۱۰۲t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی
	حداقل	$\text{دما} = ۳/۶۳ + ۰/۰۰۰۱۰۳t$ P_Value= (۰/۰۰۰) (۰/۰۰۰)	خطی

گردید برای مثال داده‌های مربوط به ایستگاه سرپل ذهاب نماینده تغییرات کم و سقز نماینده تغییرات شدید است (اشکال ۲_۵).

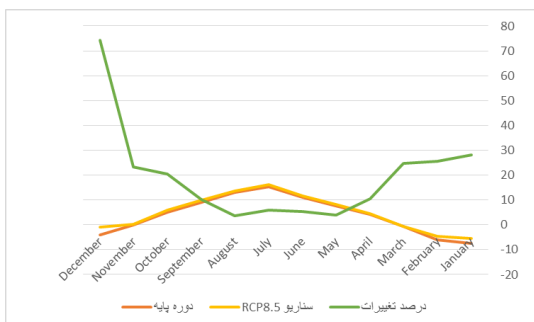


شکل ۳- شبیه‌سازی و تغییرات دمای حداقل سرپل ذهاب
Fig. 3- Simulation and changes of minimum temperature in Sarpol-e Zahab

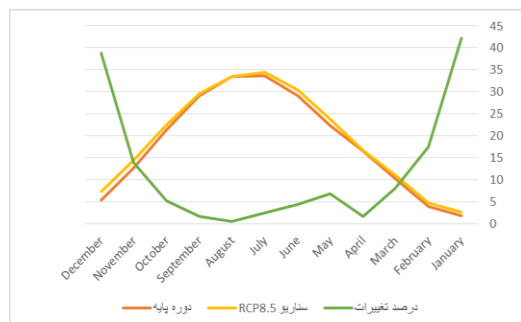
شبیه‌سازی دماهای حداقل و حداکثر تا سال ۲۱۰۰ انجام شده که به صورت گرافیکی و مقایسه با دوره پایه آن و همچنین درصد تغییرات ماهیانه نسبت به دوره پایه محاسبه



شکل ۲- شبیه‌سازی و تغییرات دمای حداکثری سرپل ذهاب
Fig. 2- Simulation and changes of maximum temperature in Sarpol-e Zahab



شکل ۵- شبیه‌سازی و تغییرات دمای حداقل سقز
Fig. 5- Simulation and changes of minimum temperature in Saqez b



شکل ۴- شبیه‌سازی و تغییرات دمای حداکثری سقز
Fig. 4- Simulation and changes of maximum temperature in Saqez

تغییرات ماهیانه دما را در آینده مشاهده کرد. همچنین، منحنی سبز در هر یک از این نمودارها درصد تغییرات ماهانه دما نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد، که به وضوح بیانگر میزان افزایش یا کاهش دما در هر ماه است. در شکل دو که مربوط به ایستگاه سرپل ذهاب است، تغییرات دما حداقل و حداکثر نشان داده شده است. به نظر می‌رسد که افزایش دما در ماه‌های تابستان بسیار چشمگیر است، به خصوص در ماه‌های جولای و آگوست که دمای حداکثری به بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در این دوره زمانی، اختلاف بین دمای شبیه‌سازی شده با سناریو RCP 8.5 و دوره پایه به حداکثر می‌رسد، که نشان‌دهنده تأثیرات بالقوه تغییرات اقلیمی بر گرمایش بیشتر منطقه در این ماه‌ها است.

شبیه‌سازی دماهای حداقل و حداکثر تا سال ۲۱۰۰ در این اشکال دو تا پنج، تغییرات دما را بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم و استفاده از مدل CMIP5 و سناریو RCP 8.5 به تصویر می‌کشد. سناریو RCP 8.5 یکی از سناریوهای شدید تغییرات اقلیمی است که افزایش قابل توجه گازهای گلخانه‌ای را در نظر گرفته و اثرات بالقوه آن بر دما و شرایط اقلیمی را تا پایان قرن پیش‌بینی می‌کند. در این شکل‌ها، دماهای حداقل و حداکثر شبیه‌سازی شده با دوره پایه (که معمولاً به میانگین داده‌های اقلیمی در دهه‌های گذشته اشاره دارد) مقایسه شده‌اند. خطوط نارنجی در هر گراف نشان‌دهنده شبیه‌سازی دما بر اساس سناریوی RCP 8.5 و خطوط زرد مربوط به دوره پایه است. از این مقایسه می‌توان

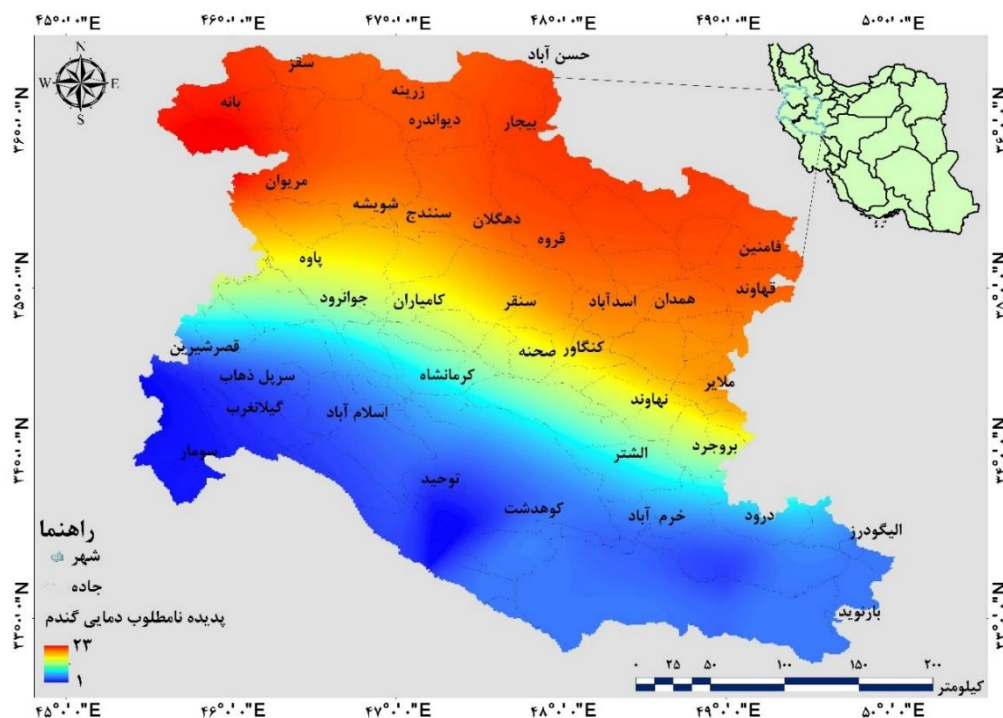
گرمای شدید و افزایش تبخیر منجر شود، که به نوبه خود باعث کاهش منابع آب سطحی و تحت‌الارضی خواهد شد. این موضوع به‌ویژه در مناطقی مانند سرپل ذهاب که در حال حاضر نیز با محدودیت‌های آبی مواجه هستند، مشکلات جدی‌تری به همراه دارد. در این مناطق، افزایش دما در تابستان‌ها (همان‌طور که در نمودار مشخص است) می‌تواند باعث خشک‌سالی‌های شدیدتر و کاهش محصولات کشاورزی شود. در سقز نیز، تغییرات دما به طور عمده در ماه‌های سردتر مشاهده می‌شود. این افزایش دما در زمستان ممکن است باعث کاهش روزهای یخبندان و طولانی شدن فصل رشد گیاهان شود، اما از سوی دیگر می‌تواند تهدیدی برای منابع آبی به دلیل کاهش ذخایر برف در ارتفاعات و کاهش جریان‌های آبی در تابستان باشد. این نتایج با مطالعات (Zittis et al (2015 که به بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر نواحی کوهستانی پرداخته‌اند همخوانی دارد. افزایش دمای حداکثر، که به وضوح در هر دو ایستگاه سرپل ذهاب و سقز مشاهده می‌شود، می‌تواند اثرات مهمی بر سلامت عمومی و ایجاد موج‌های گرمایی داشته باشد. موج‌های گرمایی به عنوان یکی از اثرات مستقیم تغییرات اقلیمی، تهدید جدی برای جوامع انسانی محسوب می‌شوند. طبق مطالعات (Gasparrini et al (2023 موج‌های گرمایی در خاورمیانه و ایران در آینده افزایش خواهد یافت و ممکن است منجر به افزایش مرگ و میر ناشی از استرس گرمایی شود. در مناطقی مانند سرپل ذهاب که در حال حاضر نیز با دمای بالا مواجه است، افزایش دمای حداکثری ممکن است زندگی روزمره را با چالش‌های زیادی مواجه کند، از جمله نیاز به مدیریت منابع انرژی بیشتر برای سرمایش و افزایش فشار بر زیرساخت‌های سلامت عمومی. یکی از جنبه‌های مهم در این شبیه‌سازی‌ها، تغییر در الگوهای ماهیانه دما است. بر اساس نمودارها، افزایش دما نه تنها در ماه‌های گرم سال، بلکه در ماه‌های سرد نیز به وضوح مشاهده می‌شود. مطالعات پیشین مانند Gosling et al (2011) نیز به این موضوع اشاره دارند که تغییرات اقلیمی

در ماه‌های زمستان، دمای حداکثری نسبت به دوره پایه کاهش محسوسی ندارد اما روند کلی تغییرات درصدی نیز نشان می‌دهد که تغییرات کمتر از دوره تابستان است. در شکل سه نیز تغییرات ایستگاه سرپل ذهاب نشان داده شده است اما این بار تمرکز بیشتر بر دماهای حداقلی و درصد تغییرات آن‌ها است. دمای حداقلی در ماه‌های زمستان به خصوص در ماه دسامبر کمترین مقدار را دارد. این نمودار نشان می‌دهد که تغییرات درصدی در دمای حداقل در مقایسه با دمای حداکثر کمتر است و این بدین معنی است که تغییرات اقلیمی در این منطقه تأثیر کمتری بر دماهای حداقلی خواهد داشت. در شکل چهار و شکل پنج که مربوط به ایستگاه سقز است، به نظر می‌رسد که تغییرات بسیار شدیدتری در دماهای حداقلی و حداکثری نسبت به سرپل ذهاب وجود دارد. سقز به عنوان منطقه‌ای سردتر نسبت به سرپل ذهاب، با افزایش دمای قابل توجهی مواجه خواهد شد. در ماه‌های زمستان، دمای حداقلی در برخی ماه‌ها به شدت افزایش می‌یابد که این نشان‌دهنده گرم‌تر شدن هوای سرد زمستانی در آینده است. همچنین، درصد تغییرات در این منطقه بسیار چشمگیرتر از سرپل ذهاب است و بیانگر افزایش قابل توجه دما در طول سال، به ویژه در ماه‌های سرد سال است. در مطالعات مختلف، پیش‌بینی شده است که مناطق خاورمیانه، از جمله ایران، افزایش شدید دما را تجربه خواهند کرد. به‌طور خاص، در مناطقی مانند سقز که دمای پایه نسبتاً پایین‌تری دارند، این افزایش دما در ماه‌های زمستانی به طور چشمگیری نمایان می‌شود. این نتیجه با مطالعاتی که تغییرات اقلیمی در مناطق کوهستانی و سرد را بررسی کرده‌اند نیز همخوانی دارد، زیرا تغییرات در این مناطق به دلیل تفاوت‌های حرارتی بیشتر در زمان‌های سردتر سال می‌تواند شدیدتر باشد. یکی از اثرات مهم تغییرات اقلیمی، تغییر در الگوهای فصلی دما و تأثیر آن بر کشاورزی و منابع طبیعی است. در مطالعه‌ای از (AghaKouchak et al (2015 درباره خاورمیانه و ایران، نشان داده شده است که افزایش دمای تابستان می‌تواند به موج‌های

کاهش روزهای یخبندان و تأثیرات عمده‌ای بر اکوسیستم‌ها و فعالیت‌های کشاورزی آن‌ها داشته باشد. استفاده از مدل CMIP5 و سناریوی RCP 8.5 که یکی از بدبینانه‌ترین سناریوهای تغییرات اقلیمی است، به محققان و تصمیم‌گیران امکان می‌دهد تا سناریوهای شدید و اثرات بالقوه تغییرات اقلیمی را در مناطق مختلف شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار دهند. این اطلاعات می‌تواند در تدوین سیاست‌های اقلیمی، مدیریت منابع طبیعی و آماده‌سازی برای مواجهه با اثرات آینده تغییرات اقلیمی بسیار مؤثر واقع شود. پس از شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر رخدادها نامطلوب دمایی حداکثری گندم با توجه به شاخص تعریف شده به‌وسیله *Trnka et al (2014)* در نرم افزار متلب پیاده سازی و فراوانی رخداد برای هر ایستگاه استخراج شد. فراوانی رودیدهای هر ایستگاه در لایه نقطه ای ایستگاه‌های هواشناسی برای درون‌یابی ثبت گردید. سپس با استفاده از روش کوکرجینگ و متغیر کمکی ارتفاع نامطلوب دمایی طی دوره های آینده بر روی محدوده مورد مطالعه میان یابی شد (شکل ۶).

به تغییر در توزیع زمانی دما منجر خواهد شد، که این تغییرات می‌تواند در طول سال و به خصوص در فصل‌های انتقالی (مانند بهار و پاییز) بر الگوهای اقلیمی و زیست‌محیطی اثرگذار باشد. در اشکال دو تا پنج که تغییرات ماهیانه دما در سرپل ذهاب و سقز را نشان می‌دهد، این تغییرات به خوبی دیده می‌شود. به عنوان مثال، افزایش دما در ماه‌های جولای و آگوست در سرپل ذهاب و اکتبر و نوامبر در سقز به شدت نمایان است. این نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی نه تنها شدت تابستان‌ها را افزایش می‌دهد، بلکه بر فصل‌های سرد نیز اثرگذار خواهد بود.

این شبیه‌سازی‌ها به خوبی تاثیر تغییرات اقلیمی را بر مناطق مختلف ایران نشان می‌دهند. بر اساس این پیش‌بینی‌ها، مناطقی که در حال حاضر نیز گرم و خشک هستند، مانند سرپل ذهاب، در آینده به میزان زیادی تحت تأثیر گرمایش قرار خواهند گرفت. این گرمایش شدید می‌تواند پیامدهای جدی برای منابع آبی، کشاورزی و زندگی ساکنین این مناطق داشته باشد. از سوی دیگر، مناطق سردتر مانند سقز نیز با افزایش دما مواجه خواهند شد که می‌تواند باعث



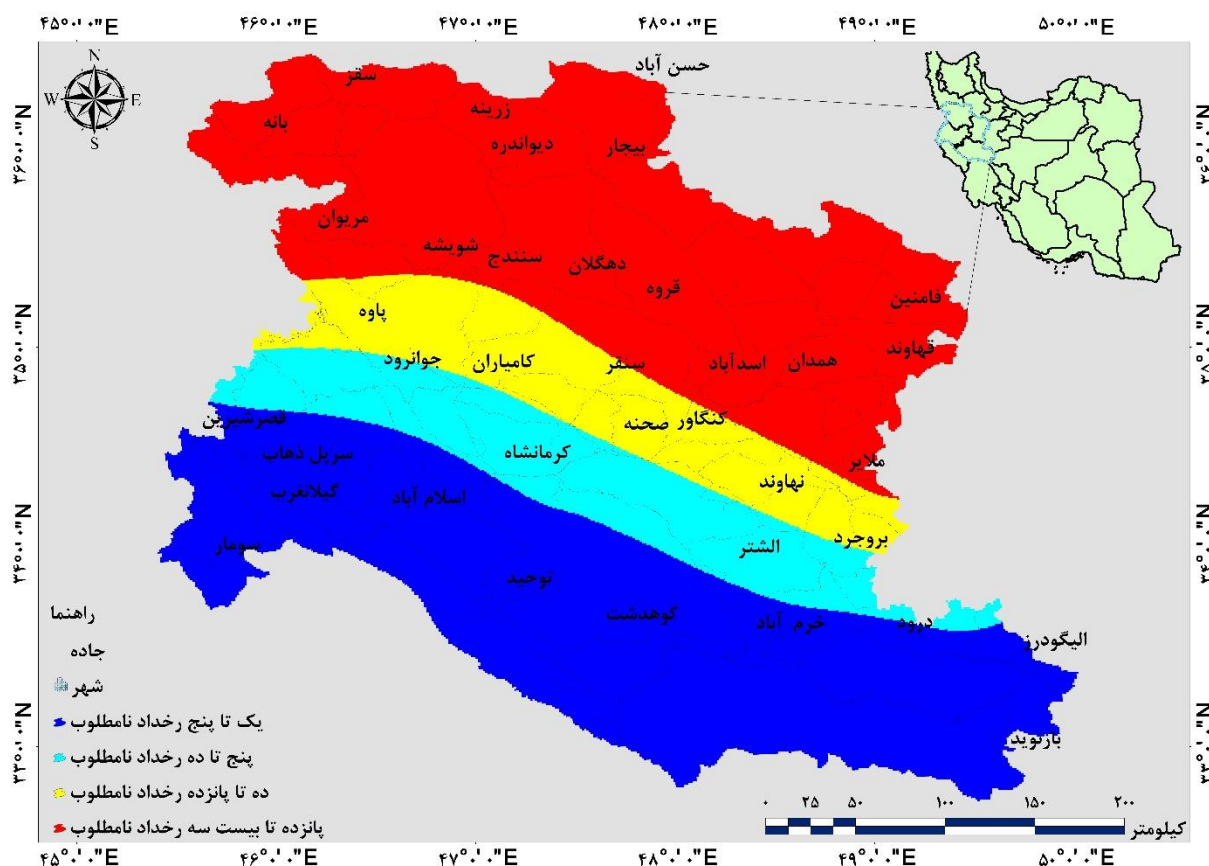
شکل ۶- فراوانی وقوع پدیده های نامطلوب دما حداکثری
Fig. 6- Frequency of extreme maximum temperature events

جهت برنامه ریزی های فضایی محدوده مورد مطالعاتی ناحیه بندی گردید. در ناحیه‌بندی مکان‌های مشابه به روش‌های آماری گروه‌بندی شده به طوری که گروه‌ها متمایز باشند یعنی تشابه درون‌گروهی اعضا بسیار بیشتر از تشابه بین‌گروهی باشد (Alijani, 2019). فراوانی وقوع پدیده های نامطلوب گندم در محدوده مورد مطالعه ناحیه‌بندی بندی شده (شکل ۷) و مساحت هر ناحیه محاسبه شد (جدول ۴).

با توجه به نقشه شش و تفسیر بصری با افزایش طول و عرض جغرافیایی وقوع پدیده‌های نامطلوب دمایی در راستای مولفه های مکانی یعنی طول و عرض جغرافیایی تغییرات فراوان دارد. اما برای بررسی رفتار منطقه‌ای این پدیده به صورت کمی شبکه‌ای یک هکتاری بر روی محدوده مورد مطالعه ایجاد گردید و محاسبات رگرسیونی در راستای مولفه های مکانی یعنی طول و عرض جغرافیایی محاسبه شد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج رگرسیون از شبکه‌بندی بر روی محدوده مطالعاتی
Table 3. Regression results from gridding over the study area

P_Value	معادله رگرسیونی	راستای مؤلفه
۰/۰۶۱	$-24/7+0/0000008 X$	طول جغرافیایی (X)
۰/۰۰۰	$-291+0/0000081 Y$	عرض جغرافیایی (Y)



شکل ۷- ناحیه بندی بلحاظ وقوع فراوانی رخداد‌های نامطلوب دمایی گندم

Fig. 7- Zoning based on the frequency of adverse temperature events affecting wheat

جدول ۴- مساحت نواحی با توجه به تعداد فراوانی وقوع پدیده نامطلوب حداکثری گندم
Table 4. Area of regions based on the frequency of adverse maximum temperature events for wheat

ناحیه	رخداده پدیده کم (۵تا۱)	رخداده پدیده متوسط (۱۰تا۵)	رخداده پدیده زیاد(۱۰تا۱۵)	رخداده پدیده بسیار زیاد(۱۵تا۲۳)
مساحت(هکتار)	۳۷۷۴۹۰۱	۱۳۲۰۹۲۴	۱۲۴۷۸۹۲	۳۸۸۹۲۰۰

تغییرات دمای حداقل بیشتر از دمای حداکثر است یعنی مقدار روندی بیشتری دارد. زرینه با متوسط ۲۴ درصد و همدان ۲۱ درصد تغییرات بیشترین مقدار را دمای حداکثری دارند همچنین سنندج ۴۸ درصد و همدان ۴۱ درصد نیز ایستگاه های همدان بیشترین درصد مقدار تغییرات را خواهند داشت. با توجه به اینکه ایستگاه های قرار گرفته در مناطق تقریباً کوهستانی درصد تغییرات بیشتری را تجربه خواهند کرد می توان بیان نمود بدلیل شرایط متغیر دمایی شب و روز این مناطق تغییر پذیری دماهای حداکثر و حداقل بیشتر است. این نتایج هم راستا با نتایج Hussain and Mudasser در سال ۲۰۰۷ که به طور کلی در پاییز و زمستان میزان تغییر پذیری دمای کمینه افزایش مییابد و در بهار و تابستان تغییر پذیری دمای حداکثری نمو بیشتری از خود نشان خواهد داد. یعنی پاییز و زمستان کوتاه تر خواهند شد. فصلی که گیاه گندم به خواب زمستانی و رسیدن به دمای حداقل را نیاز دارد کمتر و در عوض دی این فصول قرار گیری در معرض دماهای بالاتر بیشتر خواهد شد (Hussain and Mudasser, 2007). تغییرات دما در ابتدای فصل پاییز ممکن است باعث جا به جایی تاریخ کاشت گندم به طرف زمستان شود. با توجه به شکل شش کلیه محدود غرب کشور با پدیده تنش دمایی حداکثر برای گیاه گندم رو به رو خواهند شد کمترین رخدادها مربوط به شهرستان های سومار، قصر شیرین و اسلام آباد غرب و بیشترین فراوانی های مربوط به مریوان و بانه خواهد بود. در مناطقی که بیشتر در معرض خطر هستند باید اقدامات سازگاران در اولویت قرار گیرد. با توجه به مقدار پی ولیو تغییرات و فراوانی پیش آمد نامطلوب دمایی در آینده در

در این تحقیق سری های زمانی داده های حداقل و حداکثر ایستگاه های غرب کشور کنترل کیفی و با الگوسازی رگرسیون خطی بر میزان شیب، عرض از مبدأ و معناداری ضرایب در سطح ۹۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. در ایستگاه های اسلام آباد، خرم آباد، روانسر و سقز شیب حداکثر دما منفی بوده و در ایستگاه های اسلام آباد، الیگودرز، بروجرد، روانسر، زرینه، سقز و سنندج شیب حداقل دما منفی است و بقیه ایستگاه ها همه شیب مثبتی را در دمای حداقل و حداکثر از خود نشان می دهند. ذکر این نکته ضروری است که شیب های منفی محاسبه شده بسیار کوچک است. با توجه به شیب مثبت در معادلات کلیه فرین های حداقلی و حداکثر روند مثبت را نشان دادند که مطابق با مطالعات علیجانی و همکاران در سال ۲۰۱۳ برای تغییر پذیری فرین های دما است که روندهای افزایشی دما در کل کشور بغیر از منطقه زاگرس جنوبی را نشان داده اند (Alijani et al., 2013) همچنین نتایج مطابق با مطالعات رحیم زاده و نساجی زرین در سال ۲۰۱۳ که تغییر پذیری میانگین ماههای حدی در دوره ۱۹۶۰-۲۰۱۰ هم خوانی دارد (Rahimzadeh and Nasaji Zavare 2013). نتایج ایشان نشان داده که روند افزایش میانگین دماهای حداقل و حداکثر ایران به ترتیب ایران ۰/۴-۰/۵ و ۰/۳-۰/۲ درجه در دهه می باشد و روندهای منفی در دماها مطالعات گذشته به خاطر ناهمگنی داده بوده است. پس از شبیه سازی دماهای فرین با استفاده از سناریو اقلیمی RCP8/5 بر اساس نمودار ها و درصد تغییرات دمای حداقل و حداکثری در تمام ایستگاه های محدوده مطالعاتی روند افزایشی خواهد داشت اما میزان افزایش دمای حداقل بیشتر است. درصد

برنامه‌ریزی‌های محیطی از جمله مدیریت بهینه کاشت بکار برد. اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات پیچیده است اما مطالعات جغرافیایی با توجه شاخص‌های اقلیمی و شبیه سازی‌های مکانی عناصر اقلیمی می‌تواند موجب پیش‌آگاهی و اتخاذ راهبردهای سازگاری در بخش‌های مدیریتی کشاورزی شود. در این تحقیق به بررسی فراوانی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از سناریو RCP ۸/۵ و ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل CANESM2 با دخالت دادن متغیرهای ایستگاهی در وقوع پدیده‌های نامطلوب دمایی بر روی گیاه گندم به صورت مکانی غرب کشور پرداخته شد. همین راستا غرب کشور نیز به لحاظ قرارگیری در معرض پدیده نامطلوب دمایی حداکثر ناحیه بندی گردید.

با توجه به نتایج احتمال وقوع رخداد نامطلوب دمایی گندم در کل غرب کشور وجود دارد و فراوانی رخدادها از جنوب به شمال کشور روند افزایشی خواهد داشت. آسیب‌پذیرترین مناطق در عرض‌های بالاتر جغرافیایی یعنی مناطقی که کشت گندم در آنها بیشتر است مانند دهگلان و قروه و اطراف همدان قرار خواهد داشت. غرب کشور به چهار ناحیه مجزا و معنادار بلحاظ قرارگیری در معرض پدیده نامطلوب دمایی حداکثری گندم تقسیم می‌شود. حدود ۳۸ درصد از غرب کشور در معرض شدید قرارگیری رخدادهای نامطلوب قرار خواهند گرفت. گرچه وقوع رخداد بر روی گندم و کاهش عملکرد گندم به خصوصیات رقم بستگی دارد اما الگوی مکانی مستخرج شده در این تحقیق استراتژی‌های سازگاری را در کل محدوده برجسته می‌کند.

با توجه به قابلیت به‌روز شدن پایگاه اطلاعات مکانی مورد استفاده در این پژوهش همچون تغییر سناریو RCP به SSP می‌توان با روش این تحقیق و تغییر داده‌های ورودی تفاوت خروجی سناریوهای مختلف در شبیه‌سازی مکانی دمایی نامطلوب گیاه را بررسی نمود. همچنین با توجه به کاربردی بودن خروجی‌های این تحقیق در برنامه‌ریزی‌های راهبردی در بخش کشاورزی، می‌توان از روش این تحقیق در مورد سایر گیاهان زراعی نیز استفاده کرده و به‌این ترتیب با تداوم

راستای طول جغرافیایی معنا دار نمی‌باشد ولی در راستای عرض جغرافیایی بشدت معنا دار است و با قطعیت می‌توان گفت که با افزایش عرض جغرافیایی احتمال پیش‌آمد تنش‌های دمایی حداکثری برای گندم افزایش خواهد یافت دلیل این امر روند افزایشی بیشتر در دمایی حداقلی است که دماهای حداقلی کمتر در عرض‌های بالاتر رخ می‌دهد و روند افزایشی بیشتر بر این ایستگاه تاثیر گذاشته است. اولویت‌بندی مداخلات سازگاری با تغییرات اقلیمی همچون تغییر رقم کاشت گندم استفاده کنند اما با وجود این، تحقیقات آینده نیاز به استفاده از چندین GCM تحت سناریوهای مختلف آب‌وهوایی دارد تا تغییرات و عدم‌اطمینان‌های شبیه‌سازی آب‌وهوایی آینده در ساختار مدل‌ها نیز مشخص گردد. گرچه مهم‌ترین آسیب‌پذیری گندم از تغییرات آب‌وهوایی مانند دما و بارش است اما عوامل اقتصادی-اجتماعی نیز می‌توانند در عملکرد گندم دخیل باشند برای مثال ممکن است مراکز تحقیقاتی رقم جدید گندم که در برابر دماهای بالا مقاوم است را معرفی کنند اما کشاورزان به دلایل اقتصادی تمایلی به استفاده از آن نداشته باشند. اما اگر تأثیر تغییرات آب‌وهوایی را درک کنند، به احتمال زیاد اقدامات سازگاری را نیز دنبال خواهد کرد. از عمده‌ترین محدودیت‌های انجام این رساله را کم بودن ایستگاه‌های سینوپتیک در محدوده مورد مطالعه و همچنین کم بودن دوره زمانی داده‌های دما در بعضی از ایستگاه ذکر نمود که موجب افزایش خطاهای برآوردی در بعضی موارد شده است. گرچه شرط در نظر گرفته شده برای وقوع نامطلوب دمایی در این تحقیق میانگین دمایی بر روی گندم‌های مناطق مدیرانه‌ای بود اما از محدودیت‌های کمبود این تحقیق نبود تحقیقات جامع و استانداردهای لازم اثرات و آستانه‌های دمایی بر روی گندم‌های بومی داخل کشور بود.

با پیش‌نمایی‌های دمایی و تحلیل فضایی وضعیت عوامل دمایی دخیل در تولید گندم، می‌توان نظام و الگوهای فضایی خطر وقوع پدیده‌های نامطلوب دمایی رشد گندم را جهت

شدیدتر دمایی مواجه خواهند شد. مهم‌ترین پیامدهای این تغییرات شامل جابجایی تاریخ کاشت گندم به فصل زمستان و کاهش دوره‌های خواب زمستانی آن است، که این موضوع می‌تواند بر عملکرد محصول گندم تأثیر منفی بگذارد. در این راستا، مناطق با بیشترین تغییرات دمایی همچون همدان و مریوان، به اقدامات سازگارانه نظیر تغییر رقم‌های مقاوم به گرما نیاز بیشتری خواهند داشت. در نهایت، یافته‌ها بر این نکته تأکید دارند که مداخلات سازگارانه و بررسی دقیق‌تر اثرات تغییر اقلیم بر محصولات زراعی، به‌ویژه گندم، برای کاهش آسیب‌پذیری و افزایش تاب‌آوری کشاورزی ضروری است.

سپاسگزاری

نگارندگان مراتب سپاس و قدردانی صمیمانه خود را از سازمان هواشناسی ایران (IRIMO) به‌دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های مورد استفاده در این پژوهش ابراز می‌دارند.

References

- Abbate, L., Dardanelli, M. G., Cantarero, M., Maturano, M., Melchiori, E., And Suero, E. (2004). Climate and water availability effects on water use efficiency in wheat. *Crop Science*, 2(44), 474-483.
- Abrifam, M.R. (2001). The Synoptic Analysis of Entranced Air Masses to the West of Iran (2004-2005), Supervisor: Gholamreza Barati, Master of Science in Climatology, Razi University of Kermanshah. (In Persian)
- Ahmad, M., And Khan, S. (2023). Heat stress impacts on wheat production in arid regions: A comprehensive analysis. *Agricultural Research*, 12(4), 245-260.
- Alijani, B. (2012). Synoptic climatology. Tehran: Samt Publications. (In Persian)
- Alijani, B. (2019). Quantitative methodology in geography. Side Publications. Tehran. 272. (In Persian)
- Alizadeh, Amin (2014). Climate and agricultural meteorology. Astan Quds Razavi Publications. Mashhad. (In Persian)
- Amirabadizadeh, M., Yaqubzadeh, M., Hashemi, R., And Khuzimehnejad, H. (2018). Evaluation of linear and baseline data models in the exponential scale of

این‌گونه مطالعات امکان تهیه نقشه و انجام پهنه‌بندی‌های نامطلوب‌های آب‌وهوایی برای سایر گیاهان زراعی فراهم شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تحلیل روندهای دمایی حداقل و حداکثر در ایستگاه‌های مختلف غرب کشور نشان داد که به‌طور کلی، دمای حداقل و حداکثر در اغلب ایستگاه‌ها شیب مثبتی دارند، هرچند در برخی مناطق کوهستانی مانند سنندج و همدان شیب دماهای حداقل به‌طور چشمگیری بیشتر از حداکثر است. این افزایش دمای حداقل به‌خصوص در عرض‌های جغرافیایی بالاتر، نظیر دهگلان و قروه، معنادارتر بوده و نشان‌دهنده احتمال وقوع تنش‌های دمایی شدیدتر در این مناطق است. نتایج این مطالعه با سناریوهای اقلیمی آینده، به‌ویژه سناریو RCP8.5، همخوانی دارد و نشان می‌دهد که مناطق مرتفع با تغییرات

منابع

- precipitation and temperature in South Khorasan province. *Meteorology and Atmospheric Sciences*, 2(1), 68-82. (In Persian)
- Anderson, K., And Smith, B. (2022). Spatial analysis of temperature variability in mountainous wheat-growing regions using co-kriging methods. *Spatial Statistics*, 45, 178-195.
- Arora1, N. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*, 2, 95-96.
- Askareh, H., And Akbarzadeh, Y. (2017). Simulation of temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station during the period (2010-2011) using statistical exponential microscale (SDSM) and output of CanESM2 model. *Geography and Environmental Hazards*, 21, 153-174. (In Persian)
- Asseng, S., Foster, I. A. N., & Turner, N. C. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Global change biology*, 17(2), 997-1012.
- Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., ... & Zhu, Y. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature climate change*, 5(2), 143-147.

- Assuncao, R.M., Neves, M.C., Camara, G., And Da Costa Freitas, C. (2006). Efficient Regionalization Techniques for Socio-economic Geographical Units Using Minimum Spanning Trees. *International Journal of Geographical Information Science*, 20, 1-7.
- Charron, I. (2014). *A Guidebook on Climate Scenarios: Using Climate Information to Guide Adaptation Research and Decisions*.
- FAO: <http://www.fao.org/>
- Ganji, M. H. (2003). Climatic faults of Iran. *Bulletin of the National Center for Climatology*, 3(1), 41. (In Persian)
- Giannakopoulos, C., Le Sager, P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E., And Goodess, C. (2009). Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from global warming. *Global Planet Change*, 68, 209-224.
- Gourdji, S. M., Sibley, A. M., And Lobell, D. B. (2013). Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: Historical trends and future projections. *Environmental Res*, 8, 24-41.
- Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y, And Melville, B.W. (2011). Comparison of SDSM And LARSWG for simulation And downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research And Risk Assessment*, 25(4), 475-484.
- Hessami, M., Gachon, P., Ouarda, T.B, And St-Hilaire, A. (2008). Automated regression-based statistical downscaling tool. *Environmental Modelling And Software*, 23(6), 813-34.
- Hong, Q., Xiang-xiang, L., Hui, J., And Qin, L. (2019). The impacts of climate change on Hai Plain of China using DSSAT-CERES-Wheat model under different climate scenarios. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(6), 1379-1391.
- Hussain, S., And Mudasser, M. (2007). Prospects for wheat production under changing climate in mountain areas of Pakistan – An econometric analysis. *Agricultural Systems*, 94, 494-501.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*.
- Kamali, B., Abbaspour, K.C., Wehrli, B., And Yang, H. (2018). Drought vulnerability assessment of maize in Sub-Saharan Africa: insights from physical And social perspectives. *Global Planet Change*, 162, 266-274.
- Kerr, A., DialesAndro, J., Steenwerth, K., Lopez-Brody, N., And Elias, E. (2018). Vulnerability of California specialty crops to projected mid-century temperature changes. *Climate Change*, 148, 419-436.
- Lee, J. A., Gill, T. E., Mulligan, K. R., Dominguez Acosta, M., And Perez, A. E. (2009). Land use/land cover And point sources of the 15 December 2003 dust storm in southwestern North America. *Geomorphology*, 105(1-2), 18-27.
- Li, Y., Huang, H., Ju, H., Lin, E., Xiong, W., Han, X., Wang, H., Peng, Z., Wang, Y., And Xu, J. (2015). Assessing vulnerability And adaptive capacity to potential drought for winterwheat Under the RCP 8.5 scenario in the Huang-Huai-Hai Plain. *Agriculture Ecosystem*, 209, 125-131.
- Mojarad, F., And Masoompour, Jafar. (2013). Estimation of maximum probable precipitation by synoptic method in Kermanshah province. *Geographical studies of arid regions*, 13, 1-14. (In Persian)
- Pakrooh, P., And Kamal, M. A. (2023). Modeling the potential impacts of climate change on wheat yield in Iran: Evidence from national and provincial data analysis. *Ecological Modelling*, 486, 110513. (In Persian)
- Rahman, M., Ali, K., And Hassan, M. (2023). Future climate scenarios and their implications for wheat production in Western Asia. *Climate Research*, 84, 123-142.
- Rahimzadeh F., And Nasaji Zavare M. (2013). Trends and variability of temperature during 1961-2010 over Iran, after adjustment of non-climatic inhomogeneities. *Geographic research*, 29(4), 181-196. (In Persian)
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., And Rafaj, P. (2011). RCP 8.5—a scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Journal Climatic change*, 109(1), 33-57.
- Rivas, A.I., Conde-Álvarez, A.C., Pérez-Damian, J.L., López-Blanco, J., Gaytan-Dimas, M., And Gómez-Díaz, J.D. (2018). Multi-temporal assessment of vulnerability to climate change: insights from the agricultural sector in Mexico. *Climate Change*, 147, 457-473.
- Shokohi, M., Sanaeinejad, H., And Banayan, M. (2019). The effect of climate change on major dryland wheat production areas in Iran. *Iranian Soil And Water Research*, 6(50), 1293-1305. (In Persian)
- Skendžić, S., Zovko, M., Lešić, V., Pajač Živković, I., & Lemić, D. (2023). Detection and evaluation of environmental stress in winter wheat using remote and proximal sensing methods and vegetation indices—A review. *Diversity*, 15(4), 481.
- Talukder, A. S. M. H. M., McDonald, G. K., & Gill, G. S. (2014). Effect of short-term heat stress prior to flowering and early grain set on the grain yield of wheat. *Field Crops Research*, 160, 54-63.
- Trnka, M., Reimund, P. Rötter, F., Ruiz-Ramos, M.,

Kersebaum, K., Jørgen, E., Zdenek, Z., And Mikhail, A. (2014). Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature climate change*, 4, 637-643.

Usman, U., Yelwa, S. A., Gulumbe, S. U., & Danbaba, A. (2013). An assessment of the changing climate in Northern Nigeria using Cokriging. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 1(5), 90-98.

Wang, J., Huang, J., And Yan, T. (2013). Impacts of Climate Change on Water and Agricultural Production in Ten Large River Basins in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(7), 1267-1278.

Wanga, B., Fenga, P., Liua, D., And Cathy, W. (2020). Modelling biophysical vulnerability of wheat to future climate change. *Ecological Indicators*, 114, 106290.

Warnatzsch, E. A., And Reay, D. S. (2019). Temperature And precipitation change in Malawi: Evaluation of CORDEX-Africa climate simulations

for climate change impact assessments And adaptation planning. *Science of the Total Environment*, 654, 378-392.

Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Berry, H., Bouley, T., Boykoff, M., Byass, P., Cai, W., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J., Daly, M., Dasandi, N., Davies, M., Depoux, A., And Costello, A. (2018). The 2018 report of the Lancet Countdown on health And climate change: shaping the health of nations for centuries to come. *Lancet*, 8, 392(10163), 2479-2514.

Wilson, P., Johnson, M., And Davis, R. (2024). Drought impacts on rainfed wheat systems: A global perspective. *Agricultural Water Management*, 275, 107-124.



*This page is intentionally
left blank.*