

The impact of climate change on planning military activities on Iran's western borders

Ayob Jafari¹ , Shahrokh Rezaei², Behrooz BahramAbadi³

1. (Corresponding Author) Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: a.jafari71@ut.ac.ir

2. Department of Crisis Management, Faculty of Social Sciences, University of Dafoos, Tehran, Iran

Email: shrezaei@ut.ac.ir

3. Department of Geography, Faculty of Basic Sciences, Imam Ali University, Tehran, Iran

Email: bahramabadi.b@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article History:

Received:

26 April 2024

Received in revised form:

1 July 2025

Accepted:

9 August 2025

Available online:

14 September 2025

Keywords:

Comfort climate,
Defense strategies,
Climate change,
Planetary models.

ABSTRACT

Climate change, recognized as one of the most significant threats of the 21st century, profoundly impacts not only the environment and global economy but also the security and military operations of nations. Consequently, alterations in weather patterns, coupled with their unpredictability, pose a serious threat to military infrastructure. This study aims to investigate the variations in climate parameters affecting the normalized Military Climate Index (MCI) across the provinces of West Azerbaijan, Ilam, Kurdistan, Kermanshah, and Khuzestan. To achieve this, the necessary climate parameters were initially sourced from the Meteorological Organization. Subsequently, after selecting the most suitable Global Climate Model (GCM), the climate parameters for each station were downscaled using the LARS-WG model through to the year 2100. The results revealed that at all the stations examined, the MCI index decreased from late spring to the end of summer, indicating challenging conditions for military operations. Conversely, Ahvaz in late autumn and early winter, Ilam in autumn and early spring, Kermanshah and Sanandaj in early autumn and spring, and Urmia in spring, all exhibited favorable conditions due to the elevated MCI index. Ultimately, it is recommended that any military planning, including training, education, maneuvers, and strategy design, be informed by an understanding of climate change conditions and climate comfort indices, necessitating the implementation of specific measures. Thus, reviewing and adapting defense strategies to the climate change conditions of each region is crucial.

Cite this article: Jafari, A., & Rezaei, Sh. (2025). The impact of climate change on planning military activities on Iran's western borders. *Physical Geography Research Quarterly*, 57 (2), 19-37.

<https://doi.org/10.22059/JPHGR.2025.385876.1007854>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Climate change has emerged as one of the most pressing global challenges, particularly in the environmental, political, and economic domains, due to its far-reaching impacts on various facets of human life. These changes have precipitated global warming and an increase in extreme weather events, which have had profound consequences for global security, food security, poverty, and conflict. In recent years, climate models have been utilized to predict and analyze changes in climate variables over the coming decades. Specifically, by providing projections of shifts in key climate parameters, such as temperature and precipitation, under different greenhouse gas emission scenarios, these models enable policymakers and researchers to devise plans for a range of potential future conditions. Such forecasts also inform the development of strategies aimed at mitigating negative impacts and capitalizing on potential opportunities. One established method for predicting climate change involves the use of IPCC emission scenarios and Global Climate Models (GCMs). A review of existing literature reveals that climate change can affect both the operational capabilities and military security of nations, both directly and indirectly. These effects include diminished performance of military equipment under extreme heat, rising defense expenditures required for adaptation to new climate realities, and shifts in military strategies to counter emerging climate-related threats. Consequently, it is crucial for Iranian policymakers and defense planners to better comprehend the implications of climate change in order to devise strategies that enhance the country's defense capabilities in the face of these evolving risks.

The overarching aim of this study is to examine the significance of climate change on military operations, with a particular emphasis on its effects on strategic and border regions. The research seeks to assess the potential consequences of climate change on military operational conditions and the efficiency of armed forces by analyzing climate data and employing

predictive models. Ultimately, through a more nuanced understanding of regional dynamics and climate impacts, the study aims to facilitate more effective planning and the formulation of adaptive strategies. This approach will enable military forces to bolster their resilience against climate-induced challenges by implementing optimal solutions, thereby ensuring the success of military operations under fluctuating climate conditions.

Methodology

This study covers five western provinces of Iran, namely West Azerbaijan, Ilam, Kurdistan, Kermanshah, and Khuzestan. Climate data, including minimum and maximum temperatures, precipitation, and sunshine hours, were collected from five synoptic stations in Ahvaz, Ilam, Kermanshah, Urmia, and Sanandaj, spanning the period from 1985 to 2014. The data were subsequently assessed for normality and completeness, with outliers, errors, and missing values being removed. To analyze uniform trends in the meteorological time series data, the nonparametric Mann-Kendall test was applied. Additionally, the trend slope (Q) for the variables of interest was determined using the nonparametric Sen's Slope Estimator method.

Results and Discussion

The findings indicate that the proposed Military Climate Index (MCI) effectively predicts the impact of climate change on military operations. The analysis, which utilized the Mann-Kendall test and Sen's Slope Estimator, revealed significant trends in temperature (both minimum and maximum) and precipitation across most months of the year. These trends include a consistent rise in both minimum and maximum temperatures and a reduction in precipitation in the studied regions. Furthermore, the MCI results for the Ahvaz station show that extreme summer temperatures result in a decline in the MCI index, reflecting more challenging conditions for military operations in this area. Conversely, late autumn and early winter are characterized by significantly

more favorable conditions for military activities in this region.

Conclusion

This study underscores the significant impact of climate change on military operations, particularly in strategically critical regions. The findings highlight the need for military planners and policymakers to integrate climate forecasts into defense strategies, particularly regarding temperature fluctuations and changing precipitation patterns. The proposed Military Climate Index (MCI) has proven effective in predicting the challenges posed by climate change, helping to identify regions and periods where military operations could face increased difficulty. By using climate models and analyzing long-term meteorological data, this research emphasizes the importance of adaptive strategies to enhance the resilience of military forces. In regions like Ahvaz, where extreme summer heat exacerbates operational challenges, timely adaptation measures are crucial. Ultimately, this study calls for a comprehensive approach that not only prepares military forces for climate-induced disruptions but also capitalizes on the strategic opportunities that might arise from changing climatic conditions.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

تأثیر تغییر اقلیم در برنامه‌ریزی فعالیت‌های نظامی در مرزهای غربی ایران

ایوب جعفری^۱ ✉، شاهرخ رضایی^۲، بهروز بهرام‌آبادی^۳۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: a.jafari71@ut.ac.ir۲- گروه مدیریت بحران، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه دافوس، تهران، ایران. رایانامه: shrezaei@ut.ac.ir۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه امام علی (ع)، تهران، ایران. رایانامه: bahramabadi.b@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۲/۰۶

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۵/۱۸

تاریخ چاپ:

۱۴۰۴/۰۶/۲۳

واژگان کلیدی:

اقلیم آسایش،
استراتژی‌های دفاعی،
تغییر اقلیم، مدل‌های
سیارمادی.

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین تهدیدات قرن بیست و یکم، نه‌تنها بر محیط‌زیست و اقتصاد جهانی، بلکه بر امنیت و فعالیت‌های نظامی کشورها نیز تأثیرات عمیقی می‌گذارد؛ لذا تغییرات الگوهای آب و هوایی و غیرقابل‌پیش‌بینی بودن آن می‌تواند تهدید جدی برای زیرساخت‌های نظامی محسوب گردد. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی بر شاخص اقلیم نظامی (MCI) نرمال شده در استان‌های آذربایجان غربی، ایلام، کردستان، کرمانشاه و خوزستان است. بدین منظور، ابتدا پارامترهای اقلیمی موردنیاز از سازمان هواشناسی اخذ گردد. سپس پس از مشخص نمودن بهترین مدل اقلیم جهانی (GCM)، پارامترهای اقلیمی هر ایستگاه با کمک مدل LARS-WG تا سال ۲۱۰۰ میلادی ریزمقیاس-نمایی شدند. نتایج نشان داد در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه از اواخر فصل بهار تا پایان فصل تابستان، شاخص MCI کاهش یافته که نشان‌دهنده شرایط سخت برای انجام فعالیت‌های نظامی است. در مقابل در اهواز اواخر پاییز و اوایل زمستان، ایلام در پاییز و اوایل بهار، کرمانشاه و سنجندج در اوایل پاییز و بهار و ارومیه بهار به دلیل بالا بودن شاخص MCI از شرایط بسیار مطلوبی برخوردار بوده‌اند. در پایان، پیشنهاد می‌گردد هرگونه برنامه‌ریزی برای فعالیت‌های نظامی اعم از تمرین، آموزش، مانور و طراحی مبتنی بر شناخت شرایط تغییر اقلیم و شاخص‌های اقلیم آسایش باشد که در این صورت لازم است تدابیر ویژه‌ای اتخاذ گردد. بنابراین، هرگونه بازنگری و مطابقت راهبردهای دفاعی با شرایط تغییر اقلیم در هر منطقه ضروری است.

استناد: جعفری، ایوب و رضایی، شاهرخ. (۱۴۰۴). تأثیر تغییر اقلیم در برنامه‌ریزی فعالیت‌های نظامی در مرزهای غربی ایران. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۷ (۲)، ۳۷-۱۹.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2025.385876.1007854>

مقدمه

اقلیم‌شناسی نظامی^۱ یکی از شاخه‌های جغرافیای نظامی^۲ است که اثرات آب‌وهوا را بر امور نظامی در سطوح مختلف عملیاتی، موردبررسی قرار می‌دهد. مطالعات اقلیم‌شناسی برای فعالیت‌های نظامی به دو صورت کوتاه‌مدت و بلندمدت انجام می‌شوند (دالایی و همکاران، ۱۳۹۵). در مطالعات بلندمدت، برای مثال احداث فرودگاه، پادگان یا تجهیز دفاعی، شرایط اقلیمی منطقه یعنی تیپ هوایی غالب به‌منظور استفاده‌های نظامی و استراتژیکی طولانی‌مدت بررسی می‌شوند؛ اما در مطالعات کوتاه‌مدت، اوضاع جوی در زمان‌های کوتاه مانند زمان حمله با استفاده از نقشه‌های هوایی حاضر پیش‌بینی می‌شود. امروزه پیش‌بینی شرایط هواشناسی در دوره‌های کوتاه‌مدت برای انجام یک عملیات نظامی امکان‌پذیر است اما در برنامه‌ریزی‌های طولانی‌مدت، نخست باید شرایط جوی در تغییرات فصلی در روند انجام عملیات موردتوجه قرار گیرد. هنگامی که تأثیر شرایط محیطی روی عملیات نظامی موردبررسی قرار می‌گیرد اثر متقابل زمین و آب‌وهوا باید موردتوجه باشد. به علت تأثیراتی که زمین و آب‌وهوا روی همدیگر دارند در برنامه‌ریزی عملیات زمینی و هوایی باید در کنار هم مورد مطالعه قرار گیرند (Baldwin et al., 2018).

از دیدگاه رهنامه نظامی سه عنصر جو، زمین و دشمن از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در عملیات نظامی هستند و قبل از عملیات باید به‌خوبی شناخته شوند. جو و زمین از عواملی هستند که در حوزه جغرافیای نظامی مورد مطالعه قرار می‌گیرند. شناخت آب‌وهوای منطقه عملیات از ضرورت‌های هر عملیات نظامی است (حنفی و خوشحال دستجردی، ۱۳۹۳). مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده پیروزی و شکست نیروهای نظامی در یک صحنه نبرد واقعی را می‌بایست در شناخت کامل اقلیم و تأثیر آن بر جابه‌جایی نیروها، پرواز جنگنده‌ها، حمل‌ونقل تجهیزات سنگین، عملکرد سلاح‌ها توسط کارشناسان نیروهای مسلح دو طرف جنگ دانست. راهبردهای ملی، تاکتیک‌ها، دکترین فرماندهی کنترل و ساختار سازمانی، ترکیب بهینه، انتخاب نوع نیروهای زمینی-دریایی، تجهیزات نظامی و فضایی، جمع-آوری اطلاعات نظامی و البسه، آماد، تعمیر و نگهداری، ساخت و پشتیبانی تحت تأثیر مؤلفه‌های اقلیمی قرار می‌گیرد (باعقیده و سروستان، ۱۳۹۸). مسئله و معضل تغییر اقلیم تبعات و پیامدهای نظامی و امنیتی گسترده‌ای را به همراه دارد. اهم تبعات آن به شرح زیر است (بیات و همکاران، ۱۴۰۰):

- ❖ تهدید امنیت مرزهای سیاسی به علت گسترش دامنه مهاجرت‌های اقلیمی از پیرامون به مرکز؛
- ❖ تهدید امنیت اجتماعی به علت افزایش دامنه بیکاری و فقر و گسترش سکونتگاه‌های غیررسمی و ازدیاد حاشیه نشینی در مناطق شهری و کلان‌شهری؛
- ❖ افزایش دامنه تنش‌ها و درگیری‌های داخلی و بین‌المللی به علت بروز اختلافات در تبیین الگوهای بهره‌برداری از حوزه‌های آبی مشترک؛
- ❖ تحمیل هزینه‌های سنگین اقتصادی به دولت‌ها به علت تخریب زیرساخت‌های نظامی-امنیتی در سطح نیروهای مسلح؛

تغییر اقلیم به دلیل اثرات قابل‌توجه آن در همه ابعاد زندگی بشری، به یکی از دغدغه‌های اصلی در جهان امروز به‌خصوص در زمینه‌های محیطی، سیاسی و اقتصادی تبدیل شده است. این تغییرات در شرایط فعلی منجر به گرمایش جهانی و افزایش رویدادهای آب‌وهوایی شدید شده که به‌مرور تأثیرات گسترده‌ای بر امنیت جهانی، گرسنگی، فقر و جنگ گذاشته است. (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷؛ شیراوند و هاشمی، ۱۳۹۵). در این خصوص لازم است برنامه‌ریزی جامع جهت

1. Military climatology

2. Military geography

مقابله و کنترل پیامدهای تغییر اقلیم در همه ابعاد محیطی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و... صورت گیرد. در سال‌های اخیر، به‌منظور پیش‌بینی و بررسی وضعیت تغییرات پارامترهای اقلیمی در آینده از سناریوهای اقلیمی استفاده می‌گردد. این سناریو در حقیقت با ارائه تخمین‌هایی از چگونگی تغییرات پارامترهای اقلیمی به‌خصوص دما و بارش تحت شرایط مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای، به تصمیم‌گیران و محققان امکان می‌دهند تا برای شرایط مختلف آینده برنامه‌ریزی کنند و راهبردهای مناسبی برای کاهش اثرات منفی و بهره‌برداری مناسب از فرصت‌های احتمالی می‌دهد. در این خصوص، یکی از راه‌هایی که می‌توان به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی پرداخت، استفاده از سناریوهای انتشار^۱ IPCC و مدل‌های اقلیم جهانی (GCM^۲) است. در آخرین گزارش IPCC (گزارش ششم)، جدیدترین ارزیابی‌های مربوط به وضعیت اقلیم جهانی و آینده آورده شده است که این گزارش بر اساس داده‌ها و مدل‌های جدیدتر نسبت به گزارش‌های قبلی تهیه‌شده و شامل ارزیابی‌های گسترده‌تری از روندهای اقلیمی، تأثیرات تغییر اقلیم و سناریوهای مختلف برای آینده است (IPCC, 2021). در این میان، سناریوهای مسیرهای اجتماعی-اقتصادی مشترک (SSP^۳) مجموعه‌ای از سناریوهای توسعه‌یافته برای درک بهتر چگونگی تأثیرات اجتماعی-اقتصادی بر تغییرات اقلیمی و پاسخ‌های مرتبط به آن هستند. این سناریوها توسط جامعه علمی برای حمایت از تحقیقات در زمینه تغییرات اقلیمی و ارزیابی ریسک‌ها و فرصت‌های مرتبط با تغییرات اجتماعی-اقتصادی و اقلیمی در آینده طراحی شده‌اند. سناریوهای SSP به‌طور گسترده‌ای در مدل‌های اقلیمی، به‌ویژه مدل‌های اقلیم جهانی (GCM) برای پیش‌بینی و تحلیل اثرات مختلف تغییرات اقلیمی تحت شرایط اجتماعی-اقتصادی متفاوت استفاده می‌شوند.

درمجموع، بر اساس تجربیات مشخص‌شده است که تغییرات اقلیمی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر قابلیت‌های عملیاتی و امنیت نظامی کشورها، هم به‌صورت مستقیم و هم غیرمستقیم، اثرگذار باشد. این اثرات ممکن است شامل کاهش عملکرد تجهیزات نظامی در شرایط اقلیمی متفاوت (گرما و سرما)، افزایش هزینه‌های دفاعی به علت نیاز به سازگاری با شرایط اقلیمی جدید و حتی نیاز به اصلاح استراتژی‌های نظامی برای مقابله با تهدیدات ناشی از تغییرات اقلیمی باشد.

در خصوص اثرات شرایط تغییر اقلیم بر فعالیت‌های نظامی، مطالعات متعددی انجام‌گرفته است که در این خصوص گالووی^۴ (۲۰۰۴) در پژوهش خود به تأثیر شرایط جوی نامساعد بر عملیات‌ها پرداخت و تأکید نمود که این شرایط می‌تواند به شکست عملیات‌ها و کاهش کارایی نظامی منجر شود. بالدوین^۵ و همکاران (۲۰۱۸) به این نتیجه رسیدند که در شرایط تغییر اقلیم، هر گونه افزایش دما و تغییرات در الگوهای بارش تأثیرات جدی بر عملیات نظامی، به‌ویژه در مناطق بحرانی خواهد داشت. اکشتاین^۶ و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود اشاره نمودند که آسیب‌پذیری زیرساخت‌های نظامی در مناطق ساحلی در برابر شرایط تغییر اقلیم با افزایش سطح دریاها و وقوع طوفان‌های شدید نیازمند به تقویت و تطبیق دارند؛ بنابراین، تدوین راهبردهای تطبیق‌پذیری برای ارتقا مقاومت این زیرساخت‌ها ضروری است.

در ادامه به نمونه پژوهش‌های کار شده داخلی اشاره می‌گردد که برای نمونه کارآموز و عراقی‌نژاد (۱۳۸۹) به بررسی سناریوهای مختلف تغییر اقلیم و تأثیرات آن بر مناطق مختلف ایران پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داده که تغییرات اقلیمی موجب تغییرات عمده‌ای در توزیع دما و بارش در ایران منجر شده که نیاز است هرگونه برنامه‌ریزی دفاعی و امنیتی کشور بر اساس تغییرات عمده اقلیمی باشد. مطالعه حنفی و خوشحال دستجردی (۱۳۹۳) به‌طور خاص تأثیرات

1. Intergovernmental Panel on Climate Change

2. General Circulation Models

3. Shared Socioeconomic Pathways

4. Galloway

5. Baldwin

6. Eckstein

تغییرات اقلیمی بر عملیات نظامی در مناطق مرزی ایران را بررسی کرده و نشان داده است که تغییرات در الگوهای آب‌وهوایی می‌تواند بر جابجایی نیروها، استفاده از تجهیزات نظامی و حتی استقرار پایگاه‌های نظامی تأثیرگذار باشد. رضایان قیه باشی و همکاران (۱۳۹۶) آینده‌پژوهی تهدیدهای نظامی - امنیتی ناشی از تغییر اقلیم در ایران با روش به‌کارگیری روش چرخ آینده و تلفیق این روش با پنل‌های خبرگی و جلسات ذهن‌انگیزی مطالعه نمودند که نتایج حاکی از آن است که مهم‌ترین این پیامدها: امنیت مرزی، امنیت اجتماعی، آشوب داخلی، درگیری خارجی و تحمیل هزینه‌های سنگین اقتصادی به نیروهای نظامی است. کاویانی راد و همکاران (۱۳۹۹) اثرات تغییرات آب و هوایی بر امنیت مرزی روستاهای ثلاث باباجانی مطالعه کردند نتایج تحقیق نشان داد که اثرات تغییرات اقلیم ابتدا بر امنیت غذایی و در نتیجه امنیت در روستاهای مرزی ثلاث باباجانی اثرگذار بوده است به‌طوری‌که اکثر جمعیت منطقه مورد مطالعه نگران تغییرات آب و هوایی مانند سیل و خشک‌سالی بودند. بیات و همکاران (۱۴۰۰) نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیده‌اند که تغییرات اقلیمی می‌تواند به افزایش رقابت بر سر منابع طبیعی، افزایش تنش‌های اجتماعی و حتی تشدید نزاع‌های مرزی منجر شود. سلطانی و همکاران (۱۴۰۱) به شناسایی مهم‌ترین تغییرات اقلیمی مؤثر بر امنیت ملی ایران پرداخته‌اند؛ برابر یافته‌های تحقیق چهار عامل افزایش دما، کاهش بارندگی، خشک‌سالی و خشک شدن منابع آبی که دارای قدرت نفوذ بالا و وابستگی پایینی بودند به‌عنوان عوامل کلیدی تأثیرگذار بر امنیت کشور ایران شناسایی شدند. نتایج مطالعه امینی و رضایی (۱۴۰۱) با استفاده از سناریوهای مختلف اقلیمی و شاخص بیوکلیمایی میسنارد برای استان اصفهان مشخص کردند که در شرایط تغییر اقلیم، مناطق مرتفع در فصل تابستان و مناطق کم ارتفاع در فصل بهار برای انجام عملیات نظامی بهینه مناسب است.

مرور مطالعات گذشته نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر توان عملیاتی و امنیت نظامی کشورها تأثیر بگذارد. این تأثیرات شامل کاهش کارایی تجهیزات نظامی در دماهای بالا، افزایش هزینه‌های دفاعی به دلیل نیاز به تطبیق با شرایط جدید و تغییر در استراتژی‌های نظامی به‌منظور مقابله با تهدیدات ناشی از تغییرات اقلیمی است. در نتیجه، لازم است که سیاست‌گذاران و طراحان دفاعی ایران با درک بهتر از تأثیرات تغییرات اقلیمی، اقدامات لازم را برای بهبود توان دفاعی کشور در مواجهه با این تهدیدات انجام دهند. همچنین بررسی پیشینه تحقیق نشان داد که تاکنون در این زمینه در مطالعات داخلی برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر فعالیت‌های نظامی از گزارش ششم IPCC استفاده نشده است. از طرفی شاخص اقلیم نظامی بومی که حاصل نتایج پژوهشگران داخلی باشد وجود ندارد.

درمجموع هدف این مطالعه، بررسی اهمیت نقش تغییر اقلیم در فعالیت‌های نظامی با تمرکز ویژه بر تأثیرات این تغییرات بر مناطق استراتژیک و مرزی است. این تحقیق تلاش می‌کند تا با تحلیل داده‌های اقلیمی و استفاده از مدل‌های پیش‌یابی، اثرات احتمالی تغییرات اقلیمی بر شرایط عملیاتی و کارایی نیروهای نظامی را شناسایی کند. تا در نهایت بتوان با شناخت دقیق‌تر منطقه و اثرات تغییر اقلیم، امکان برنامه‌ریزی بهتر و اتخاذ راهبردهای تطبیقی مؤثر فراهم شود. این امر به نیروهای نظامی کمک می‌کند تا با آماده‌سازی مناسب و به‌کارگیری راهکارهای بهینه در برابر چالش‌های اقلیمی مقاومت بیشتری نشان دهند و عملیات خود را در شرایط متغیر اقلیمی با موفقیت به انجام برسانند.

روش پژوهش

در این تحقیق، ابتدا داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی پنج ایستگاه سینوپتیک اهواز، ایلام، کرمانشاه، ارومیه و سنج در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۴ از سازمان هواشناسی اخذ گردید (جدول ۱). سپس داده‌ها از نظر نرمال بودن و کامل بودن دوره آماری جهت حذف داده‌های پرت، اشتباه و مفقود بررسی شد. در ادامه، برای تحلیل

روندهای یکنواخت در داده‌های سری زمانی آب‌وهوایی از آزمون ناپارامتریک من-کندال^۱ استفاده می‌شود. (Man, 1945, Kendall, 1970). همچنین میزان شیب روند (Q) متغیرهای موردبررسی، با استفاده از روش ناپارامتریک تخمین گر Sen's Slope محاسبه شد.

جدول ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده

ایستگاه سینوپتیک	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	میانگین دما	میانگین بارش
اهواز	۴۰/۴۸	۳۰/۳۱	۵/۲۲	۲۶/۲۵	۲۲۵
ایلام	۲۶/۴۶	۳۸/۳۳	۱۳۳۷	۴/۱۷	۵۶۰
کرمانشاه	۹۰/۴۷	۳۱/۳۴	۶/۱۳۱۸	۲/۱۵	۴۸۰
ارومیه	۵۰/۴۵	۳۲/۳۷	۹/۱۳۱۵	۶/۱۲	۳۶۵

انتخاب مناسب‌ترین مدل گردش عمومی (GCM)

مدل‌های GCM با تفکیک‌پذیری جوی مختلف و روش‌های محاسباتی متفاوت، دقت‌های متنوعی در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی ارائه می‌دهند؛ بنابراین، ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین مدل GCM برای کاهش عدم قطعیت ضروری است. در این پژوهش، ابتدا از برونداد چهار مدل اقلیمی CMIP6 شامل ACCESS، GFDL، MPI و MRI از پایگاه داده ESGF اطلاعات داده‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر با استفاده از ArcGis10.8 برای مناطق مورد مطالعه استخراج می‌شود (جدول ۲). سپس به منظور صحت‌سنجی مدل‌های انتخاب‌شده CMIP6، از آزمون‌های آماری ضریب همبستگی پیرسون (r)، ضریب تعیین (R^2)، ریشه مربعات خطا (RMSE) و نرمال شده ریشه مربعات خطا (NRMSE) استفاده می‌شود.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (x_t - y_t)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\max - \min} \quad \text{رابطه ۴}$$

در روابط بالا، x_i مقادیر متغیر مشاهداتی یا پیش‌بینی شونده ایستگاهی، $\bar{x}$ میانگین مقادیر متغیر مشاهداتی یا پیش‌بینی شونده ایستگاهی، y_i مقادیر تاریخی متغیر در مدل GCM، $\bar{y}$ میانگین مقادیر تاریخی متغیر در مدل GCM و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

سناریوهای انتشار

در این پژوهش از سه سناریو خوش‌بینانه، حد متوسط و بدبینانه به ترتیب SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 استفاده شد که از وبسایت پروژه مقایسه مدل جفت شده گزارش ششم IPC دریافت گردید که در جدول ۲ ویژگی‌های آن‌ها به اختصار بیان شده است (<https://aims2.llnl.gov/search/cmip6>).

۱. جهت مطالعه بیشتر به منبع اشاره‌شده در متن مراجعه شود

جدول ۲. لیست مدل‌های CMIP6 مورد استفاده (Lee et al, 2023)

مدل	نام کامل	دقت مکانی	مرکز توسعه‌دهنده
ACCESS-ESM1-5	Australian Community Climate and Earth-System Simulator Earth-System Model Version 1.5	$1/875^{\circ} \times 1/25^{\circ}$	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization/Bureau
GFDL-ESM4	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Earth System Model Version 4	$1^{\circ} \times 1^{\circ}$	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
MPI-ESM1-2-LR	Max Planck Institute for Meteorology Earth System Model Version 1.2 Low Resolution	$1/875^{\circ} \times 1/875^{\circ}$	Max Planck Institute for Meteorology
MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute Earth System Model version 2	$1/120^{\circ} \times 1/120^{\circ}$	Meteorological Research Institute

ریز مقیاس نمایی

مدل‌های گردش عمومی جو به‌تنهایی برای پیش‌بینی‌های مقیاس‌های محلی کافی نیستند و نیاز به ریزمقیاس نمایی دارند تا بهبود یابند. ریزمقیاس نمایی شامل روش‌های دینامیکی و آماری است. در این میان، ریزمقیاس نمایی آماری شامل استفاده از مدل‌های آماری مانند رگرسیون و شبکه‌های عصبی است که رابطه‌ای آماری بین داده‌های بزرگ‌مقیاس و داده‌های مشاهداتی برقرار می‌کند. در این تحقیق، برای پیش‌بینی ویژگی‌های هواشناسی در غرب ایران، از مدل آماری LARS-WG استفاده شده است (Mitryasova et al. 2021). در ادامه، به‌منظور ارزیابی دقت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی از آزمون‌های آماری مانند ضریب همبستگی پیرسون، ضریب تعیین و خطای RMSE نیز در این تحقیق استفاده شده است.

شاخص اقلیم نظامی^۱ (MCI)

شاخص اقلیم نظامی (MCI) به‌عنوان یک ابزار تحلیلی طراحی شده است تا شرایط اقلیمی مختلف را ارزیابی و تأثیر آن‌ها بر عملیات نظامی مقایسه کند. این شاخص بر اساس سه عامل اصلی اقلیمی، یعنی دما (حداقل و حداکثر) و بارش، تنظیم می‌شود. در این شاخص سعی می‌گردد با توجه به پیچیدگی‌ها و چالش‌های پیش‌رو در شرایط تغییر اقلیم، شرایط مطلوب برای هر گونه فعالیت نظامی ارزیابی شود. در ادامه، برای طراحی شاخص اقلیم نظامی و ارزیابی شرایط مطلوب نظامی از سیستم امتیازدهی و نرمال‌سازی شده استفاده گردید. در ادامه به توضیح مراحل مختلف این شاخص پرداخته می‌شود.

مرحله اول: تعریف دامنه مطلوب برای هر عامل

در ابتدا، به‌منظور تعیین دامنه مطلوب هر یک از عوامل اقلیمی (دما و بارش) در شاخص اقلیم نظامی مورد استفاده، از تجربیات و منابع مختلف استفاده می‌شود. بر اساس مطالعات انجام‌شده، بازه مطلوب دمای حداقل بین ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد و بازه مطلوب دمای حداکثر ۲۰ بین ۳۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. در این بازه، دمای حداقل بالاتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد معمولاً به‌اندازه کافی معتدل است تا از مشکلاتی مانند یخ‌زدگی تجهیزات و کاهش کارایی سربازان جلوگیری شود. درعین‌حال، این دما به‌اندازه کافی خنک است که موجب راحتی نسبی نیروها در شرایط استراحت شبانه می‌گردد. همچنین بازه مطلوب دمای حداکثر در نظر گرفته شده، شرایط مناسبی برای فعالیت‌های فیزیکی سنگین و عملیات نظامی فراهم می‌کند. دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند موجب گرم‌زدگی و کاهش کارایی نیروها شود. از طرفی دماهای کمتر از ۲۰ درجه نیز ممکن است باعث خستگی زودرس و کاهش تمرکز شود. در ادامه، شرایط

مطلوب برای بارش بین ۳۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر در ماه به‌عنوان مطلوب‌ترین شرایط برای عملیات نظامی در نظر گرفته شده است. بر این اساس، اگر بارش ماهانه کمتر از ۳۰ میلی‌متر باشد، ممکن است منطقه بسیار خشک شود که می‌تواند به مشکلاتی مانند گردوغبار شدید، خشکی بیش‌ازحد خاک و مشکلات مرتبط با تأمین آب را در پی داشته باشد. این شرایط ممکن است کارایی نیروها را کاهش دهد و مشکلات لجستیکی ایجاد کند. از طرفی بارش‌های بیش از ۱۰۰ میلی‌متر در ماه می‌تواند به مشکلاتی مانند سیلاب‌ها، لغزش‌های زمینی و کاهش دید منجر شود. این شرایط می‌تواند عملیات نظامی را به‌شدت مختل کند و موجب مشکلات لجستیکی و کاهش تحرک نیروها شود (Sissenwine, 1951; Ramírez et al., 2006; Surgeon General Ministry of Defense, 2003; Pilcher et al., 2003; Llasat, 2002; Regens, 2024).

مرحله دوم: نرمال‌سازی و امتیازدهی

به‌منظور نرمال‌سازی و امتیازدهی پارامترهای اقلیمی بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده فوق، برای هر عامل یک امتیاز بین ۰ تا ۱۰۰ با روش نرمال‌سازی خطی مبتنی بر دامنه مطلوب تعیین می‌گردد. این روش، یکی از رایج‌ترین شیوه‌ها در تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و تحلیل‌های زیست‌محیطی است که امکان مقایسه مستقیم، افزایش شفافیت در امتیازدهی و ترکیب کردن چند شاخص بین متغیرهایی با مقیاس‌های متفاوت را فراهم می‌کند (Kamyab et al., 1999, Malczewski, 2024). بر این اساس، هر چه مقدار یک عامل نزدیک‌تر به دامنه مطلوب باشد، امتیاز بالاتری به آن داده می‌شود. دلیل اگر دمای حداقل بین ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد، امتیاز کامل (۱۰۰) به آن داده می‌شود و در صورتی که دمای حداقل کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد باشد به ازای هر درجه سانتی‌گراد فاصله از دامنه مطلوب، ۵ امتیاز کسر می‌شود. اگر دمای حداکثر بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد، امتیاز کامل (۱۰۰) به آن داده می‌شود و در صورتی که دمای حداکثر بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد به ازای هر درجه سانتی‌گراد فاصله از دامنه مطلوب، ۵ امتیاز کسر می‌شود. اگر بارش ماهانه بین ۳۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر باشد، امتیاز کامل (۱۰۰) به آن داده می‌شود. در صورت تحقق بارش ماهانه کمتر از ۳۰ میلی‌متر، در این صورت امتیاز بارش ماهانه از طریق رابطه ۶ محاسبه می‌شود و با هر مقدار کاهش بارش ماهانه از مجموع ۳۰ میلی‌متر، امتیاز به صفر نزدیک می‌شود. در صورتی که بارش ماهانه بیشتر از ۱۰۰ میلی‌متر باشد، امتیاز بارش ماهانه طبق رابطه ۷ محاسبه می‌شود و امتیاز با افزایش بارش از ۱۰۰ میلی‌متر، صفر در نظر گرفته می‌شود.

مرحله سوم: محاسبه شاخص نهایی (MCI)

در این مرحله، شاخص MCI (رابطه ۸) بر اساس نظریات جمع‌آوری شده از منابع مختلف، توسط تیم نویسندگان جمع‌بندی و نهایی شد. بدین‌صورت که از مجموع امتیازات حاصل از میانگین هر سه عامل اقلیمی، نتایج به‌دست‌آمده به شرح ذیل تقسیم‌بندی می‌گردد:

امتیاز ۱۰۰: شرایط ایده‌آل برای عملیات نظامی در نظر گرفته می‌شود. امتیاز بین ۵۰ تا ۱۰۰: شرایط قابل‌قبول است، اما ممکن است مشکلات جزئی ایجاد شود. امتیاز بین ۰ تا ۵۰: شرایط نامطلوب است و احتمال ایجاد مشکلات جدی در عملیات نظامی وجود دارد. امتیاز ۰: شرایط بسیار نامناسب بوده و ممکن است عملیات به‌شدت تحت تأثیر قرار گیرد یا متوقف شود.

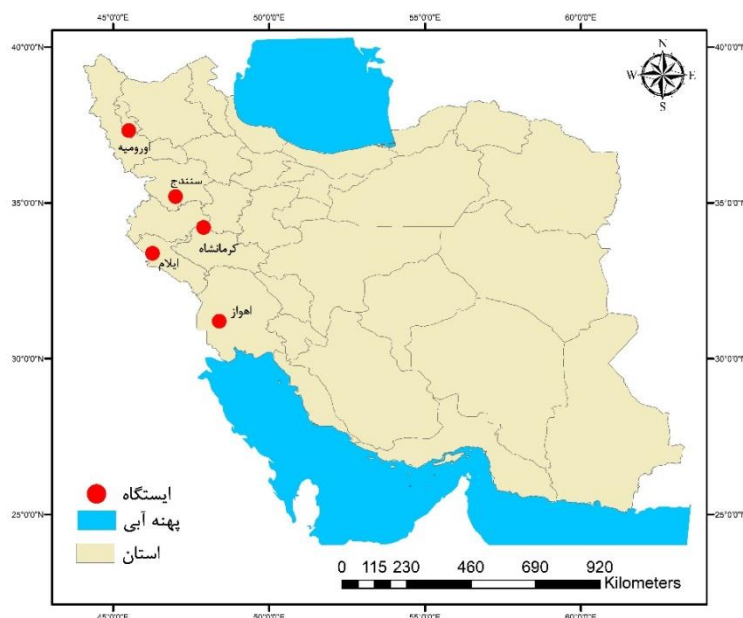
$$\text{Precipitation}_{\text{Score}} = 100 - \left(\frac{30 - \text{Pr}_{\text{monthly}}}{30} \times 100 \right) \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\text{Precipitation}_{\text{score}} = 100 - \left(\frac{\text{Pr}_{\text{monthly}} - 100}{100} \times 100 \right) \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\text{MCI} = \frac{\text{Tmin_score} + \text{Tmax_score} + \text{Precipitation_score}}{3} \quad \text{رابطه ۷}$$

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شامل پنج استان غربی ایران شامل آذربایجان غربی، ایلام، کردستان، کرمانشاه و خوزستان است. این مناطق به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص از جمله داشتن مرزهای مشترک با کشورهای ترکیه و عراق، وجود مناطق کوهستانی گسترده، دشت‌های طولانی، تنوع اقلیمی، دسترسی به منابع آبی و در معرض مخاطرات طبیعت چون سیل و خشک‌سالی، طوفان، زلزله و... از شرایط راهبردی و حساسیت بالایی برخوردار بوده و نقش کلیدی در امنیت و دفاع ملی ایران ایفا می‌کنند. در جدول ۱ و شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و میانگین پارامترهایی دمایی و بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت خلاصه آورده شده است.



شکل ۱. استان‌های مرز غربی ایران

یافته‌ها

آزمون‌های ناپارامتریک Sen's Slope و Mann-Kendall

به‌طور کلی نتایج مربوط به بررسی شیب تغییرات روند با آزمون من-کندال نشان می‌دهد در اکثر ماه‌های سال روند دمایی بیشینه به‌صورت معنادار افزایشی بوده و همچنین، روند دمایی کمینه در اکثر ماه‌ها معنادار و در همه ایستگاه‌ها به‌غیر از ایستگاه ایلام افزایشی می‌باشد. در خصوص بارش، روند بارش در اکثر ماه‌ها معنی‌دار نبوده و فقط در بعضی از ایستگاه‌ها (سنندج، ارومیه و ایلام) ماه فوریه و در بعضی (ایلام، کرمانشاه و سنندج) در ماه مارس به‌طور معنادار روند کاهشی بوده است. در ادامه، نتایج تحلیل شیب سنس به‌خصوص دمایی بیشینه و کمینه سالانه نشان می‌دهد که هر دو پارامتر در همه ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه ایلام دارای روندی افزایشی هستند. از سوی دیگر، نتایج شیب سنس برای پارامتر

جدول ۳. نتایج آزمون من-کندال و شیب سنس در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۲۰۱۴-۱۹۸۵

ایستگاه		Month	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Annual
امواز	T-max	Q	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۴
		Z	۱/۰۵	۲/۵۵	۳/۴۷	۲/۱۸	۱/۶۳	۳/۲۱	۰/۸۸	۱/۹۰	۱/۳۴	۱/۲۹	۰/۰۷۸	۱/۲۹	۲/۷۹
		Trend		*	**	*		**							**
	T-min	Q	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۷
		Z	۰/۸۵	۲/۲۱	۳/۲۶	۳/۰۱	۳/۹۸	۵/۵۴	۴/۰۸	۳/۱۳	۳/۷۴	۲/۳۸	۱/۴۶	۰/۳۴	۴/۶۴
		Trend		*	**	**	**	**	**	**	**	*			**
	Pr	Q	-۱/۳۱	-۰/۰۶	-۰/۱۱	۰/۰۰	-۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۰	۰/۰۱	۱/۷۲	-۱/۲۶	-۰/۷۸	-۰/۷۴	-۱/۴۵
		Z	-۲/۰۱	-۰/۲۰	۱/۱۷	-۱/۳۸	-۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۸۹	۳/۰۹	-۰/۹۹	-۰/۶۱	-۱/۱۹	-۰/۶۵
		Trend													
ایلام	T-max	Q	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۴
		Z	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۰۷
		Trend		*	**	**		*						**	**
	T-min	Q	-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۱۲	-۰/۰۸	-۰/۱۵	-۰/۱۲	-۰/۱۵	-۰/۰۹	-۰/۰۵	۰/۰۱	-۰/۰۷
		Z	-۰/۴۷	۰/۳۹	۰/۷۷	-۱/۴۶	-۳/۴۶	-۲/۱۴	-۳/۶۸	-۳/۳۵	-۳/۶۰	-۲/۵۷	-۰/۹۳	۰/۱۴	-۲/۷۱
		Trend					**	*	**	**	**	*			**
	Pr	Q	۰/۲۵	-۱/۸۷	-۳/۵۱	-۰/۵۸	-۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۶	-۰/۰۱	-۱/۴۴	-۴/۷۰
		Z	۰/۲۱	-۲/۳۴	-۲/۳۸	-۰/۷۵	-۰/۳۲	-۰/۴۰	۰/۵۶	۱/۸۹	۰/۳۶	۰/۶۴	۰/۰۰	-۱/۵۷	-۱/۲۱
		Trend		*	*										
کرمانشاه	T-max	Q	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۶
		Z	۰/۵۱	۲/۳۱	۳/۴۷	۱/۱۶	۰/۲۴	۱/۶۷	۱/۴۶	۰/۹۲	۱/۰۰	۱/۷۳	۰/۱۴	۲/۲۱	۳/۳۷
		Trend		*	**									*	**
	T-min	Q	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶
		Z	۱/۸۵	۱/۶۷	۲/۶۹	۱/۳۸	۲/۹۲	۳/۲۳	۰/۸۸	۱/۱۶	۲/۳۱	۱/۶۰	۱/۳۳	۱/۱۹	۳/۸۴
		Trend			**		**	**			*				**
	Pr	Q	-۰/۲۳	-۰/۷۲	-۲/۳۷	-۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۱۴	-۲/۱۸	-۴/۵۲
		Z	-۰/۳۱	-۱/۱۹	-۲/۸۲	-۰/۹۲	۱/۳۶	۱/۴۵	-۰/۹۹	۰/۷۲	-۰/۹۱	۰/۱۰	-۰/۲۰	-۲/۷۹	-۲/۱۴
		Trend			**									**	*
ارومیه	T-max	Q	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۷
		Z	۲/۰۴	۲/۷۹	۳/۵۴	۲/۴۱	۱/۶۵	۲/۷۹	۲/۳۶	۳/۰۹	۲/۵۲	۲/۲۱	۰/۰۰	۰/۰۷	۴/۲۵
		Trend	*	**	**	*		**	*	**	*	*			**
	T-min	Q	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	-۰/۰۳	-۰/۰۵	۰/۰۱
		Z	۰/۳۷	۰/۹۵	۲/۳۱	-۰/۱۰	۰/۹۲	۲/۰۶	۰/۰۳	۱/۰۲	-۱/۱۴	۰/۵۴	-۱/۱۶	-۰/۷۸	۱/۲۲
		Trend			*			*							
	Pr	Q	۰/۱۰	-۰/۷۹	-۰/۸۱	-۰/۳۷	۰/۵۶	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۲۸	-۰/۳۰	۱/۷۷
		Z	۰/۲۴	-۲/۲۸	-۱/۷۰	-۰/۵۸	۱/۱۲	۰/۲۵	-۰/۸۱	۰/۸۵	۱/۳۶	۰/۱۷	۰/۵۳	-۰/۷۵	۰/۶۵
		Trend		*											
سنندج	T-max	Q	۰/۰۶	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۶	-۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۸
		Z	۰/۹۲	۲/۶۹	۳/۵۰	۱/۹۴	۱/۸۰	۳/۶۰	۳/۴۳	۳/۶۰	۲/۳۵	۲/۲۱	-۰/۹۵	۱/۰۵	۴/۵۹
		Trend		**	**			**	**	**	*	*			**
	T-min	Q	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۳	۰/۰۶	-۱/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۶
		Z	۱/۱۶	۱/۹۴	۱/۹۴	۱/۲۷	۳/۰۳	۵/۵۱	۰/۸۸	۱/۹۰	۳/۷۱	۱/۳۹	۰/۱۰	-۰/۱۴	۳/۶۴
		Trend					**	**			**				**
	Pr	Q	-۰/۶۸	-۱/۴۷	-۱/۴۹	-۱/۱۵	۰/۳۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۶۳	-۱/۱۷	-۵/۴۲
		Z	-۱/۵۶	-۲/۵۵	-۳/۰۹	-۱/۴۳	۰/۷۱	۰/۱۶	۱/۵۳	۱/۴۳	۱/۱۴	۰/۳۹	۰/۵۸	-۱/۴۳	-۳/۲۶
		Trend		*	**										**

انتخاب مناسب‌ترین مدل GCM

در این مطالعه، جهت انتخاب مدل‌های گردش عمومی (GCM) شامل مدل‌های ACCESS، GFDL، MPI و MRI برای پیش‌بینی تغییرات آب‌وهوایی در ایستگاه‌های مورد مطالعه از معیارهای آماری مانند ضریب همبستگی پیرسون (r)، ضریب تعیین (R^2) و خطای میانگین مربعات (RMSE) استفاده شده است (جدول ۴). بر اساس نتایج، مدل ACCESS-ESM1-5 برای اهواز و ارومیه، مدل MRI-ESM2-0 برای ایلام و مدل GFDL-ESM4 برای کرمانشاه و سنندج به عنوان مدل‌های برتر انتخاب گردید. این مدل‌ها به دلیل دقت بالا و کمترین میزان خطا برای هر ایستگاه، بهترین عملکرد را در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی این مناطق داشته‌اند و در مراحل بعدی استفاده خواهند شد.

جدول ۴. مقایسه آماری مدل‌های گردش عمومی GCM برای انتخاب بهترین مدل در ایستگاه مورد مطالعه

ایستگاه	مدل گردش عمومی				
	دمای حداکثر				
	آماري آزمون	ACCESS-ESM1-5	GFDL-ESM4	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0
اهواز	PCC	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	R ²	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸
	RMSE (°C)	۶/۳۳	۴/۷۷	۰/۸۱	۲/۲۱
	حداقل دمای				
	PCC	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	R ²	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹
	RMSE (°C)	۲/۵۰	۳/۲۴	۳/۷۸	۳/۲۴
	بارش				
	PCC	۰/۶۷	۰/۴۲	۰/۳۲	۰/۵۹
	R ²	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۵۷
	RMSE (mm)	۱۹/۷۲	۲۶/۹۳	۳۳/۱۵	۲۰/۹۸
	حداکثر دمای				
	آزمون آماری	ACCESS-ESM1-5	GFDL-ESM4	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0
	PCC	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	R ²	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸
	RMSE (°C)	۵/۴۵	۷/۶۰	۸/۱۸	۵/۹۶
ایلام	دمای حداقل				
	PCC	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	R ²	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	RMSE (°C)	۴/۲۶	۷/۵۳	۸/۸۷	۶/۰۳
	بارش				
	PCC	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۷۶
	R ²	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۵۷
	RMSE (mm)	۳۶/۷۰	۵۰/۴۰	۵۵/۸۷	۳۳/۴۷
	دمای حداکثر				
	آماري آزمون	ACCESS-ESM1-5	GFDL-ESM4	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0
	PCC	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹
	R ²	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸
	RMSE (°C)	۲/۴۱	۲/۴۰	۵/۷۹	۶/۵۹
	دمای حداقل				
	PCC	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۹
	R ²	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
کرمانشاه	دمای حداکثر				
	آماري آزمون	ACCESS-ESM1-5	GFDL-ESM4	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0
	PCC	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹
	R ²	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸
	RMSE (°C)	۲/۴۱	۲/۴۰	۵/۷۹	۶/۵۹

ارومیه	RMSE (°C)	۴/۹۷	۲/۸۶	۱۱/۶۹	۲/۰۷
	بارش				
	PCC	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۸۸
	R _r	۰/۸۴	۰/۹۲	۰/۸۴	۰/۷۸
	RMSE (mm)	۱۴/۲۹	۸/۶۲	۳۲/۸۰	۴۵/۷۵
	دمای حداکثر				
	PCC	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸
	R _r	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۷
	RMSE (°C)	۲/۱۳	۲/۳۴	۳/۶۵	۳/۱۱
	دمای حداقل				
	PCC	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	R _r	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸
	RMSE (°C)	۴/۲۲	۱/۹۷	۴/۹۱	۳/۲۴
	بارش				
	PCC	۰/۹۵	۰/۸۰	۰/۶۲	۰/۷۹
	R _r	۰/۹۰	۰/۶۴	۰/۳۸	۰/۶۲
	RMSE (mm)	۳۲/۶۸	۴۱/۱۹	۲۳/۸۷	۵۴/۸۵
سنندج	دمای حداکثر				
	آزمون آماری	ACCESS-ESM۱-۵	GFDL-ESM۴	MPI-ESM۱-۲-LR	MRI-ESM۲-۰
	PCC	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹
	R _r	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۹
	RMSE (°C)	۴/۴۹	۵/۸۸	۱/۱۰	۲/۰۳
	دمای حداقل				
	PCC	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	R _r	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸
	RMSE (°C)	۳/۳۴	۲/۱۸	۵/۰۱	۶/۶۱
	بارش				
	PCC	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۸۸	۰/۸۹
	R _r	۰/۸۶	۰/۹۷	۰/۷۸	۰/۸۰
	RMSE (mm)	۱۱/۸۰	۱۳/۱۹	۱۴/۴۴	۲۶/۵۶

صحت‌سنجی مدل LARS-WG

در این مطالعه، مدل LARS-WG با استفاده از داده‌های مشاهداتی روزانه و اطلاعات جغرافیایی ایستگاه‌ها، واسنجی و صحت‌سنجی شد. در ادامه نتایج صحت‌سنجی مدل LARS-WG نشان داد توانایی مدل جهت شبیه‌سازی دمای بیشینه، کمینه و بارش از نظر ضریب همبستگی پیرسون (r)، ضریب تعیین (R^2) بالا و از نظر خطای میانگین مربعات (RMSE) پایین بوده است. به‌طوری‌که از نظر شاخص جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) خطاها در تمامی ایستگاه‌ها برای دما زیر ۲ درصد و برای بارش زیر ۱۰ درصد است؛ بنابراین اختلاف خروجی‌های شبیه‌سازی مدل با داده‌های مشاهده‌ای ناچیز بوده و این بیانگر قابل‌اعتماد بودن مدل می‌باشد (جدول ۵).

جدول ۵. صحت‌سنجی مدل LARS-WG با استفاده از آزمون‌های آماری در منطقه مطالعاتی

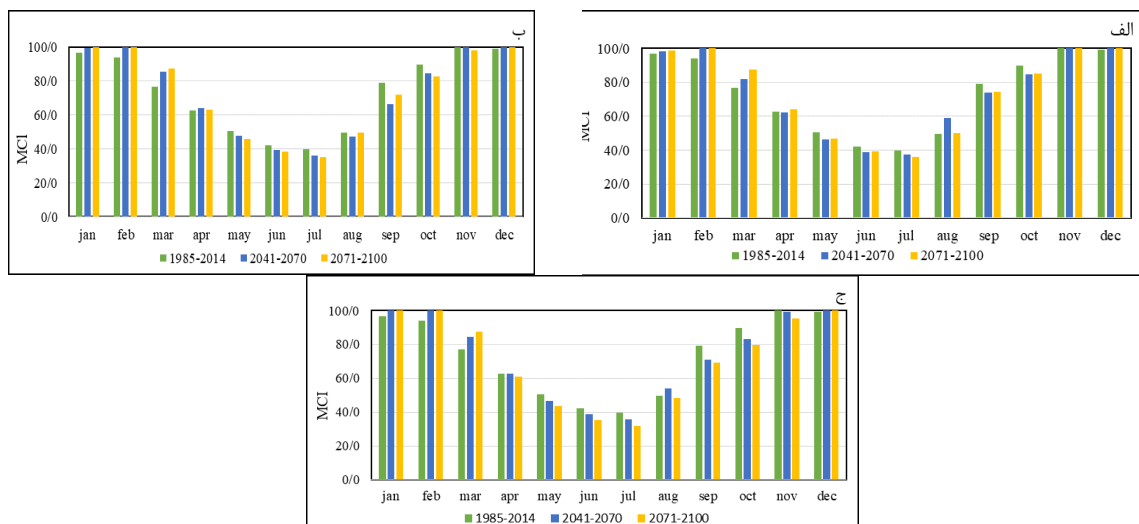
ایستگاه‌های سینوپتیک	آزمون آماری	دمای حداکثر	دمای حداقل	بارش
اهواز	R	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	R ²	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸
	RMSE	۰/۲۲	۰/۲۶	۶/۰۴
	NRMSE	۱%	۱%	۸%
ایلام	R	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷
	R ²	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۴
	RMSE	۰/۲۵	۰/۳۳	۱۰/۳۸
	NRMSE	۱%	۲%	۱۰%
کرمانشاه	PCC	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	R ²	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸
	RMSE	۰/۳۲	۰/۳۳	۴/۲۸
	NRMSE	۱%	۲%	۶%
ارومیه	R	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸
	R ²	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۶
	RMSE	۰/۱۸	۰/۱۵	۳/۴۰
	NRMSE	۱%	۱%	۷%
سنندج	R	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸
	R ²	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷
	RMSE	۰/۱۹	۰/۲۵	۴/۷۰
	NRMSE	۱%	۱%	۷%

صحت‌سنجی مدل LARS-WG

در ادامه سعی شده است نتایج شاخص اقلیم نظامی (MCI) برای ارزیابی تأثیر پارامترهای اقلیمی مانند دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش ماهانه بر عملیات نظامی تحت سناریوهای مختلف در هر ایستگاه به تفکیک ارائه گردد.

اهواز

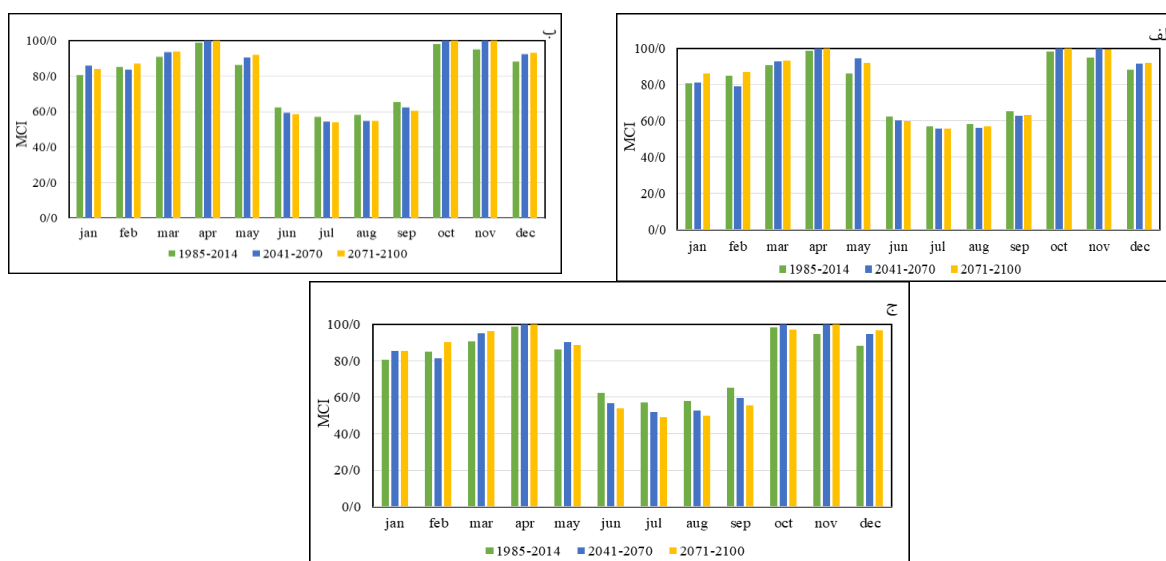
نتایج بررسی شاخص اقلیم نظامی در ایستگاه اهواز نشان می‌دهد که در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴)، فصل تابستان کمترین مقادیر این شاخص را نشان می‌دهد که این موضوع، به دلیل عدم وجود بارش و دمای بالای هوا می‌باشد. در این شرایط، انجام هرگونه فعالیت نظامی در شهر اهواز در فصل تابستان به‌خصوص به دلیل شرایط شرجی به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین نتایج در شرایط تغییر اقلیم بیانگر آن است که تحت سناریوی SSP1-2.6، مقادیر شاخص اقلیم نظامی تغییرات قابل توجهی نسبت به دوره پایه ندارد، به این معنا که الگوهای اقلیمی نسبتاً پایدار باقی می‌مانند و تأثیرات منفی بر فعالیت‌های نظامی در این سناریو محدودتر است (شکل ۲-الف)؛ اما تحت سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5، مقادیر شاخص اقلیم نظامی تغییرات قابل ملاحظه‌ای به‌ویژه در فصل تابستان را نشان می‌دهد. این تغییرات شامل افزایش دما و کاهش بارش است که می‌تواند شرایط نامطلوبی را برای انجام هرگونه فعالیت به وجود بیاورد (شکل ۲-ب و ج).



شکل ۲. نتایج شاخص اقلیم نظامی ماهانه ایستگاه سینوپتیک اهواز تحت سناریوهای SSP1-2.6 (الف)، SSP2-4.5 (ب) و SSP5-8.5 (ج)

ایلام

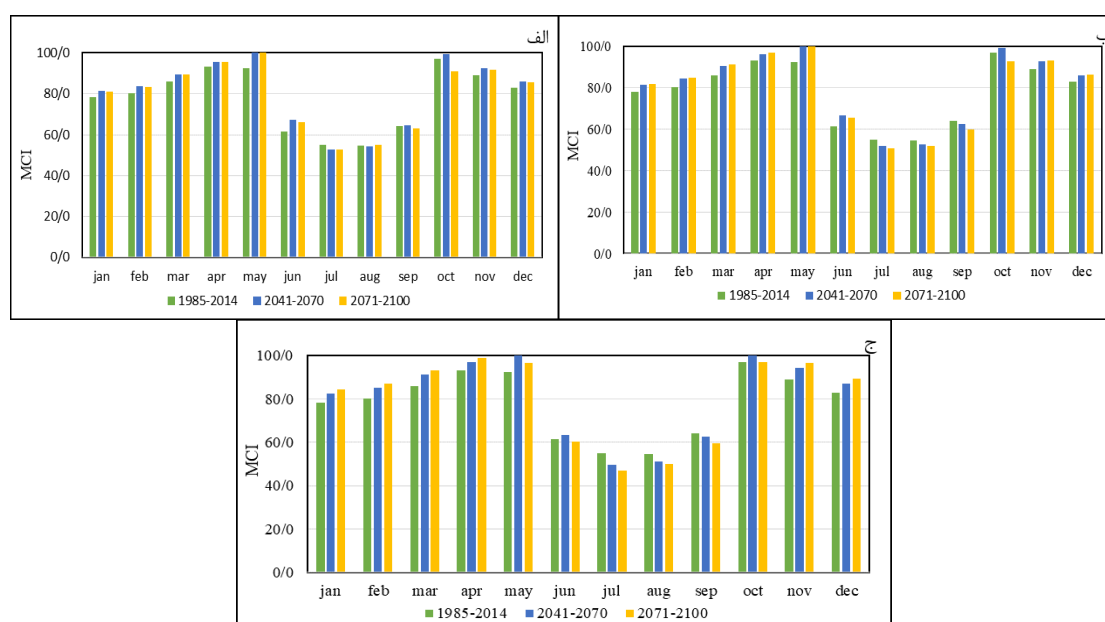
در ایستگاه ایلام، در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴)، شاخص MCI در فصل تابستان به پایین‌ترین سطح خود می‌رسد. این کاهش شاخص، عمدتاً به دلیل کاهش شدید بارش و افزایش دمای هوا در این فصل رخ می‌دهد. در ادامه، شاخص اقلیم نظامی در شرایط تغییر اقلیم در سناریوی SSP1-2.6 نسبت به دوره پایه تغییرات قابل‌توجهی نشان نمی‌دهد و در برخی ماه‌ها حتی بهبود نسبی در شاخص مشاهده می‌شود. این بهبود ممکن است ناشی از کاهش نسبی دما یا افزایش اندک بارش در برخی ماه‌ها باشد که به ایجاد شرایط مطلوب‌تر کمک می‌کند (شکل ۳-الف). با این حال، تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5، شاخص MCI به‌ویژه در فصل تابستان تغییرات چشمگیری را نشان می‌دهد. در این سناریوها، افزایش قابل‌توجه دما همراه با کاهش بارش، شرایط اقلیمی را به‌طور جدی نامطلوب‌تر می‌سازد. این تغییرات می‌تواند منجر به افزایش خطرات عملیاتی مانند گرم‌زدگی، کاهش کارایی نیروها، و مشکلات لجستیکی مرتبط با تأمین آب و خنک‌سازی نیروها و تجهیزات شود (شکل ۳-ب و ج).



شکل ۳. نتایج شاخص اقلیم نظامی ماهانه ایستگاه سینوپتیک ایلام تحت سناریوهای SSP1-2.6 (الف)، SSP2-4.5 (ب) و SSP5-8.5 (ج)

کرمانشاه

در ایستگاه کرمانشاه فصل تابستان در هر سه دوره مورد بررسی دوره پایه، آینده نزدیک و آینده دور به دلیل شرایط نامطلوب اقلیمی، کمترین میزان مطلوبیت را برای انجام فعالیت‌های نظامی دارد. این شرایط شامل افزایش دما و کاهش بارش است که باعث می‌شود اجرای عملیات نظامی با چالش‌های جدی مواجه شود. نتایج تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که در شرایط تغییر اقلیم، دو سناریوی SSP1-2 و SSP2-4.5 تغییرات کمتری در شاخص اقلیم نظامی نسبت به دوره پایه دارند. اگرچه در فصل تابستان شاخص MCI پایین‌تر از حد مطلوب بوده اما شدت تغییرات اقلیمی آن کم بوده است (شکل ۴-الف وب). در نهایت، نتایج سناریوی SSP5-8.5 نشان‌دهنده تأثیر منفی تغییر اقلیم برای شاخص اقلیم نظامی نسبت به ۲ سناریوی قبلی در منطقه مورد بررسی می‌باشد. در نتیجه، فعالیت‌های نظامی این مناطق تحت تأثیر این سناریو در معرض خطرات بیشتری قرار می‌گیرند (شکل ۴-ج).

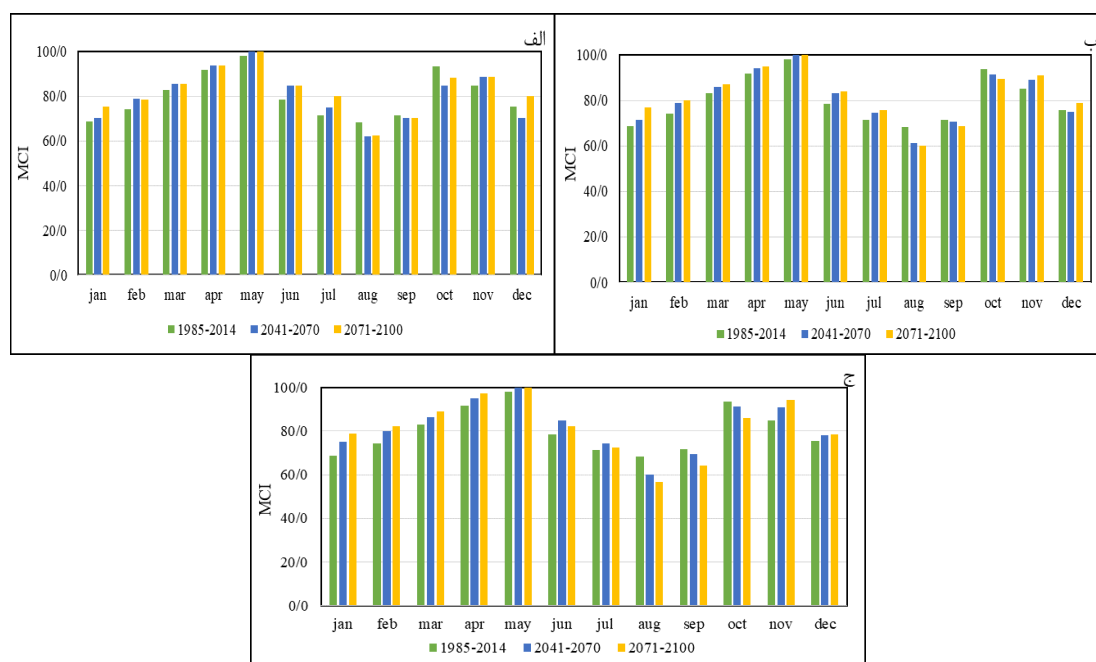


شکل ۴. نتایج شاخص اقلیم نظامی ماهانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه تحت سناریوهای SSP1-2.6 (الف)، SSP2-4.5 (ب) و SSP5-8.5 (ج)

ارومیه

شاخص اقلیم نظامی (MCI) ایستگاه ارومیه در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها در شرایط تغییر اقلیم، شرایط نسبتاً مطلوبی برای انجام فعالیت‌های نظامی دارد. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که در اکثر ماه‌های سال، وضعیت شاخص اقلیم نظامی در ایستگاه ارومیه تحت هر سه سناریوی تغییر اقلیم، نسبت به دوره پایه بهبود یافته است. این موضوع، ممکن است به دلیل کاهش فرین‌های دمایی یا افزایش جزئی در میزان بارش‌ها است که شرایط مناسب‌تری برای عملیات نظامی در این منطقه فراهم می‌کند. در این خصوص، در سناریوی SSP1-2.6 و SSP2-4.5 تغییرات در دما و بارش محدودتر بوده که به حفظ شرایط مناسب‌تر برای هرگونه فعالیت دفاعی در ارومیه کمک می‌کند (شکل ۵-الف وب). در نهایت، سناریوی SSP5-8.5 که نمایانگر تغییرات اقلیمی شدیدتری است همچنان شرایط تا حدود مطلوب را در شاخص اقلیم نظامی نشان می‌دهد اگرچه به اندازه دو سناریوی دیگر چشمگیر نیست. این نتایج بیانگر آن است ایستگاه ارومیه حتی در شرایط تغییرات اقلیمی گسترده، توانسته است شرایط نسبی مناسبی برای فعالیت‌های نظامی حفظ کند با این وجود، اتخاذ

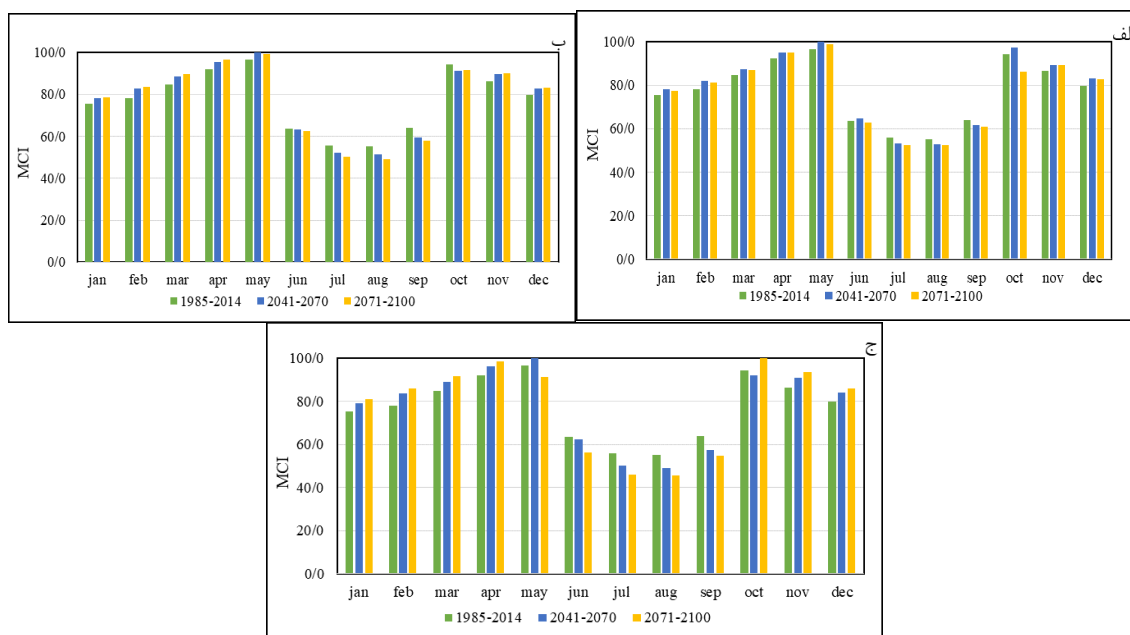
استراتژی‌های مناسب و افزایش آمادگی‌ها برای مواجهه با تغییرات احتمالی در شرایط آب‌وهوایی بسیار حیاتی خواهد بود تا بتوان از مزایای این بهبودها بهره‌مند شد و خطرات احتمالی را به حداقل رساند (شکل ۵-ج).



شکل ۵. نتایج شاخص اقلیم نظامی ماهانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه تحت سناریوهای SSP1-2.6 (الف)، SSP2-4.5 (ب) و SSP5-8.5 (ج)

سنندج

در ایستگاه سنندج، شاخص اقلیم نظامی (MCI) تحت تأثیر سناریوی SSP1-2.6 با تغییرات عمده‌ای نسبت به دوره پایه همراه نبوده و حتی در برخی ماه‌ها، این شاخص در شرایط مطلوب نسبی بوده که می‌تواند ناشی از تغییرات جزئی در بهبودی الگوهای دمایی یا بارش باشد (شکل ۶-الف). همچنین این شاخص در سناریوی SSP2-4.5، نسبت به دوره پایه با تغییراتی در جهت کاهش میزان شرایط مطلوب همراه بوده که این تغییرات به نسبت به سناریوی SSP5-8.5 از شدت کمتری برخوردار بوده است. در نهایت شاخص اقلیم نظامی (MCI) تحت سناریوی SSP5-8.5، به دلیل تغییرات عمده در افزایش دما و کاهش باران، میزان مطلوبیت شاخص اقلیم نظامی (MCI) به‌طور چشمگیری کاهش یافته است که بیانگر نامطلوب‌تر شدن شرایط اقلیمی برای فعالیت‌های نظامی به‌خصوص در فصل تابستان است (شکل ۶-ب و ج).



شکل ۶. نتایج شاخص اقلیم نظامی ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنج تحت سناریوهای SSP1-2.6 (الف)، SSP2-4.5 (ب) و SSP5-8.5 (ج)

بحث

این پژوهش به بررسی جامع تأثیرات تغییرات اقلیمی بر شاخص اقلیم نظامی (MCI) مناطق مرزی غرب ایران با رویکردی جدید پرداخت. در ابتدا، نتایج نشان داد دمای بیشینه و کمینه (به جز ایستگاه ایلام) در مقیاس سالانه به طور معناداری افزایش یافته و از طرفی مقادیر بارش کاهشی بوده است. در ادامه، نتایج حاصل از شاخص اقلیم نظامی در سناریوهای تغییر اقلیم بیانگر آن است که در همه ایستگاه‌ها، شاخص MCI در فصل تابستان به دلیل افزایش روند مقادیر دماهای حداکثر و حداقل در این فصل کاهش یافته است که این موضوع، سبب سخت‌تر شدن شرایط مساعد برای انجام فعالیت‌های نظامی شده است؛ که در این میان بیشترین مقدار کاهش این شاخص مربوط به ایستگاه اهواز به دلیل وجود شرایط شرعی و دماهای بسیار بالا (بالای ۴۰ درجه) بوده است. در مقابل در همه ایستگاه‌ها، افزایش مقدار شاخص MCI از نظر اقلیمی هم‌زمان با حاکم بودن شرایط معتدل (محدوده مطلوب) بوده است که این شرایط قبل از شروع وقوع روزهای گرم یا سرد بوده و یا از تعداد فراوانی روزهای گرم و سرد کاسته شده است. بر این اساس ایستگاه اهواز در اواخر فصل پاییز و اوایل فصل زمستان، ایستگاه ایلام در فصل پاییز و اوایل فصل بهار، ایستگاه کرمانشاه در اوایل فصل پاییز و فصل بهار، ایستگاه ارومیه در اوایل فصل بهار، ایستگاه سنج در اوایل فصل پاییز و فصل بهار شاخص MCI به بیشینه خود رسیده و در شرایط بهتری را برای هرگونه فعالیت نظامی فراهم نموده است. در پایان لازم به ذکر است که با توجه به آن که این پژوهش به بررسی شرایط مطلوب برای فعالیت‌های نظامی بر اساس سناریوهای اقلیمی در مناطق شمال غرب و غرب پرداخته که مطالعات داخلی کمی در این خصوص انجام شده است؛ اما در مجموع، نتایج این مطالعه با نتایج مربوط به مطالعات حنفی و همکاران (۱۳۹۳) و حنفی و خوشحال (۱۳۹۳) متفاوت بود که برای شهر کرمانشاه و سنج اواسط بهار و اواخر پاییز، شهر ارومیه اواخر فصل بهار تا پاییز و شهر اهواز اواخر فصل بهار و پاییز را به عنوان شرایط مطلوب برای فعالیت‌های نظامی معرفی نمودند.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تغییر اقلیم می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر امنیت ملی و توان عملیاتی نیروهای نظامی در مناطق مرزی ایران داشته باشد که منجر به کاهش کارایی تجهیزات نظامی، افزایش هزینه‌های دفاعی و حتی تغییر در برنامه راهبردی نظامی شود؛ بنابراین انجام هرگونه فعالیت نظامی نیازمند برنامه‌ریزی و تمهیدات ویژه برای مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف است. در چنین شرایطی، ممکن است نیاز به توسعه تکنیک‌های جدید برای مدیریت عملیات در شرایط آب‌وهوایی سخت، استفاده از داده‌های اقلیمی به‌روز و مدل‌های دقیق‌تر و بومی برای پیش‌بینی شرایط جوی آینده، افزایش منابع برای حمایت از نیروها در شرایط بحرانی و تقویت زیرساخت‌های نظامی برای مقابله با شرایط نامساعد اقلیمی وجود داشته باشد. این برنامه‌ریزی‌ها می‌توانند شامل استفاده از تجهیزات مقاوم‌تر در برابر گرما و سرما، ایجاد پناهگاه‌های مناسب، بهینه‌سازی زمان‌بندی عملیات‌ها و همچنین آموزش نیروها برای سازگاری با شرایط جدید باشد.

در نهایت پیشنهاد می‌گردد، برنامه‌ریزی‌های راهبردی جهت مقابله با چالش‌های ناشی از تغییر اقلیم برای تمام سطوح امنیت ضروری است. در این خصوص ضروری است برای تحقیقات آینده در زمینه تأثیرات تغییرات اقلیمی بر محاسبه نهایی شاخص اقلیم نظامی پیشنهاد می‌گردد به هرکدام از عوامل اقلیمی بر اساس میزان اثرگذاری در شرایط مطلوب و نامطلوب در هر منطقه وزن داده شود تا معادله نهایی به‌صورت وزن‌دار بهبود یابد.

حامی مالی

این مقاله حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در ارتباط با نویسندگی یا انتشار مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی کسانی که در انجام پژوهش حاضر یاری‌رسان بوده‌اند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقاله را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- امینی، داود و رضایی، حسن. (۱۴۰۱). بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر فعالیت‌های نظامی در استان اصفهان با استفاده از شاخص بیوکلیمایی میسنارد و سناریوهای آینده‌پژوهانه. *نشریه مطالعات نظامی و اقلیمی ایران*، ۱۸(۴)، ۴۵-۶۳.
<https://doi.org/10.22034/qjmst.2022.543615.1624>
 بیات، ناصر؛ اوصانلو، علی و امینی، داود. (۱۴۰۰). آب، جرم و امنیت/انتظامی در ایران. چاپ اول، تهران: دانشگاه علوم انتظامی امین.
 باعقیده، محمدرضا و سروستان، رسول. (۱۳۹۸). بررسی اثر فراسنج‌های آب‌وهوایی بر عملکرد دفاعی نیروهای نظامی؛ مطالعه موردی: استان خوزستان. *فصلنامه سپهر*، ۲۸(۱۱۰)، ۱۹۳-۱۸۱.
<https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.36622>

- حنفی، علی و خوشحال دستجردی، جواد. (۱۳۹۳). ارزیابی و پهنه‌بندی تقویم اقلیم نظامی مناطق مرزی هم‌جوار با کشور عراق. *فصلنامه مدیریت نظامی*، ۱۱: ۶۱۸-۶۱۱.
- حنفی، علی؛ خوشحال دستجردی، جواد؛ علیجانی، بهلول و فخری، سیروس. (۱۳۹۳). ارزیابی و پهنه‌بندی وضعیت اقلیم دفاعی نیمه غربی کشور با استفاده از شاخص اقلیم دفاعی (DCI). *پژوهشنامه جغرافیای/نظامی*، ۲(۶): ۵۶-۲۷.
- دالایی، حمیده؛ فرج‌زاده اصل، منوچهر؛ گندمکار، امیر و نامی، محمدحسن. (۱۳۹۵). تحلیل شاخص‌های حدی بارشی در دوره ۲۰۱۰. با رویکرد نظامی. *فصلنامه راهبرد دفاعی*، ۱۴(۲): ۱۷۷-۱۵۵.
- شیراوند، هنگامه و هاشمی، محمدناصر. (۱۳۹۵). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر امنیت ملی پایدار، کنفرانس ملی پدافند غیرعامل و توسعه پایدار.
- رضایان قبه باشی، احد؛ پور عزت، علی‌اصغر و حافظ نیا، محمدرضا. (۱۳۹۶). آینده‌پژوهی تهدیدهای نظامی امنیتی ناشی از تغییر اقلیم در ایران؛ با استفاده از روش چرخ آینده. *آینده‌پژوهی دفاعی*، ۲(۴): ۱۶۶-۱۴۱.
- عزیزی، قاسم و روشنی، محمود. (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۶۴: ۲۸-۱۳.
- کارآموز، محمود و عراقی‌نژاد، شهاب. (۱۳۹۹). *هیدرولوژی پیشرفته*، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).
- سلطانی، فخرالدین؛ فلاح نژاد، مرتضی و راشدی، یداله. (۱۴۰۱). شناسایی مهم‌ترین تغییرات اقلیمی مؤثر بر امنیت ملی ایران، *مطالعات علوم محیط‌زیست*، ۷(۱)، ۴۶۹۷-۴۷۰۵. <https://doi.org/10.22034/jess.2022.144658>
- کاواییان راد، مراد؛ طولابی نژاد، میثم و رضائی فرید. (۱۳۹۹). بازتاب تغییر اقلیم بر امنیت مرزی، *موردمطالعه: روستاهای مرزی ثلاث باباجانی. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۰(۵۷)، ۳۱۶-۲۹۷. <https://doi.org/10.29252/jgs.20.57.297>

References

- Amini, D., & Rezaei, H. (2023). Analysis of the effects of climate change on military activities in Isfahan province based on the Misnard index based on future research scenarios. *Journal of Military Science and Tactics*, 18(61), 5-26. <https://doi.org/10.22034/qjmst.2022.543615.1624> [In Persian].
- Azizi, G., & Roushani, M. (2008). Using Mann-Kendall Test to Recognize of Climate Change in Caspian Sea Southern Coasts. *Physical Geography Research*, 40(64), 13-28. [In Persian].
- Baaghdeh, M. R. & Sarvestan, R. (2019). Investigating the effect of climate parameters on the defensive performance of military forces (Case study: Khuzestan province). *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(110), 181-193. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.36622> [In Persian].
- Baldwin, E., McCord, P., Dell'Angelo, J., & Evans, T. (2018). Collective action in a polycentric water governance system. *Environmental Policy and Governance*, 28(4), 212-222. <https://doi.org/10.1002/eet.1810>
- Dalaei, H., Farajzadeh Asl, M., Gandomkar, A. & Nami, M. H. (2016). Analysis of Extreme Precipitation Indices in the Period 1981-2010 with Military Approach. *Defence Studies*, 14(2), 155-177. [In Persian].
- Eckstein, D., Hutfils, M.-L. & Wings, M. (2021). Infrastructure resilience in the face of climate change, *Global Environmental Change*, 68, 102234.
- Galloway, G. (2004). *Studies in military Geography and Geology. U.S. military. Academy*. west point. New York.
- Hanafi, A., Khoshal Dastjerdi, J., Alijani, B., & Fakhri, S. (2014). Evaluation and zoning of the defense climate status of the western half of the country using the defense climate index (DCI). *Journal of Police Geography*, 2(6), 27-56. [In Persian].
- Hanafi, A. (2014). Evaluation and Classification of Military Climatic Calendar of the Iran-Iraq Border Lines. *Military Management Quarterly*, 14(54), 155-178. [In Persian].

- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Kamyab, M., Kerachian, R. & Behboudian, M. (2024). Stakeholder-based management of ecosystem services in agricultural areas: Integrating the leader-follower game and a conflict resolution model. *Journal of Environmental Management*, 330, 123073. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123073>
- Karamooz, M., & Araghi-Nejad, Sh. (2019). *Advanced Hydrology*. Tehran: Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic) Publications. [In Persian].
- Kaviani Rad, M., toulabi nejad, M., & rezaei, F. (2020). Climate change reflects on security of the border villages, case study: Salas Babajani border villages. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*. 20(57), 297-316. <https://doi.org/10.29252/jgs.20.57.297> [In Persian].
- Kendall, M.G. (1970). *Rank Correlation Methods*, 2nd Ed., New York: Hafner
- Lee, H., Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P., ... & Park, Y. (2023). IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. *IPCC, Geneva, Switzerland*.
- Llasat, M. C. (2001). An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features: application to rainfall intensity in the northeast of Spain. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(11), 1385-1400. <https://doi.org/10.1002/joc.692>
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons, pp. 147-149.
- Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
- Mitryasova, O., Koszelnik, P., Gruca-Rokosz, R., Smyrnov, V., Smyrnova, S., Kida, M., Ziembowicz, S., Bezsonov, Y. & Mats, A. (2021). Environmental and Geochemical Parameters of Bottom-Sediment from the Southern Bug Estuary. *Journal of Ecological Engineering*, 22(2), 244-255. <https://doi.org/10.12911/22998993/131120>
- Naser, B., Osanloo, A., & Amini, D. (2021). *Water, Crime and Police Security in Iran*. First edition, Tehran: Amin University of Police Sciences.
- Pilcher, J. J., Nadler, E., & Busch, C. (2002). Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. *Ergonomics*, 45(10), 682-698. doi: [10.1080/00140130210158419](https://doi.org/10.1080/00140130210158419).
- Ramírez, M. C., Ferreira, N. J., & Velho, H. F. C. (2006). Linear and nonlinear statistical downscaling for rainfall forecasting over southeastern Brazil. *Weather and forecasting*, 21(6), 969-989. DOI: <https://doi.org/10.1175/WAF981.1>
- Regens, J. L. (2024). Extreme Weather Risk to Military Operations in a Changing Climate. *The RUSI Journal*, 169(1-2), 34-45. <https://doi.org/10.1080/03071847.2024.2328059>
- Rezayan, A., Pourezat, A. & Hafeznia, M. R. (2017). Future Studies of Military-Security Threats Caused by Climate Change in Iran. Using the Future Wheel Method. *Defensive Future Studies*, 2(4), 141-166.
- Shiravand, H. & Hashemi, M.N. (2016, March). *Investigating the effects of climate change on sustainable national security*, National Conference on Passive Defense and Sustainable Development.. [In Persian].
- Sissenwine, N. (1951). *Climatic Extremes for Military Equipment*. Department of the Army, Office of the Quartermaster General, Research and Development Division, Environmental Protection Branch.
- Soltani, F., fallahnejad, M. & Rashedi, Y. (2022). Identifying the most important climate change affecting Iran's national security. *Journal of Environmental Science Studies*, 7(1), 4697-4705. <https://doi.org/10.22034/jess.2022.144658> [In Persian].
- Surgeon General Ministry of Defense. (2003). *Climatic Injuries in the Armed Forces: Prevention and and Treatment*. (2003). JSP539, No1. <https://aims2.llnl.gov/search/cmip6/>