



Effects of Mediterranean Teleconnection Indices on the Rainfall Oscillations in Major Watersheds of Iran

Mahdi Sedaghat^{1✉} | Hamid Nazaripour²

1. Corresponding Author, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. sedaghat.me@pnu.ac.ir

2. Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. h.nazaripour@gep.usb.ac.ir

Article Information

Research Paper

Vol: 16
No: 61
P: 222-240
Received: 2024-10-27
Revised: 2025-01-17
Accepted: 2025-01-29
Published: 2025-11-01

Keywords:

- *Teleconnection Indices*
- *Mediterranean Oscillation*
- *CACO*
- *Rainfall*
- *Iran*

Cite this Article:

Sedaghat, Mahdi., Nazaripour, Hamid (2025). Effects of Mediterranean Teleconnection Indices on the Rainfall Oscillations in Major Watersheds of Iran. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 16(61): 222-240.
doi: 10.22034/jargs.2025.485686.1156

Publisher: Hakim Sabzevari University

The Author(s) retain the copyright and full publishing rights



Abstract

Aim: Atmospheric teleconnections play an important role in the study of regional circulations and their effect on temperature or precipitation regimes. Therefore, the current study has investigated the relationship between Iran's 6 main watersheds' precipitation oscillation and the Mediterranean teleconnection indices (MTIs) to find a criterion for monitoring and predicting rainfall.

Materials & Methods: For this purpose, the 8th edition of GsMap rainfall data with a spatial resolution of 0.1* 0.1 has been used in Iran. Also, to calculate the MOI1, MOI2, WeMOI, and CACO values from the NCEP/NCAR reanalysis base sea level pressure data and the SaOI values from the ERA5 reanalysis base of the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) in reference points during the years 2000 to 2023 has been used. Statistical relationships were estimated using the Pearson correlation test.

Findings: Examining the internal correlation of the MTIs showed that the MOI1 and MOI2 indices, with a correlation coefficient (CC) of 0.9, had the highest correlation; the CACO index, with a CC of 0.58 and 0.56, respectively, had the most significant direct relationship with MOI2 and MOI1. Among the indices, CACO, MOI1, and MOI2 have played the most important role in the rainfall oscillation of Iran. Also, the western watershed has the most significant inverse correlation with MTI values.

Conclusion: Most of the significant relationships of MTIs with the time series of rainfall in Iran's watersheds have been of the inverse correlation type. It means that the positive phase of MTIs is associated with a decrease in rainfall in most of the main catchment basins, and vice versa, their negative phase has increased Iran's rainfall.

Innovation: Spring rainfall in the western, central, and northeastern basins of Iran shows the highest correlation with the indices CACO, MOI1, and MOI2. But contrary to expectation, winter rainfall has not presented a reliable and significant relationship with the MTIs.

Extended Abstract

1. Introduction

Climatic indices are recognized as key tools in assessing and predicting weather conditions and climate change. These indices are significant in analyzing patterns of atmospheric circulation and their impacts on regional and global weather conditions. The North Atlantic Oscillation (NAO) and Southern Oscillation (SO) related to El Niño (ENSO) are among the teleconnection indices that have been widely studied. These indices can assist in predicting rainfall and temperature in various regions, especially in the Middle East and Iran. Climate change and weather fluctuations, especially in sensitive areas like the Middle East, pose serious challenges to water resources and agriculture. In this context, Iran, as a country with high climatic diversity, faces numerous climate-related crises. Variations in rainfall and temperature changes in this country can have profound impacts on agriculture, water resources, and ecosystems.

Given the significance of rainfall in water resource management and agriculture, a better understanding of these relationships can contribute to improved water resource management and agricultural planning. Literature reviews have shown that global climatic fluctuations, particularly in the oceans and atmosphere, have significant impacts on rainfall patterns in Iran. For example, fluctuations in the North Atlantic Ocean and Southern Oscillation directly influence rainfall and temperature in Iran. Also, Mediterranean teleconnection indices are recognized as tools for examining and predicting climatic fluctuations in the Middle East.

This study aims to investigate the relationship between Mediterranean atmospheric teleconnection indices and rainfall fluctuations in Iran's major watersheds. This examination could help identify rainfall patterns and provide better predictions for water resource management in the country.

2. Materials and Methods

This research was conducted in the Eastern Mediterranean and the Middle East regions. To investigate the relationship between Iran's watersheds' rainfall fluctuations and teleconnection indices, GsMap rainfall data with a spatial resolution of 0.1° by 0.1° was utilized over the period from 2001 to 2022. The indices used include the Mediterranean Oscillation (MOI1 and MOI2), Western Mediterranean Oscillation (WeMOI), Sahara Oscillation Index (SaOI), and Central African-Caspian Oscillation (CACO). These indices were calculated and standardized based on sea level pressure data.

Pearson correlation tests were employed to analyze the relationships between the indices and the rainfall series. Additionally, multiple linear regression analyses were conducted to examine the impact of teleconnection indices on rainfall fluctuations in six major watersheds of Iran.

Data was collected from reputable global databases (NCEP/NCAR & ECMWF) and analyzed using statistical software. These analyses included examining temporal correlations between rainfall and teleconnection indices, as well as analyzing rainfall trends in different seasons of the year.

3. Results and Discussion

The results indicate that MOI1 and MOI2 indices have the highest correlation (0.9) with each other. Additionally, the CACO index shows the highest correlation with MOI1 and MOI2 indices, with correlation coefficients of 0.58 and 0.56, respectively. The rainfall in Iran's watersheds, particularly, correlates inversely with the CACO index, such that positive phases of these indices are associated with decreased rainfall, while negative phases are linked to increased rainfall.

In spring, rainfall in the western, central, and northeastern watersheds of Iran shows the highest correlation with CACO, MOI1, and MOI2 indices. In summer, the MOI2 index has a positive correlation with rainfall in the Persian Gulf-Oman Sea watershed, while in autumn, only the CACO index has a significant relationship with rainfall in the northeastern, southern, and western Caspian watersheds.

These findings highlight the importance of teleconnection indices in predicting rainfall in Iran and emphasize that MTI indices can explain only about 30% of the country's rainfall variability. Therefore, future studies should seek to explore the relationships between regional indices and other climatic factors and discover new indices for explaining climatic changes in the country.

4. Conclusions

This study demonstrates that Mediterranean atmospheric teleconnection indices can serve as useful tools for predicting rainfall in Iran. The results of this research emphasize that MTI indices can explain only

about 30% of the country's rainfall variability. Since rainfall is a crucial factor in water resource management and agriculture, a better understanding of the relationships between teleconnection indices and rainfall fluctuations can aid in improved water resource management and agricultural planning.

Furthermore, it is recommended that future research examine the impact of other climatic factors and new indices on rainfall fluctuations. This research could serve as a foundation for further studies on climate change and its impacts on water resources and agriculture in Iran.

5. Acknowledgment & Funding

The manuscript did not receive a grant from any organization.

6. Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



دانشگاه حکیم سبزواری

مطالعات خرفایی مناطق خشک



تأثیر نمایه‌های دورپیوندی مدیترانه بر نوسانات بارش در حوضه‌های آبریز ایران

مهدی صداقت^۱ , حمید نظرپور^۲

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. Sedaghat.me@pnu.ac.ir

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. h.nazaripour@gep.usb.ac.ir

چکیده

هدف: دور پیوندهای جوی نقش مهمی در مطالعه گردش‌های منطقه‌ای و تأثیر آن‌ها بر رژیم‌های دما یا بارش دارند؛ لذا پژوهش حاضر با هدف یافتن معیاری برای پایش و پیش آگاهی بارش، رابطه نوسانات بارش حوضه‌های آبریز اصلی کشور را با دورپیوندهای مدیترانه (MTIs) بررسی نموده است.

روش و داده: به این منظور از ویراست هشتم داده‌های بارش GsMap با تفکیک مکانی ۰/۱ در ۰/۱ در محدوده ایران استفاده شده است. همچنین برای محاسبه مقادیر نمایه‌های MOI1، MOI2، WeMOI و CACO از داده‌های فشار تراز دریا پایگاه تحلیل مجدد NCEP/NCAR و مقادیر نمایه SaOI از پایگاه تحلیل مجدد ERA5 مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های آب و هوای میان رده (ECMWF) در نقاط مرجع طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۳ استفاده شده است. روابط آماری با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون برآورد گردید.

یافته‌ها: بررسی همبستگی درونی نمایه‌های دورپیوند نشان داد که دو ورژن نمایه MOI با ضریب همبستگی ۰/۹ بالاترین همبستگی و نمایه CACO با ضریب همبستگی ۰/۵۸ و ۰/۵۶ بیشترین رابطه مستقیم معنادار را با دو ورژن نوسان مدیترانه داشته‌اند. از میان نمایه‌های دورپیوند به ترتیب CACO، MOI1 و MOI2 بیشترین نقش را در نوسانات بارش کشور ایران داشته‌اند. همچنین حوضه غرب بیشترین همبستگی معکوس معنادار را با مقادیر نمایه‌ها داشته است.

نتیجه‌گیری: بیشتر روابط معنادار MTIs با سری‌های زمانی بارش حوضه‌های آبریز کشور ایران از نوع همبستگی معکوس بوده است. این بدان معناست که فاز مثبت MTIs با کاهش میزان بارش اغلب حوضه‌های آبریز اصلی همراه بوده و بالعکس فاز منفی آن‌ها افزایش بارش را در ایران در پی داشته است.

نوآوری، کاربرد نتایج: بر اساس نتایج بارش فصل بهار در حوضه غرب، ایران مرکزی و شمال شرق بیشترین همبستگی را با نمایه‌های CACO، MOI1 و MOI2 نشان داده است. لیکن بارش فصل زمستان بر خلاف انتظار روابط چندانی قابل اتکا و معناداری با نمایه‌ها ارائه ننمود است.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره:	۱۶
دوره:	۶۱
صفحه:	۲۲۲-۲۴۰
تاریخ دریافت:	۱۴۰۳/۰۸/۰۶
تاریخ ویرایش:	۱۴۰۳/۱۰/۲۸
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۳/۱۱/۱۰
تاریخ انتشار:	۱۴۰۴/۰۸/۱۰

کلیدواژه‌ها:

- نمایه دورپیوند
- نوسان مدیترانه
- CACO
- بارش
- ایران

نحوه ارجاع به این مقاله:

صداقت، مهدی، نظری پور، حمید (۱۴۰۴). تأثیر نمایه‌های دورپیوندی مدیترانه بر نوسانات بارش در حوضه‌های آبریز. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۶(۶۱): ۲۲۲-۲۴۰.

doi:10.22034/jargs.2025.485686.1156

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



نویسندگان حق نشر و حقوق انتشار کامل را حفظ می‌کنند.

۱- مقدمه

نمایه‌های اقلیمی برای ارزیابی پایدار آب و هوا حیاتی هستند (Kenney et al., 2020)، به‌ویژه نمایه‌های گردش عمومی هوا نقش عمده‌ای در تعیین شرایط آب و هوای منطقه‌ای و جهانی دارند (Hasanean et al., 2023). نوسان اقیانوس اطلس شمالی (NAO¹)، تقریباً صد سال پیش به عنوان اولین الگوی دور پیوند معرفی گردیده است (Stephenson et al., 2003). این نمایه به همراه نوسان جنوبی (SO²) مرتبط با ال نینو (ENSO³)، به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (e.g., Rogers, 1984; Sadhuram & Wells 1999; Luo & Yamagata 2001; Bronnimann, 2007; Barnston et al., 2012; Alizadeh-Choozari & Adibi, 2019; Alizade, 2024). آزمایشگاه علوم فیزیکی اداره ملی جو و اقیانوس (NOAA⁴) فهرست جامعی از نمایه‌های اقلیمی دور پیوند، مراجع، محدوده فعالیت و نحوه محاسبه آن‌ها ارائه نموده است.^۵

نمایه‌های اقلیمی از دیدگاه‌های مختلفی همچون؛ کاربردها، پارامترهای مورد استفاده، منطقه جغرافیایی و غیره قابل طبقه‌بندی هستند. برای مثال می‌توان آن‌ها را به دو دسته نمایه‌های ایستگاهی و نمایه‌های دور پیوند طبقه‌بندی نمود. دور پیوندهای جوی اغلب برای توصیف و مطالعه گردش‌های جهانی یا منطقه‌ای و تأثیر آن‌ها بر رژیم‌های دما یا بارش استفاده می‌شوند (Kutiel & Helfman, 2004). به طور کلی دور پیوند به ارتباط ناهنجاری‌های آب و هوایی نامرتب در فواصل دور اشاره دارد (Liu, & Alexander, 2007).

بسیاری از دور پیوندها در عرض‌های جغرافیایی بالای نیمکره شمالی شناسایی شده‌اند (Yin, 1999). به لحاظ منطقه جغرافیایی می‌توان دور پیوندها را به نمایه‌های اقلیمی اقیانوس آرام، اقیانوس اطلس، اقیانوس هند، مدیترانه و غیره طبقه‌بندی نمود. در این رابطه احمدی و همکاران نمایه‌های پیوند از دور را به عناوین جهانی، منطقه‌ای و غیره طبقه‌بندی نموده‌اند. ایشان با ارائه رویکرد نوین مدل آماری-ارتباطی (TSM)؛^۶ پیش‌بینی دمای محلی ایران را با استفاده از نمایه‌های منطقه‌ای و پیش‌بینی بارش را با استفاده از نمایه‌های جهانی دقیق‌تر از سایر نمایه‌ها ارزیابی کرده‌اند (Ahmadi et al., 2022). این نتیجه را رزمجو و همکاران (۱۳۹۹) نیز اظهار داشته‌اند که نمایه‌های پیوند از دور همچون نوسان اقیانوس اطلس شمالی (NAO) همبستگی قابل اتکایی با تغییرپذیری بارش در بخش اعظم ایران نشان نداده است (Razmjo et al., 2020).

از طرفی تجزیه و تحلیل رابطه ناهنجاری‌های مقادیر حدی بارش روزانه با هشت نمایه جوی (AMO⁹، PDO⁸، SOI⁷، NAO)،^{۱۰} NCP^{۱۱}، DMI^{۱۲}، WeMO^{۱۳}، SSN^{۱۳})، حاکی از نقش قابل توجه عوامل اقلیمی مقیاس بزرگ در رفتار غیرعادی حداکثر بارش در ایران بوده است که از فصلی به فصل دیگر متفاوت هستند (Tabari & Willems, 2016). همچنین تجزیه و تحلیل حساسیت آب و هوای منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA^{۱۴}) نسبت به روند نمایه‌های نوسانات جنوبی ال نینو، نوسانات اقیانوس اطلس شمالی و موسمی تابستانی هند (ISM^{۱۵}) حکایت از پاسخ‌های دمایی و بارشی منطقه‌ای قابل توجه ENSO، NAO، و ISM داشته است (Dogar & Sato, 2018).

دیگر دور پیوند جهان شمول، الگوی شرق اطلس - غرب روسیه (EA/WR^{۱۶}) است که اروپا و آسیا را در طول سال، به ویژه فصول سرد، تحت تأثیر قرار می‌دهد. این نمایه اولین بار توسط بارنستون و لایوزی با به‌هنجار سازی ارتفاع تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بین شرق اطلس شمالی و غرب روسیه مطرح گردید (Barnston & Livezey, 1987). لیم تأثیر دور پیوند EA/WR در اقیانوس اطلس شمالی بر آب و هوا و ارتباط آن با انتشار موج راسبی را مطالعه نموده است. وی با تأکید بر تأثیر اقلیمی این الگو از شرق آمریکای شمالی تا اوراسیا بیان داشته است که فاز مثبت EA/WR با ناهنجاری‌های منفی بارش در شرق کانادا، اروپای غربی و منطقه مدیترانه همراه بوده و ارتباط نزدیکی با انتشار موج راسبی دارد (Lim, 2015). همچنین مقصودی فلاح و همکاران با بررسی اثر الگوی این دور پیوند بر وردایی کم‌بسامد وردسپهر در جنوب غرب آسیا (Maghsoudi-Fallah et al., 2016) و فنایی و همکاران با مطالعه اثر این دور پیوند

1. North Atlantic Oscillation
2. Southern Oscillation
3. El Niño-Southern Oscillation
4. National Oceanic and Atmospheric Administration
5. <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>
6. Teleconnectional Statistical Model
7. Southern Oscillation Index
8. Pacific Decadal Oscillation

9. Atlantic Multidecadal Oscillation
10. North Sea Caspian Pattern
11. Monthly Dipole Mode Index
12. Western Mediterranean Oscillation
13. Sunspot Number
14. Middle East and North Africa
15. Indian Summer Monsoon
16. East Atlantic - Western Russia

بر تبادلات انرژی چرخندها در منطقه مدیترانه و جنوب غرب آسیا، به نقش قابل توجه نوسانات این نمایه بر آب‌وهوای خاورمیانه، به‌ویژه ایران تأکید کردند (Fanaei et al., 2019).

استفاده ترکیبی از نمایه‌های اقلیمی می‌تواند دورپیوندهای هیدروکلیمی را بهتر اثبات کند. به نحوی که رضایی بیان داشت ترکیبی از سه نمایه ENSO، PDO و NAO، قوی‌ترین انسجام را با خشک‌سالی‌های ایران نشان داده است (Rezaei, 2021). بررسی روابط بین ۲۰ سیگنال اقلیمی در مقیاس بزرگ و تغییرپذیری بارش ایران طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۸، با استفاده از تحلیل انسجام موجک (WCA¹) توسط جوائشیری و همکاران نشان داده است که اختلاف فاز بین سیگنال‌های بارش ماهانه و اقلیم از نظر زمان و تناوب بسیار متغیر بوده و در دهه‌های اخیر، انسجام بین سیگنال‌های اقلیمی و بارش در مقیاس بزرگ کاهش یافته است (Javanshiri et al., 2023). این انسجام ناپایدار در مقیاس سالانه نیز پدیدار شده است. مطالعه اثر همزمان نمایه‌های پیوند از دور NAO و AMO بر تغییرپذیری دما و بارش شهرستان‌های مجاور سیلان توسط زینالی و فروتن نشان داده است که تنها دمای ماه‌های خرداد و مهر و بارش بهمن ماه ایستگاه اردبیل با نمایه NAO و دمای دی ماه ایستگاه هریس با نمایه AMO رابطه معنادار داشته‌اند (Frotan & Zeynali, 2023).

بررسی ارتباط بین بارش‌های فصلی ایران و دمای پهنه‌های آبی منطقه‌ای نشان داده است که پس از اقیانوس هند دومین کانون تغییر بر روی دریای مدیترانه واقع شده است (Rasuli et al., 2011). با تأکید بر تأثیرات فراساحلی متغیر دمای سطح آب (SST²) آمینی و همکاران تأثیر نوسانات ماهانه دمای سطح آب دریای مدیترانه را بر تغییرات بارش ماهانه ایستگاه‌های شمال غرب ایران بررسی نمودند (Amini et al., 2017). در این پژوهش بین SST و افزایش بارش ماه آوریل رابطه مثبت معناداری به دست آمده است.

در محدوده دریای مدیترانه اولین گروه نمایه‌ها همچون؛ نمایه نوسان مدیترانه (MOI³) با هدف پایش اقلیمی کل حوضه مدیترانه، دومین گروه؛ از جمله؛ نمایه نوسان مدیترانه غربی (WeMOI⁴) و نمایه نوسان صحرا (SaOI⁵) بر حوضه مدیترانه غربی و سومین گروه دورپیوندها همچون؛ الگوی دریای شمال-خزر (NCP)، الگوی مدیترانه شرقی (EMP⁶) و الگوی آفریقای مرکزی-خزر (CACO⁷) بر حوضه مدیترانه شرقی متمرکز شده‌اند. برخی از این نمایه‌ها (همچون؛ MOI، WeMOI، SaOI و CACO) برآمده از الگوهای ترازهای زیرین و برخی (همچون؛ NCP و EMP) مستخرج از الگوهای ترازهای بالای اتمسفر هستند.

بررسی رابطه بین MOI و ۲۵ سری بارش همگن در شام جنوبی طی سال‌های ۱۹۶۰-۱۹۹۳ با استفاده از تجزیه و تحلیل تابع متعامد تجربی (EOF⁸)، همستگی قابل توجهی را در دسامبر تا فوریه نشان داده است (Törmros, 2013). در این تحقیق بارش زمستانی با فازهای مثبت MOI و کم‌فشارهای قبرس همراه بوده است. همچنین برازش توزیع گاما به بارش ماهانه نشان داد که در فازهای منفی MOI، احتمال بارش زمستانی بالاتر از میانگین ۲۲ درصد بوده؛ لیکن در طی فازهای مثبت MOI، این احتمال بسیار بالاتر و در حدود ۵۹ درصد است.

در این زمینه لموس کائواس تغییرات در مقادیر حدی پیچیده‌ی بارش و دمای ماهانه حوضه مدیترانه و ارتباط آن‌ها با الگوهای هشت نمایه دور پیوند، از جمله MOI و WeMOI را بررسی نمودند (Lemus-Canovas, 2022). وی بیان داشت که فاز مثبت MOI باعث رخداد ماه‌های خشک و گرم در حوضه مدیترانه غربی و مشاهده مناطق شدیداً مرطوب و سرد در بخش جنوب شرقی حوضه مدیترانه می‌شود. استفاده از WeMOI در تفکیک روزانه ابزار مفیدی برای کمک به پیش‌بینی دوره‌های بارش سیل‌آسا در شرق شبه جزیره ایبری بوده است (Arbiol-Roca, 2020). باستین و همکاران با در نظر گرفتن آستانه‌های بارش سیل‌آسای بالاتر از ۲۰۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت و آستانه ۲- برای فاز منفی شدید WeMOI به نتایج مشابهی دست یافتند (Bustins et al, 2020).

خمسی و همکاران با هدف ارزیابی رابطه بین گردش جوی و غلظت PM10⁹ در کازابلانکا و مراکش بر اساس اندازه‌گیری‌های روزانه از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ اقدام به طراحی نمایه SaOI نمودند (Khamsi et al, 2020). سری زمانی حاصل این نمایه آب و هوایی نشان‌دهنده نوسان کم‌فشار صحرا و پرفشار آژور است. نتایج این تحقیق رابطه بین MO و میانگین غلظت PM10 را روشن نموده و نشان داد که آلودگی ذرات در منطقه مورد مطالعه تا حدی ناشی از جریان قاره‌ای شمال شرقی به جنوب غربی است که توسط ناه صحرای ایجاد شده و تحت تأثیر

1. Wavelet Coherence Analysis
2. Sea Surface Temperature
3. Mediterranean Oscillation Index
4. Western Mediterranean Oscillation index
5. Saharan Oscillation Index

6. Eastern Mediterranean index
7. Central African - Caspian Oscillation
8. Empirical Orthogonal Functions
9. Particulate Matter 10 micrometers or less in diameter

پرفشار آزور در شمال قرار می‌گیرد. همچنین تحلیل SaOI و همبستگی آن با سایر نمایه‌های اقلیمی با استفاده از داده‌های آب و هوایی بلندمدت از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۲۲ درجات مختلفی از همبستگی را با ENSO، MOI، NAO در فصول مختلف نشان داده است. الگوهای دورپیوند تراز بالای اتمسفر مدیترانه شرقی که عمدتاً در ترازهای ۳۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال مشاهده شده‌اند شامل الگوی دریای شمال-خزر (Kutiel et al., 2002; Kutiel & Türkes, 2005) و الگوی مدیترانه شرقی (Hatzaki et al., 2007) هستند. الگوی NCP که از اختلاف میانگین فشار نرمال شده تراز hpa500 در دریای شمال (۰ درجه شرقی، ۵۵ درجه شمالی و ۱۰ درجه شرقی، ۵۵ درجه شمالی) و خزر شمالی (۵۰ درجه شرقی، ۴۵ درجه شمالی و ۶۰ درجه شرقی، ۴۵ درجه شمالی) محاسبه شده است (Kutiel & Benaroch, 2002). بررسی‌های دارند و رحمانی نشان داده است که نمایه دریای شمال-خزر به همراه دو نمایه SOI و EA-WR نقش پررنگتری در بارش فصل پاییز استان کردستان داشته‌اند (Daran & Rahmani, 2018). با این تفاوت که SOI ارتباط معکوس و دو نمایه NCP و EA-WR ارتباط مستقیمی با بارش در فصل سرد سال داشته‌اند.

همچنین نمایه دورپیوند بین شرق مدیترانه و شمال شرقی اقیانوس اطلس به عنوان حالتی مستقل از گردش فوقانی (در سطوح ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال) در زمستان، با عنوان الگوی EMP شناسایی شده است (Hatzaki et al., 2007). فاز مثبت EMP با کاهش دما و افزایش بارندگی همراه است، در حالی که فاز منفی EMP در طول سال با بیشترین فراوانی در فصل زمستان غالب است. مطالعات بیشتر هتزاکی و همکاران نشان داد که EMP در آینده با روند معکوس بین دو فاز به تأثیرگذاری بر اقلیم منطقه‌ای مدیترانه شرقی تحت شرایط جهانی گرم‌تر ادامه می‌دهد (Hatzaki et al., 2009). مطالعه اندرکنش نوسان مدیترانه شرقی بر تغییرات زمانی بارش غرب ایران نشان داده است که بارش در ایستگاه‌های نیمه جنوبی غرب ایران در فاز مثبت EMP از ۵ تا ۴۱ میلیمتر افزایش و در فاز منفی از ۴ تا ۲۰ میلیمتر کاهش داشته است (Basati & Yarahmadi, 2017). این در حالی است که نیمه شمالی غرب ایران برعکس نیمه جنوبی در فاز مثبت با کاهش بارش و در فاز منفی با افزایش بارش تا حداکثر ۸ میلیمتر روبه‌رو بوده است. در مجموع تأثیر EMP بر بارش غرب ایران در فصل بهار ضعیف‌تر از فصل زمستان بوده که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نسبت به تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال بیشتر خود را نشان داده است.

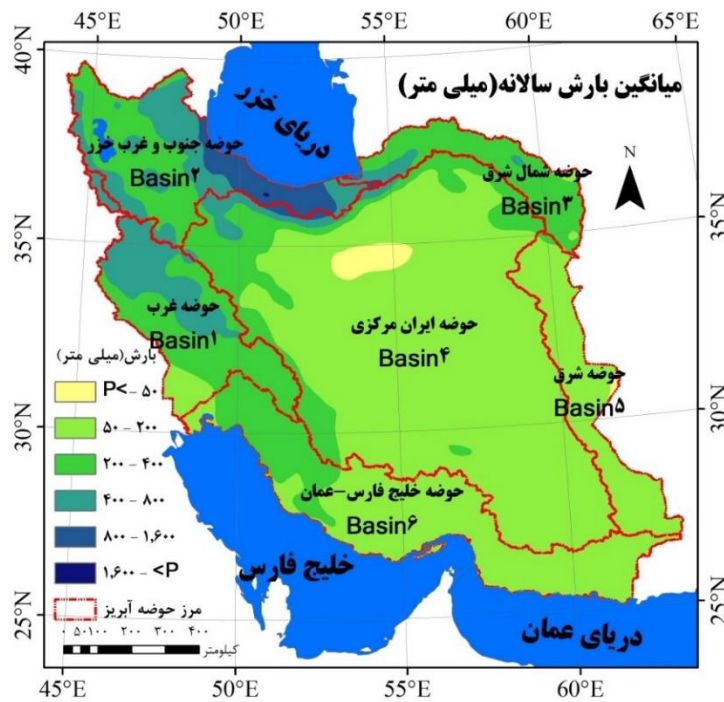
تغییر در الگوی بارشی کشور ایران تحت تأثیر تغییر در برخی از الگوهای دورپیوندی است. به گونه‌ای که مقادیر پایین برخی شاخص‌ها نظیر الگوهای پیوند از دور در اقیانوس اطلس و اسکاندیناوی سبب کاهش بارش و بالا رفتن نمایه‌های اقیانوس آرام منجر به افزایش بارش میانگین کشور شده است (Farajzadeh et al., 2013). در این زمینه نمایه‌ای مبتنی بر داده‌های تراز زیرین اتمسفر تحت عنوان نوسان آفریقای مرکزی-خزر با هدف بررسی تأثیر بر رژیم‌های آب و هوایی منطقه دریای سرخ معرفی گردید (Kutiel & Helfman, 2004). سلیقه و همکاران بین نوسانات CACO و سری زمانی بارش فصل پاییز سواحل جنوبی دریای خزر رابطه معکوس معناداری یافتند (Saligheh et al., 2016). برآورد رابطه معنی‌دار و مستقیم بین بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر با الگوی پیوند از دور دریای شمال-خزر، حاکی از افزایش بارش در فاز مثبت این الگو و کاهش بارش در فاز منفی آن است. بیشترین میزان همبستگی ماهانه در بین ایستگاه‌ها با ۰/۵۵۵ در ماه دسامبر بوده است (Ghavidel Rahimi et al., 2013). در پژوهشی دیگر از قویدل و همکاران بین بارش پاییزی منطقه غرب و شمال غرب کشور با شاخص الگوی دورپیوند دریای شمال-خزر یک ضریب همبستگی متوسط معنادار ۰/۳۱ برای ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه نموده‌اند (Ghavidel Rahimi et al., 2014).

از آنجایی که تغییرات در گردش منطقه‌ای از علل اولیه تغییر در رژیم‌های دما و بارش مناطق اقلیمی است (Kutiel & Helfman, 2004)، به منظور بهبود مطالعات گذشته در محدوده کشور ایران، رابطه نمایه‌های دورپیوند مدیترانه (MTIs¹) با نوسانات زمانی بارش در شش حوضه آبریز کلان کشور جستجو شده است. کشور ایران با نزدیک به ۸۵ میلیون نفر جمعیت یکی از آسیب‌پذیرترین مناطق اقلیمی در خاورمیانه است که هر گونه تغییر در الگوهای گردش منطقه‌ای ممکن است تأثیر مهمی بر رژیم‌های بارش آن داشته باشد. از این رو، هدف مطالعه حاضر: الف) تشخیص روابط احتمالی مقادیر بارش با دورپیوندهای منطقه مدیترانه، ب) محاسبه روندهای سری‌های زمانی مرتبط و ج) تعیین رژیم‌های بارش مرتبط با فازهای مختلف دورپیوندها است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

مدیترانه شرقی و خاورمیانه (EMME¹) یک منطقه بسیار حساس به تغییرات اقلیمی است که با افزایش فراوانی و شدت خشکسالی و شرایط آب و هوایی گرم همراه است (Lelieveld et al., 2012). آب و هوای مدیترانه‌ای با زمستان‌های بارانی و تابستان‌های خشک مشخص می‌شود (Lopez- Martin-Vide & Lopez-Bustins, 2006; García & Barriopedro, 2018) که با ویژگی‌های رژیم بارش اغلب مناطق ایران همخوانی دارد. لیکن با وجود فصلی بودن بارندگی و دریافت بیش از ۵۰ درصد از کل بارش سالانه در زمستان هیچ یک از مطالعات تعیین رژیم‌های بارش ایران (Masodian, 2005; Razi, 2017; Asakereh et al., 2024) به صراحت بر مدیترانه‌ای بودن آن تأکید نکرده‌اند. با این حال برخی محققین به نقش دریای مدیترانه به عنوان یکی از کنترل‌کننده‌های منطقه‌ای اقلیم ایران تأکید داشته‌اند (Heydarizad et al., 2018; Sabziparvar et al., 2015). در تحقیق حاضر با هدف بررسی رابطه نمایه‌های دور پیوند منطقه مدیترانه با نوسان بارش ایران از ویراست هشتم داده‌های بارش GsMap با تفکیک مکانی ۰/۱ در ۰/۱ طی بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ (Kubota et al., 2022) در ۶ حوضه آبریز اصلی کشور استفاده شده است (شکل ۱). پایگاه GSMaP² در برآورد بارش روزانه در سطح ایران نسبت به سایر پایگاه‌های داده عملکرد بهتری نشان داده است (Farokhnia et al., 2024).



شکل ۱. میانگین بارش سالیانه در حوضه‌های آبریز ۶ گانه ایران

۲-۲- روش پژوهش

در کار حاضر برای بررسی رابطه نوسانات بارش ایران با نمایه‌های دور پیوند مدیترانه (MTIs) از ۵ نمایه MOI1، MOI2، MOI، WeMOI، SaOI و CACO استفاده شده است (شکل ۲). نمایه MOI1 توسط کونته و همکاران (Conte et al., 1989) و پالوتیکوف و همکاران (Palutikof et al., 1996)، به عنوان اختلاف فشار نرمال شده بین الجزایر (۳۶.۴ درجه شمالی، ۳.۱ درجه شرقی) و قاهره (۳۰.۱ درجه شمالی، ۳۱.۴ درجه شرقی) بر اساس رابطه (۱) معرفی گردید. نسخه دوم این نمایه (MOI2) اما از اختلاف فشار مابین مرز شمالی جبل الطارق (در ۳۶.۱ درجه عرض شمالی، ۵.۳ درجه طول شرقی) و فرودگاه لود (در ۳۲.۰ درجه شمالی، ۳۴.۵ درجه شرقی) و به وسیله رابطه (۲) محاسبه گردید (Palutikof et al., 2003).

رابطه ۱: $MOI1 = SLP \text{ in Algiers} - SLP \text{ in Cairo}$

رابطه ۲: $MOI2 = SLP \text{ in Gibraltar's Northern Frontier} - SLP \text{ in Lod Airport}$

$$Z_i = \frac{MOI \text{ Index}_i - \overline{MOI \text{ Index}}}{\sigma}$$

سپس مقادیر نمایه‌ها استانداردسازی می‌شود:

نمایه سوم با عنوان WeMOI توسط مارتین واید و لویز باستینز (Martin-Vide & Lopez-Bustins, 2006) معرفی شده است که از تفاوت مقادیر استاندارد شده فشار اتمسفر سطحی در سن فرناندو (اسپانیا) و پادوا (ایتالیا) از طریق رابطه (۳) به دست می‌آید. نمایه WeMOI حاصل از یک دوقطبی است که در فاز مثبت آن یک فرابار بر فراز آزرور و یک فروبار روی لیگوریا تشکیل می‌شود. چهارمین نمایه مورد استفاده در تحقیق حاضر SaOI است که توسط خمسی و همکاران (Khomsi et al., 2020) در غالب تفاوت بین فشارهای نرمال شده در آزرور (۳۷.۷۹ درجه شمالی، -۲۵.۵ درجه شرقی) و نیامی (۱۳.۵۱ درجه شمالی، ۲.۱۰ درجه شرقی) تعریف شده و از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.

رابطه ۳: $WeMOI = SLP \text{ in Cadiz} - SLP \text{ in Padua}$

رابطه ۴: $SaOI = SLP \text{ in Azores} - SLP \text{ in Niamey}$

$$Z_i = \frac{WeMOI \text{ or } SaOI_i - \overline{WeMOI \text{ or } SaOI}}{\sigma}$$

سپس مقادیر نمایه‌ها استانداردسازی می‌شود:

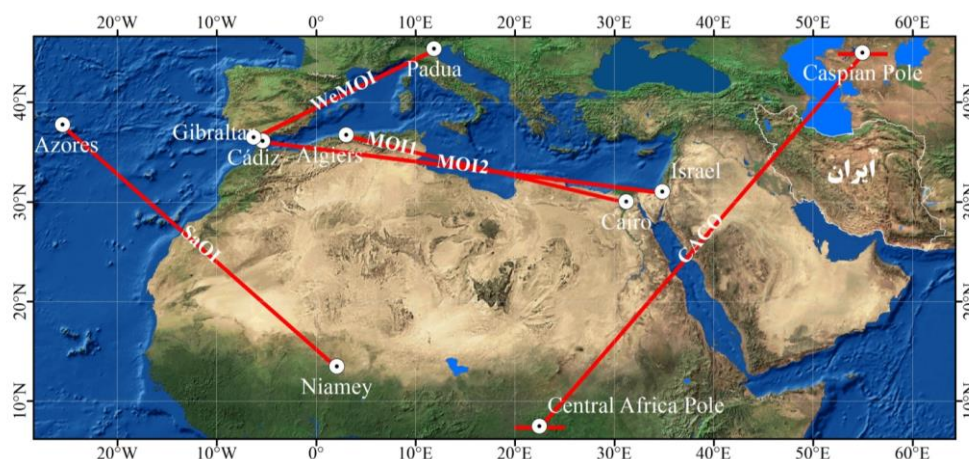
پنجمین نمایه استفاده شده در این تحقیق CACO است. این نمایه از اختلاف نرمال شده میانگین SLP^1 مابین دو قطب آفریقای مرکزی و ضلع شمال شرقی دریای خزر محاسبه می‌شود (رابطه ۵).

رابطه ۵: $CACOIndex = CAP - CP$

$$Z_i = \frac{CACOIndex_i - \overline{CACOIndex}}{\sigma}$$

سپس مقادیر نمایه استانداردسازی می‌شود:

فاز منفی این دورپیوند زمانی است که: $Z_i < -0.5$ باشد. به طور مشابه فاز مثبت آن با $Z_i > 0.5$ تعریف شده و شرایط خنثی زمانی رخ می‌دهد که $-0.5 < Z_i < 0.5$ باشد.



شکل ۲. موقعیت دورپیوندهای اقلیمی مدیترانه‌ای

در ادامه بعد از محاسبه مقادیر نمایه‌های MOI1، MOI2، WeMOI و CACO از پایگاه تحلیل مجدد NCEP²/NCAR³ و مقادیر نمایه SaOI از پایگاه تحلیل مجدد ERA5 مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های آب و هوای میان‌رده (ECMWF⁴) با استفاده از داده‌های فشار تراز دریا در نقاط مرجع به صورت روزانه طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۳، روابط آماری با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون برآورد گردید.

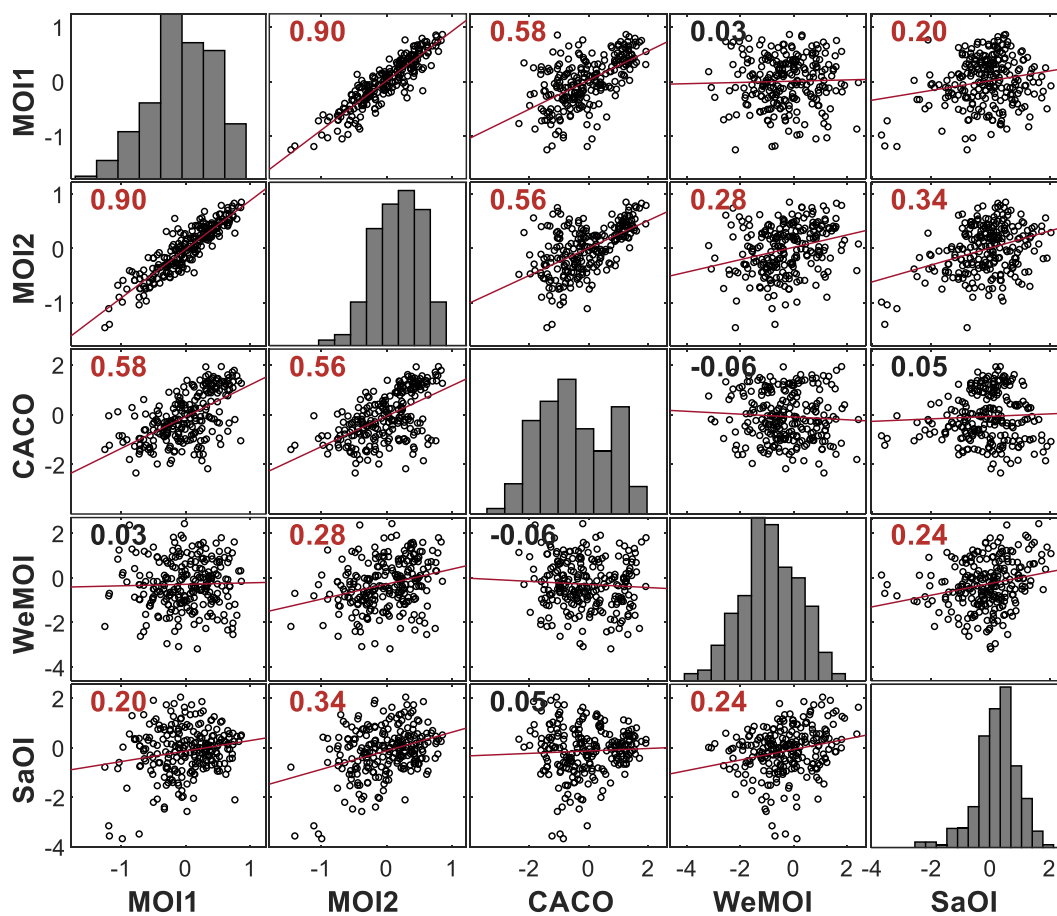
1. Sea Level Pressure
2. Centers for Environmental Prediction
3. National Centre for Atmospheric Research

4. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

۳- یافته‌ها

۳-۱- روابط نمایه‌های دور پیوند

بررسی رابطه نمایه‌های دور پیوند مدیترانه نشان داد که دو نسخه ۱ و ۲ نمایه MOI با یکدیگر بیشترین همبستگی (۰/۹) را دارند (شکل ۳). پس از آن نمایه CACO با نمایه‌های MOI1 و MOI2 به ترتیب با ضرایب ۰/۵۸ و ۰/۵۶ بیشترین همبستگی مستقیم را نشان داده است. همچنین نمایه SaOI با نمایه‌های MOI1 و MOI2 به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۳۴ و ۰/۲۰ رابطه نسبتاً معناداری را داشته است. نمایه WeMOI نیز با ورژن دوم نوسان مدیترانه و نمایه SaOI به ترتیب با ضرایب همبستگی ضعیف ۰/۲۸ و ۰/۲۴ رابطه نسبتاً معناداری داشته است. نخست آن که اغلب روابط نمایه‌ها با یکدیگر مستقیم با ضرایب همبستگی مثبت بوده است. دوم آن که به غیر از روابط سه نمایه ابتدایی MOI1، MOI2 و CACO سایر روابط نمایه‌ها با وجود معناداری ضرایب همبستگی از دیدگاه اقلیمی چندان قابل توجه نیستند. نکته دیگر آن که نمایه CACO با هیچ یک از نمایه‌های حوضه غربی مدیترانه رابطه معناداری نشان نداده است.



شکل ۳. ضرایب همبستگی (پیرسون) بین نمایه‌های دور پیوند تراز زیرین جو مدیترانه‌ای

۳-۲- رابطه نمایه‌ها با بارش حوضه‌های آبریز ایران

از بین ۶ حوضه آبریز کلان کشور سری زمانی بارش حوضه غرب کشور (Basin1) با سه نمایه CACO، MOI1 و MOI2 به ترتیب با ضرایب همبستگی منفی: ۰/۵۶، ۰/۴۰ و ۰/۳۸ بالاترین رابطه را نمایش داده است (جدول ۱). بعد از آن سری زمانی بارش حوضه ایران مرکزی (Basin4) به همان ترتیب و با ضرایب همبستگی: ۰/۴۵، ۰/۳۹ و ۰/۳۶ روابط معکوس معناداری را با سه نمایه CACO، MOI1 و MOI2 داشته است. بارش حوضه شرق ایران (Basin5) همین روابط را یا ضرایب همبستگی معکوس (۰/۳۲، ۰/۲۶ و ۰/۱۶) با سه نمایه مذکور داشته که علی‌رغم معناداری چندان قابل توجه نیستند. به طور کلی سری زمانی بارش کل ایران

(GPM¹_Iran) با سه نمایه CACO، MOI1 و MOI2 به ترتیب با ضرایب همبستگی منفی ۰/۵۳، ۰/۴۱ و ۰/۳۸ روابط معکوس معناداری داشته است.

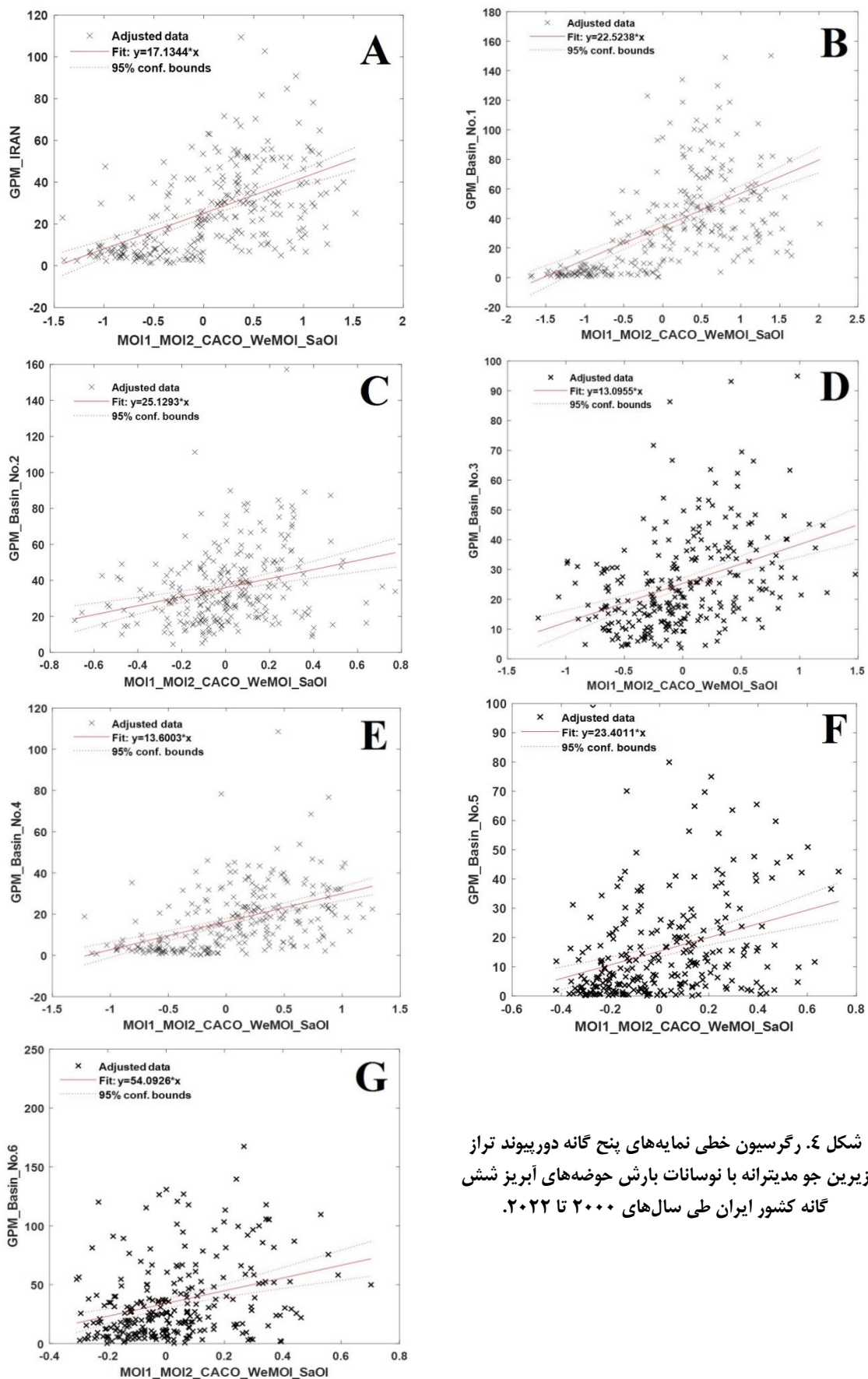
بارش حوضه آبریز جنوب و غرب خزر (Basin2) بیشترین ضرایب همبستگی معکوس معنادار (۰/۲۵، ۰/۲۰ و ۰/۱۸) را به ترتیب با نمایه‌های MOI2، SaOI و MOI1 داشته است. این در حالی است که بارش حوضه آبریز شمال شرق ایران (Basin3) واقع در شرق خزر بیشترین ضرایب همبستگی معکوس معنادار (۰/۳۲، ۰/۳۲ و ۰/۱۳) را به ترتیب با نمایه‌های MOI1، MOI2 و WeMOI نشان داده است. البته از دیدگاه اقلیمی با وجود معناداری این روابط چندان قابل تکیه نیست. بارش حوضه خلیج فارس و دریای عمان (Basin6) تنها با نمایه CACO با ضریب همبستگی منفی ۰/۲۹ رابطه نسبتاً معناداری را نشان داده است.

نکات آن که سری‌های زمانی بارش حوضه‌های آبریز کشور ایران با نمایه CACO بالاترین ضرایب همبستگی را ارائه نموده‌اند. همچنین نتایج گویای رابطه معکوس بارش ایران با نوسانات نمایه‌ها است. این بدان معناست که فاز مثبت نمایه‌ها با کاهش بارش در ایران و فاز منفی آن‌ها با افزایش بارش همراه بوده است. نکته آخر آن که از دو نمایه متناسب به غرب مدیترانه (WeMOI و SaOI) هیچ یک روابط چندان قابل تکیه‌ای با بارش حوضه‌های آبریز ایران ارائه ننموده‌اند.

جدول ۱. ضرایب همبستگی مابین نمایه‌های دور پیوند تراز زیرین جو مدیترانه‌ای و نوسانات بارش حوضه‌های ایران

	MOI1	MOI2	CACO	WeMOI	SaOI
GPM_Iran کل ایران	-0.41 0.00	-0.38 0.00	-0.53 0.00	-0.05 0.44	0.01 0.99
GPM_Basin1 حوضه غرب	-0.40 0.00	-0.38 0.00	-0.56 0.00	0.005 0.94	-0.05 0.42
GPM_Basin2 حوضه جنوب و غرب خزر	-0.18 0.00	-0.25 0.00	-0.04 0.54	-0.12 0.07	-0.2 0.00
GPM_Basin3 حوضه شمال شرق	-0.32 0.00	-0.32 0.00	-0.12 0.07	-0.13 0.04	0.08 0.24
GPM_Basin4 حوضه ایران مرکزی	-0.39 0.00	-0.36 0.00	-0.45 0.00	-0.08 0.19	0.03 0.69
GPM_Basin5 حوضه شرق	-0.26 0.00	-0.16 0.01	-0.32 0.00	0.08 0.25	0.1 0.09
GPM_Basin6 حوضه خلیج فارس - عمان	-0.13 0.04	-0.05 0.38	-0.29 0.00	0.02 0.79	0.08 0.17

در ادامه جهت بررسی اثرات نمایه‌های دور پیوند مدیترانه‌ای (MTIs) بر بارش کل ایران و شش حوضه آبریز آن از رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شده است. متغیرهای مستقل شامل نمایه‌های پنج‌گانه دور پیوند تراز زیرین مدیترانه‌ای یک چهارم (۲۶٪) از بارش کل گستره ایران را تبیین می‌کنند. نمایه‌های پنج‌گانه دور پیوند تراز زیرین مدیترانه‌ای ۳۰٪ از نوسانات بارش در حوضه آبریز غرب ایران را تبیین می‌کنند. حوضه آبریز غرب ایران بیشترین تأثیر را در بین حوضه‌های آبریز از نمایه‌های دور پیوند تراز زیرین مدیترانه‌ای داشته است. این نمایه‌های دور پیوند تنها یک پنجم (۲۰٪) از نوسانات بارش در حوضه آبریز ایران مرکزی و ۱۵٪ از نوسانات بارش در حوضه آبریز شمال شرق ایران را تبیین می‌کنند. در نهایت، نمایه‌های دور پیوند تراز زیرین مدیترانه‌ای در تبیین مقدار بارش هریک از حوضه‌های آبریز جنوب و جنوب غرب خزر، حوضه شرق و حوضه خلیج فارس و دریای عمان کمتر از ۱۰٪ مشارکت دارند (جدول ۲). معادلات رگرسیون خطی نمایه‌های دور پیوند تراز زیرین مدیترانه‌ای و بارش کل ایران و شش حوضه آبریز آن در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴. رگرسیون خطی نمایه‌های پنج گانه دور پیوند تراز زیرین جو مدیترانه با نوسانات بارش حوضه‌های آبریز شش گانه کشور ایران طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲.

جدول ۲. مدل رگرسیونی تأثیر نوسان نمایه‌های دور پیوند تراز زیرین مدیترانه‌ای بر نوسانات بارش ایران

	RMSE	F-value	R-squared	Adjusted R-Squared	df	P-value
GPM_Iran	18.3	19.2	0.271	0.257	258	0.000
GPM_Basin1	28	23.6	0.32	0.30	258	0.000
GPM_Basin2	19.6	4.95	0.08	0.07	258	0.000
GPM_Basin3	14.7	9.77	0.16	0.14	258	0.000
GPM_Basin4	13.7	14.7	0.22	0.20	258	0.000
GPM_Basin5	16.7	6.15	0.10	0.09	258	0.000
GPM_Basin6	33.2	5.08	0.08	0.07	258	0.000

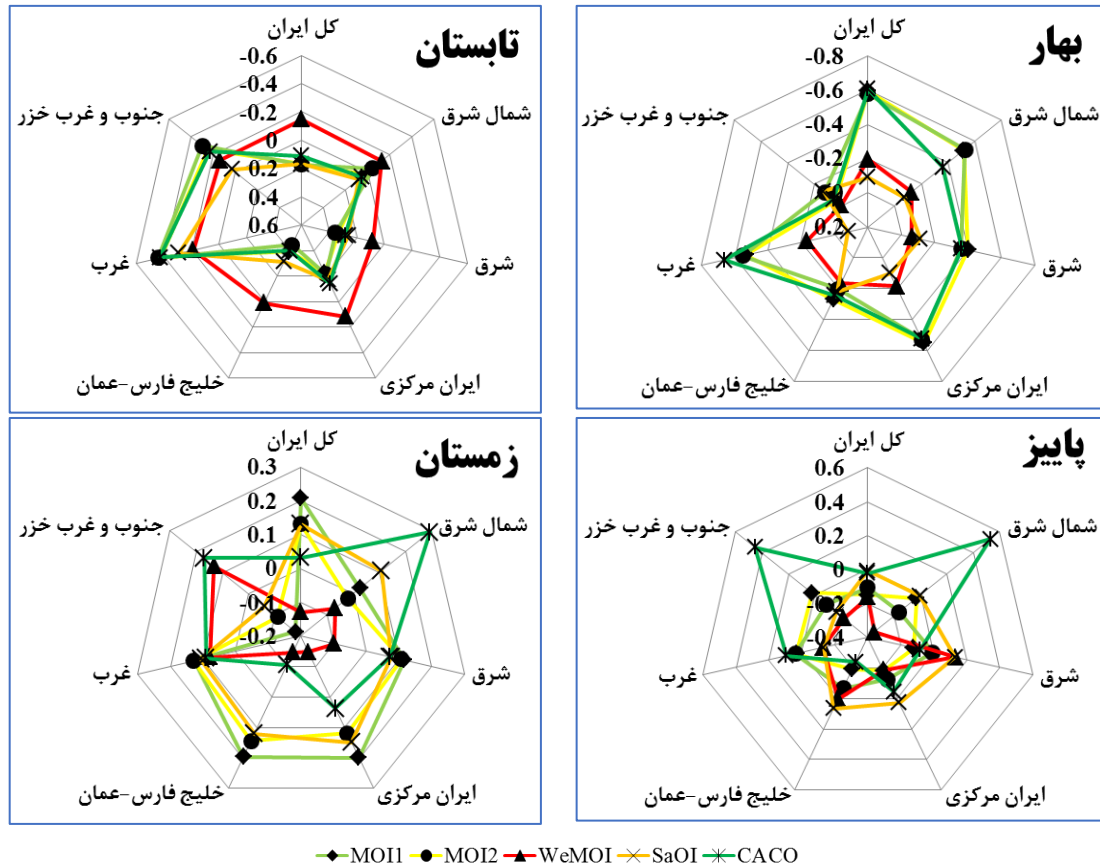
۳-۳- رابطه نمایه‌ها با بارش فصلی حوضه‌های آبریز ایران

ارزیابی رابطه سری زمانی فصلی بارش حوضه‌های آبریز کشور ایران با نمایه‌های دور پیوند پنج گانه اتمسفر مدیترانه نشان داد که بالاترین ضرایب همبستگی در فصل بهار و با نمایه‌های CACO، MOI1 و MOI2 مشاهده شده است (شکل ۵). روند تغییرات این سه نمایه با ضرایب همبستگی‌های معکوس بالاتر از ۰/۴ تقریباً با بارش تمامی حوضه‌های آبریز کشور ایران در فصل بهار رابطه کاملاً معناداری داشته‌اند. برای مثال سری زمانی بارش حوضه غرب و کل ایران با نمایه CACO در فصل بهار به ترتیب با ضرایب منفی ۰/۶۵ و ۰/۶ همبستگی معکوس معنادار داشته است (شکل ۵). سری زمانی بارش کل کشور ایران نیز با نمایه‌های برآورد شده در فصل بهار همبستگی‌های منفی معنادار بالایی با نمایه‌های سه‌گانه CACO، MOI1 و MOI2 داشته است. تنها بارش حوضه آبریز جنوب و غرب خزر است که در فصل بهار با هیچ‌یک از نمایه‌ها رابطه معناداری نداشته است. همچنین دو نمایه WeMOI و SaOI با بارش هیچ‌یک از حوضه‌های آبریز کشور در فصل بهار رابطه معناداری نداشته‌اند.

بررسی ضرایب همبستگی به دست آمده مربوط به فصل تابستان با نمایه‌های دور پیوند نشان داد که حداکثر ضرایب در حدود $\pm 0/45$ است. در فصل تابستان بالاترین ضرایب همبستگی به ترتیب اولویت با نمایه‌های MOI2، CACO و MOI1 بوده است. برای مثال نمایه MOI2 با بارش حوضه آبریز خلیج فارس- دریای عمان در فصل تابستان با همبستگی مثبت ۰/۴۵ و با بارش حوضه غرب کشور همبستگی منفی ۰/۴۵ روابط کاملاً معناداری ارائه نموده است (شکل ۵). تابستان). در این فصل نمایه SaOI همبستگی‌های نسبتاً معناداری با بارش حوضه‌های خلیج فارس- عمان، غرب و شرق ارائه نموده است. لیکن نمایه WeMOI همچنان کمترین روابط را با بارش حوضه‌های آبریز کشور ارائه داده است. به دلیل این که میزان بارش فصل تابستان در مقادیر تجمعی بارش سالانه بخش اعظم حوضه‌های آبریز کشور نقش چندانی ندارد سری زمانی بارش کل کشور در این فصل با هیچ‌یک از نمایه‌ها رابطه معناداری نداشته است.

در فصل پاییز تنها نمایه دور پیوند CACO با سری زمانی بارش حوضه‌های آبریز شمال شرق و جنوب و غرب خزر به ترتیب با ضرایب همبستگی مثبت ۰/۵۳ و ۰/۴۵ روابط معناداری داشته است (شکل ۵). این یافته مبین آن است که بیشینه بارشی فصل پاییز ناحیه خزری (Asakereh & Varnaseri, 2021) با فاز مثبت نمایه CACO ارتباط مستقیم دارد. در مقابل بارش پاییزه حوضه شمال شرق ایران با نمایه WeMOI یک همبستگی منفی معنادار با ضریب ۰/۳۵ نیز ارائه داده است.

در نهایت بررسی ضرایب همبستگی سری‌های زمان بارش فصل زمستان حوضه‌های آبریز اصلی کشور با نمایه‌های پنج‌گانه نشان داد که بر خلاف تصور غالب تنها رابطه نسبتاً معنادار با ضریب همبستگی (مثبت ۰/۲۹) در این فصل مربوط به نمایه CACO با بارش حوضه آبریز شمال شرق کشور است (شکل ۵). زمستان). علی‌رغم معناداری نسبی این همبستگی به لحاظ اقلیمی چندان قابل توجه نیست.



شکل ۵. ضرایب همبستگی پیرسونی نمایه‌های پنج گانه دور پیوندی اتمسفر مدیترانه با تغییرات فصلی بارش حوضه‌های آبریز اصلی کشور ایران طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با فرض دانستن نقش دریای مدیترانه به عنوان یکی از کنترل‌کننده‌های اقلیم کشور ایران و با هدف یافتن معیاری برای پیش و پیش آگاهی بارش، رابطه نوسانات بارش حوضه‌های آبریز اصلی کشور را با نمایه‌های دور پیوندی اتمسفر مدیترانه بررسی نموده است. در این زمینه، بعد از استخراج همبستگی‌های سری‌های زمانی ماهیانه و فصلی بارش ۶ حوضه آبریز اصلی با نوسانات ۵ نمایه دور پیوندی MOI1، MOI2، WeMOI، SaOI و CACO در مقیاس‌های زمانی مربوطه به تبیین نقش هر یک از نمایه‌ها در کنترل اقلیم بارشی کشور اقدام شد. بررسی همبستگی درونی نمایه‌های دور پیوندی نشان داد که بعد از همبستگی بالای (با ضریب $0/9$) دو ورژن متفاوت از نمایه نوسان مدیترانه (MOI1 و MOI2)، نمایه CACO بیشترین رابطه (با ضرایب همبستگی $0/58$ و $0/56$) را به ترتیب با MOI1 و MOI2 دارد. این در حالی است که نمایه SaOI نیز همبستگی‌های نسبتاً ضعیف‌تر ولی معناداری با نمایه‌های MOI1 و MOI2 به ترتیب با ضرایب همبستگی $0/34$ و $0/20$ ارائه داده است. نمایه WeMOI تنها با نمایه MOI2 با ضریب همبستگی $0/28$ رابطه معناداری داشته است. تمامی این روابط از نوع همبستگی مستقیم بوده است.

در مقابل اغلب روابط معنادار نمایه‌های پنج‌گانه با سری‌های زمانی بارش بیشتر حوضه‌های آبریز کشور ایران از نوع همبستگی معکوس بوده است. این بدان معناست که فاز مثبت نمایه‌های MTIs با کاهش میزان بارش اغلب حوضه‌های آبریز اصلی همراه بوده و بالعکس فاز منفی MTIs، افزایش بارش را در ایران در پی داشته است. از میان نمایه‌های دور پیوندی به ترتیب CACO، MOI1 و MOI2 بیشترین نقش را در نوسانات بارش کشور ایران داشته‌اند. همچنین از میان سری‌های زمانی نوسانات بارش حوضه‌های آبریز ۶ گانه کشور، حوضه غرب بیشترین همبستگی معکوس معنادار را با تغییرات نمایه‌های ذکر شده داشته است. ثانی خانی نتایج مشابهی را در مطالعه ارتباط الگوی پیوند از دور MOI با بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب ایران ارائه نموده است (Sanikhani et al., 2022). پس از آن حوضه‌های آبریز ایران مرکزی و شرق کشور در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. این سه حوضه

آبریز در یک کریدور بارشی (مسیر بارش) قرار داشته و تأثیرپذیری آن‌ها از الگوهای دورپیوند تراز زیرین مدیترانه‌ای همسان است. میزان تبیین نوسانات بارش این حوضه‌ها در نتیجه نوسانات نمایه‌های دورپیوند تراز زیرین مدیترانه‌ای نیز از جنوب غرب به شمال شرق کاهش یافته است.

بررسی رابطه نوسانات نمایه‌ها با تغییرات سری‌های زمانی بارش حوضه‌های آبریز در مقیاس فصلی نشان داد که بارش فصل بهار در حوضه‌های غرب، ایران مرکزی و شمال شرق بیشترین همبستگی را با نمایه‌های CACO، MOI1 و MOI2 داشته است. بر خلاف انتظار بارش فصل زمستان و سپس فصل پاییز روابط چندان قابل اتکا و معناداری با این نمایه‌ها ارائه ننموده‌اند. صلاحی و بهروزی نیز با بررسی روابط الگوی دریای شمال-خزر با بارش‌های استان اردبیل در مقیاس فصلی، ارتباطی بین آنها شناسایی نکرده‌اند (Salahi & Behrouzi, 2022). تنها نمایه CACO در فصل پاییز با بارش در حوضه‌های جنوب و غرب خزر و شمال شرق کشور رابطه معناداری آن هم از نوع مستقیم داشته که قابل تأمل است. در نهایت این مطالعه نشان داد که نمایه‌های MTIs در بهترین حالت قادر به تبیین کمی بیش از ۳۰ درصد بارش کشور هستند؛ لذا تلاش برای یافتن ارتباط نمایه‌های منطقه‌ای با سایر عناصر اقلیمی ایران و کشف نمایه‌های نوین برای تبیین تغییرات اقلیمی کشور بلاخص اقلیم بارشی پیشنهاد می‌گردد.

۵- سپاس‌گزاری

نویسندگان از حمایت‌های معنوی دانشگاه پیام‌نور و دانشگاه سیستان و بلوچستان کمال تشکر و قدردانی را دارند.

۶- فهرست منابع

- امینی، میترا، براتی، غلامرضا، شکیبیا، علیرضا، مرادی، محمد، کریمپور، مصطفی. (۱۳۹۶). تأثیر نوسانات ماهانه دمای آب دریای مدیترانه بر نوسان ماهانه بارش‌های شمال غرب ایران. پژوهش‌های دانش زمین، ۸(۳)، ۲۸-۴۱.
- بساطی، سعید، یاراحمدی، داریوش. (۲۰۱۷). اندرکنش نوسان مدیترانه شرقی بر تغییرات زمانی بارش غرب ایران. فضای جغرافیایی، ۱۷(۵۹)، ۲۸۹-۳۰۹.
- ثانی خانی، هادی. (۱۴۰۱). تحلیل زمانی-مکانی بارش و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه). نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۳(۱)، ۳۴۷-۳۶۸.
- دارند، محمد، رحمانی، هاید. (۲۰۱۸). واکاوی نقش شاخص‌های پیوند از دور اقلیمی بر بارش استان کردستان. فضای جغرافیایی، ۱۸(۶۳)، ۲۷۲-۲۴۹.
- رزمجو، سمیرا؛ محمودی، پیمان و امیر جهانشاهی، سید مهدی. (۱۳۹۹). بررسی ارتباط بین شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) با خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران در دو مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۱(۴۲)، ۱۷۶-۱۶۹.
- رسولی، علی‌اکبر، بابائیان، ایمان، قائمی، هوشنگ، زواررضا، پیمان. (۱۳۹۰). ارتباط بین بارش‌های فصلی ایران و دمای پهنه‌های آبی منطقه‌ای. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۳۹۰(۵)، ۷۰-۹۲.
- رضیعی، طیب. (۱۳۹۶). شناسایی رژیم‌های بارشی ایران با استفاده از روش‌های چند متغیره. فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۳)، ۶۷۳-۶۹۵.
- سلیقه محمد، ناصرزاده محمدحسین، چهره آرا ضیابری، تهمینه. (۱۳۹۵). بررسی رابطه شاخص‌های NCPI و CACO با بارش‌های فراگیر پاییز، سواحل خزر جنوبی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۶(۴۳): ۲۱۷-۲۳۸.
- صلاحی، برومند و بهروزی، محمود. (۱۴۰۱). بررسی ارتباط الگوی پیوند از دور دریای شمال-خزر با بارش‌های ایران (مطالعه موردی: استان اردبیل). پژوهش‌های دانش زمین، ۱۳(۲)، ۱-۲۰.
- عساکره، حسین، ورناصری قندعلی، نسرین. (۱۴۰۰). شناسایی رژیم بارش ناحیه خزری. آب و خاک، ۳۵(۳)، ۴۴۵-۴۵۹.
- فرج‌زاده اصل، منوچهر، احمدی، محمد، علیجانی، بهلول، قویدل رحیمی، یوسف، مفیدی، عباس، بابائیان، ایمان. (۱۳۹۲). بررسی وردابی الگوهای پیوند از دور و اثر آن بر بارش ایران. پژوهش اقلیم‌شناسی، ۴(۱۵ و ۱۶)، ۴۵-۳۱.
- فرخ نیا، اشکان، انوری، صدیقه، نجفی، محمدسعید. (۱۴۰۳). ارزیابی دقت پایگاه‌های اطلاعات ماهواره‌ای و بازتحلیلی بارش در ایران با تمرکز بر پایگاه‌های با تفکیک مکانی بالا. تحقیقات منابع آب ایران، ۲۰(۱)، ۸۹-۶۸.
- فروتن، مهدی، زینالی، بتول. (۱۴۰۲). اثر همزمانی شاخص‌های پیوند از دور NAO و AMO بر تغییرپذیری دما و بارش شهرستان‌های مجاور سیلان. مطالعات علوم محیط زیست، ۸(۱)، ۵۸۵۷-۵۸۶۸.

- فناپی، سید حامد، احمدی گیوی، فرهنگ، محب‌الحجه. (۲۰۱۹). بررسی اثر ژتیک اثر دور پیوند شرق اطلس / غرب روسیه (EA/WR) بر منطقه مدیترانه و جنوب غرب آسیا. فیزیک زمین و فضا، ۴۵(۳)، ۶۴۵-۶۶۶.
- قوبدل رحیمی یوسف، حاتمی زرنه داریوش، رضایی محمد (۱۳۹۲). نقش الگوی پیوند از دور جو بالای دریای شمال - مازندران در تغییرات زمانی بارش سواحل جنوبی دریای خزر، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳ (۳۱)، ۲۹-۴۶.
- قوبدل رحیمی، یوسف، فرج زاده، منوچهر و کاکاپور، سعید. (۱۳۹۳). بررسی اثر الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر بر نوسانات بارش‌های پاییزی مناطق غرب و شمال غرب ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۸(۴۹)، ۲۱۷-۲۳۰.
- مسعودیان، سیدابوالفضل. (۱۳۸۴). شناسایی رژیم‌های بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای. پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۷(۵۲)، ۴۷-۵۹.
- مقصودی فلاح، مهبیار، احمدی گیوی، فرهنگ، محب‌الحجه، نصراصفهان‌ای. (۲۰۱۶). اثر الگوی دور پیوند شرق اطلس - غرب روسیه (EA-WR) بر وردایی کم‌سامد و ردسپهر در جنوب غرب آسیا. مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۰(۳)، ۲۵-۳۹.

References

- Ahmadi, M., Kamangar, M., Salimi, S., Hosseini, S. A., Khamoushian, Y., Heidari, S., ... & Yarmoradi, Z. (2022). A new approach in evaluation impacts of teleconnection indices on temperature and precipitation in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(1), 15-33. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04138-w>
- Alizadeh, O. (2024). A review of ENSO teleconnections at present and under future global warming. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 15(1), e861. <https://doi.org/10.1002/wcc.861>
- Alizadeh-Chooabari, O., & Adibi, P. (2019). Impacts of large-scale teleconnections on climate variability over Southwest Asia. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 86, 41-51. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2019.02.001>
- Amini, M., Barati, Gh., Shakiba, A., Moradi, M., & Karampour, M. (2017). the impact of monthly fluctuations Mediterranean sea surface temperature in the fluctuations of monthly precipitation northwest Iran. *Researches in Earth Sciences*, 8(3), 28-41. DOR: 20.1001.1.20088299.1396.8.3.3.5 [In Persian]
- Arbiol-Roca, L. (2020, May). Torrential rainfall prediction: WeMOTool. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 8549). DOI:10.5194/egusphere-egu2020-8549
- Asakereh, H., & Varnasari, N. (2021). Identifying the Precipitation Regime of the Iranian Coast of Caspian Sea. *Water and Soil*, 35(3), 445-459. doi: 10.22067/jsw.2021.67063.0 [In Persian]
- Asakereh, H., Masoodian, S. A., & Tarkarani, F. (2024). Identification of Iran's precipitation regimes. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(1), 273-288. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04631-w>
- Barnston, A. G., & Livezey, R. E. (1987). Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly weather review*, 115(6), 1083-1126. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1083:CSAPOL>2.0.CO;2)
- Barnston, A. G., Tippett, M. K., L'Heureux, M. L., Li, S., & DeWitt, D. G. (2012). Skill of real-time seasonal ENSO model predictions during 2002-11: Is our capability increasing?. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(5), 631-651. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00111.1>
- Basati, S., & Yarahmadi, D. (2017). Teleconnection pattern, Eastern Mediterranean Oscillation(emo), Precipitation, West of Iran. *Jurnal of Geographical Space*, 17(59), 289-309. URL: <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-1865-fa.html> [In Persian]
- Brönnimann, S. (2007). Impact of El Niño-southern oscillation on European climate. *Reviews of Geophysics*, 45(3). <https://doi.org/10.1029/2006RG000199>
- Conte, M., Giuffrida, A., and Tedesco, S. (1989) The Mediterranean Oscillation. Impact on precipitation and hydrology in Italy. *Publications of the Academy of Finland, Helsinki*
- Darand, M., & Rahmani, H. (2018). Analysis the Impact of Climatic Signals on Kurdistan Precipitation. *Jurnal of Geographical Space*, 18(63), 249-272. URL: <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2755-fa.html> [In Persian]
- Dogar, M. M., & Sato, T. (2018). Analysis of climate trends and leading modes of climate variability for MENA region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(23), 13-074. <https://doi.org/10.1029/2018JD029003>
- Fanaei, S. H., Ahmadi-Givi, F., & Mohebalhojeh, A. R. (2019). An energetic investigation of the impact of the Eastern Atlantic/ Western Russia (EA /WR) pattern on the Mediterranean and Southwest Asia

- regions. *Journal of the Earth and Space Physics*, 45(3), 645-666. doi: 10.22059/jesphys.2019.281118.1007117 [In Persian]
- Farajzadeh, M., Ahmadi, M., Alijani, B., Qavidel Rahimi, Y., Mofidi, A. and Babaeian, I. (2013). Study on Variation of Major Teleconnection Patterns (MTP) associated with Iran's Precipitation. *Journal of Climate Research*, 1392(15), 31-45. [In Persian]
- Farokhnia, A., Anvari, S., & Najafi, M. S. (2024). Assessing the Accuracy of Satellite and Reanalysis Precipitation in Iran, Focusing on Datasets with High Spatial Resolution. *Iran-Water Resources Research*, 20(1), 68-89. doi: 10.22034/iwrr.2024.442656.2741 [In Persian]
- Frotan, M., & Zeynali, B. (2023). Simultaneous effect of NAO and AMO remote bonding indices on temperature and precipitation variability of cities adjacent to Sabalan. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(1), 5857-5868. doi: 10.22034/jess.2022.345519.1802 [In Persian]
- García-Herrera, R., & Barriopedro, D. (2018). Climate of the Mediterranean region. In *Oxford research encyclopedia of climate science*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.509>
- Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh Asl, M. and Kakapor, S. (2014). Investigation on North Sea-Caspian Teleconnection Pattern Effect on Autumn Rainfall Fluctuations in West and Northwest Regions of Iran. *Journal of Geography and Planning*, 18(49), 217-230. [In Persian]
- Ghavidel Rahimi, Y., Hatamizarne, D., Rezaei, M. (2013). Role of the remote teleconnection pattern between the North Sea—Caspian Sea, or North Sea-Mazandaran, in the temporal variability of precipitation along the southern coasts of the Caspian Sea. *Applied Geographical Sciences Research*, 13(31), 29-46. [In Persian]
- Hasanean, H. M., Almaashi, A. K., & Labban, A. H. (2023). Variability in global climatic circulation indices and its relationship. *Atmosphere*, 14(12), 1741. <https://doi.org/10.3390/atmos14121741>
- Hatzaki, M., Flocas, H. A., Asimakopoulos, D. N., & Maheras, P. (2007). The eastern Mediterranean teleconnection pattern: identification and definition. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(6), 727-737. DOI: 10.1002/joc.1429
- Hatzaki, M., Flocas, H. A., Giannakopoulos, C., & Maheras, P. (2009). The impact of the eastern Mediterranean teleconnection pattern on the Mediterranean climate. *Journal of Climate*, 22(4), 977-992. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2519.1>
- Heydarizad, M., Raeisi, E., Sori, R. & Gimeno, L. (2018) The identification of Iran's moisture sources using a Lagrangian particle dispersion model. *Atmosphere*, 9, 408. <https://doi.org/10.3390/atmos9100408>
- Javanshiri, Z., Babaeian, I., & Pakdaman, M. (2023). Influence of large-scale climate signals on the precipitation variability over Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 37(5), 1745-1762. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02363-3>
- Kenney, M. A., Janetos, A. C., & Gerst, M. D. (2020). A framework for national climate indicators. *Climatic Change*, 163, 1705-1718. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2307-y>
- Khomsii, K., Najmi, H., Chelhaoui, Y., & Souhaili, Z. (2020). The contribution of large-scale atmospheric patterns to pm10 pollution: The new saharan oscillation index. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(5), 1038-1047. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.08.0401>
- Kubota, T., Aonashi, K., Ushio, T., Shige, S., Takayabu, Y. N., Kachi, M., ... & Oki, R. (2020). Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) products in the GPM era. *Satellite Precipitation Measurement: Volume 1*, 355-373. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24568-9_20
- Kutiel, H., Türkes, M. (2005) New Evidence for The Role of The North Sea - Caspian Pattern on The Temperature and Precipitation Regimes in Continental Central Turkey. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 87:4 501-513. doi: 10.1111/j.0435-3676.2005.00274.x
- Kutiel, H. and Benaroch, Y. (2002) North Sea Caspian Pattern (NCP) - an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern Mediterranean: Identification and definition. *Theoretical and Applied Climatology* 71, 17-28. doi: 10.1007/s704-002-8205-x
- Kutiel, H., & Helfman, I. (2004). The impact of Central African-Caspian Oscillation (Caco) on climate regimes in the Red Sea region. *Horizons in Geography*/183-194 ,(60/61) .
- Kutiel, H., Maheras, P., Türkes, M., Paz, S. (2002) North Sea Caspian Pattern (NCP) - an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern Mediterranean: Implications on the regional climate. *Theoretical and Applied Climatology* 72, 173-192. doi: 10.1007/s00704-002-0674-8
- Lelieveld, J., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E., Chenoweth, J., El Maayar, M., Giannakopoulos, C., ... & Xoplaki, E. (2012). Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Climatic change*, 114, 667-687. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0418-4>
- Lemus-Canovas, M. (2022). Changes in compound monthly precipitation and temperature extremes and their relationship with teleconnection patterns in the Mediterranean. *Journal of Hydrology*, 608, 127580. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127580>

- Lim, Y. K. (2015). The East Atlantic/West Russia (EA/WR) teleconnection in the North Atlantic: climate impact and relation to Rossby wave propagation. *Climate dynamics*, 44, 3211-3222. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2381-4>
- Liu, Z., & Alexander, M. (2007). Atmospheric bridge, oceanic tunnel, and global climatic teleconnections. *Reviews of Geophysics*, 45(2) <https://doi.org/10.1029/2005RG000172>
- Lopez-Bustins, J. A., Arbiol-Roca, L., Martin-Vide, J., Barrera-Escoda, A., & Prohom, M. (2020). Intra-annual variability of the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) and occurrence of extreme torrential precipitation in Catalonia (NE Iberia). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(9), 2483-2501. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2483-2020>
- Luo, J. J., & Yamagata, T. (2001). Long-term El Niño-Southern Oscillation (ENSO)-like variation with special emphasis on the South Pacific. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C10), 22211-22227. <https://doi.org/10.1029/2000JC000471>
- Maghsoudi-Fallah, M., Ahmadi-Givi, F., Mohebalhojeh, A., & Nasr-Esfahany, M. (2016). The impact of the East Atlantic–West Russia (EA–WR) teleconnection pattern on tropospheric low-frequency variability in Southwest Asia. *Iranian Journal of Geophysics*, 10(3), 25-39. DOR: 20.1001.1.20080336.1395.10.3.3.2 **[In Persian]**
- Martin-Vide, J., & Lopez-Bustins, J. A. (2006). The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of climatology*, 26(11), 1455-1475.
- Masodian, M. (2005). Identification of Iran's precipitation regimes by cluster analysis method. *GEOGRAPHICAL RESEARCH QUARTERLY*, 37(52), 47-59. URL: https://jrg.ut.ac.ir/article_10033.html?lang=fa **[In Persian]**
- Palutikof, J.P. (2003) Analysis of Mediterranean climate data: measured and modelled. In: Bolle, H.J. (ed): *Mediterranean climate: Variability and trends*. Springer-Verlag, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55657-9_6
- Palutikof, J.P., Conte, M., Casimiro Mendes, J., Goodess, C.M., Espirito Santo, F. (1996) Climate and climate change. In: Brandt, C.J., Thornes, J.B., (eds) *Mediterranean desertification and land use*. John Wiley and Sons, London
- Rasuli, A. A., Babaeian, I., Ghaemi, H., & Zavar Reza, P. (2011). On the relationship between seasonal precipitation of Iran and Sea Surface Temperature of regional water bodies,. *Journal of Climate Research*, 1390(5), 70-92. URL:https://clima.irimo.ir/article_14118.html?lang=fa **[In Persian]**
- Raziei, T. (2017). Identification of precipitation regimes of Iran using multivariate methods. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43(3), 673-695. doi: 10.22059/jesphys.2017.60290 **[In Persian]**
- Razmjo, S., Mahmoudi, P., & Amir Jahanshahi, S. M. (2020). Study of the relationship between North Atlantic Oscillation (NAO) index and drought and wet years of Iran in station and regional scales. *Journal of Climate Research*, 1399(42), 169-176. URL: https://clima.irimo.ir/article_125203.html?lang=fa **[In Persian]**
- Rezaei, A. (2021). Ocean-atmosphere circulation controls on integrated meteorological and agricultural drought over Iran. *Journal of Hydrology*, 603, 126928. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126928>
- Rogers, J. C. (1984). The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the northern hemisphere. *Monthly Weather Review*, 112(10), 1999-2015. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1984\)112<1999:TABTNA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1984)112<1999:TABTNA>2.0.CO;2)
- Sabziparvar, A.A., Movahedi, S., Asakereh, H., Maryanaji, Z. & Masoodian, S.A. (2015) Geographical factors affecting variability of precipitation regime in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 120, 367–376. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1174-3>
- Sadhuram, Y., & Wells, N. C. (1999). Role of the Indian Ocean on the Southern Oscillation, atmospheric circulation indices and monsoon rainfall over India. <http://drs.nio.org/drs/handle/2264/1827>
- Salahi, B. and Behrouzi, M. (2022). Investigation of the relationship between the North-Caspian Sea pattern tele-connection and Iran's precipitation (case study: Ardabil province). *Researches in Earth Sciences*, 13(2), 1-20. doi: 10.48308/esrj.2022.101294 **[In Persian]**
- Saligheh, M., Nasserzadeh, M.H., & Chehrea-ziabari, T. (2016). Study of the relation between NCPI and CACO indices with autumn precipitation of Southern Coast of Caspian Sea. *Jgs*, 16 (43) :217-238. URL: <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2719-fa.html> **[In Persian]**
- Sanikhani, H. (2022). Spatiotemporal Analysis of Precipitation and its Relationship with Teleconnection Patterns (Case study: Urmia Lake basin). *Irrigation and Water Engineering*, 13(1), 347-368. doi: 10.22125/iwe.2022.158532 **[In Persian]**
- Stephenson, D. B., Wanner, H., Bronnimann, S., & Luterbacher, J. (2003). The history of scientific research on the North Atlantic Oscillation. *Geophysical monograph-American Geophysical Union*, 134, 37-50.

- Tabari, H., & Willems, P. (2016). Daily precipitation extremes in Iran: decadal anomalies and possible drivers. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 52(2), 541-559. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12403>
- Törnros, T. (2013). On the relationship between the Mediterranean Oscillation and winter precipitation in the Southern Levant. *Atmospheric Science Letters*, 14(4), 287-293. <https://doi.org/10.1002/asl2.450>
- Yin, Z. Y. (1999). Winter temperature anomalies of the north China plain and macroscale extratropical circulation patterns. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 19(3), 291-308. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19990315\)19:3<291::AID-JOC334>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19990315)19:3<291::AID-JOC334>3.0.CO;2-B)