



Impact Analysis of the Southern Oscillation Index (SOI) on Precipitation and Relative Humidity across Various Regions of Iran

Alireza Saadatmoghadasi¹ | Zahra Aghashariatmadari²

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, E-mail: saadatmoghadasi28@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, E-mail: zagha@ut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received: Nov. 10, 2024 Revised: Jan. 20, 2025 Accepted: Feb. 3, 2025 Published online: May. 2025 Keywords: Teleconnections, Different Climate Precipitation And Relative Humidity Synoptic Station.	The climate is the result of interactions between the atmosphere and the oceans, manifesting in phenomena such as landslides, extreme events. This study investigates the effects of the Southern Oscillation Index on two key variables: precipitation and relative humidity, across 21 principal synoptic stations in Iran over a 30-year period. Utilizing factor analysis alongside twelve teleconnection indices, this research aims to elucidate the intricate relationships between these climatic factors. Based on the correlation matrix derived from the factor analysis, the eigenvalue magnitudes and the percentage of variance elucidate the extent to which various teleconnection indices influence the simultaneous assessment of atmospheric components. The analysis revealed that the Southern Oscillation Index (SOI) exerts a more pronounced effect compared to other indices. Data were evaluated as three-month averages during the rainfall season, specifically from October to June. Notably, several stations exhibited no significant correlation with the index. The highest correlation was observed at the Shiraz station, with a correlation coefficient of 58%. The climatic characteristics of this region, particularly in its southern areas, represent another significant finding of this research. Although this region is predominantly influenced by the Indian monsoon and Mediterranean currents, the Southern Oscillation Index—resulting from the pressure differences at sea level between Tahiti and Darwin in the eastern and northern Pacific Ocean—also exerts a substantial impact on the precipitation and relative humidity of the area. It is recommended to consider the importance of climate change and one of its manifestations, global warming, in future researches, are considered.
Cite this article: Saadatmoghadasi, A., & Aghashariatmadari, Z., (2025) Impact Analysis of the Southern Oscillation Index (SOI) on Precipitation and Relative Humidity across Various Regions of Iran, <i>Iranian Journal of Soil and Water Research</i>, 56 (3), 665-684. https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.385089.669830 © The Author(s). Publisher: The University of Tehran Press. DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.385089.669830	



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The effects of teleconnection indices encompass a wide range of impacts, including their influence on the biogeochemical processes of vegetation. This involves employing various methodologies to investigate the relationships between precipitation and temperature in relation to these indices. Specific case studies have been conducted regarding precipitation variability across different regions of the country, such as Karaj. Furthermore, the analysis extends to the correlation between winter precipitation and teleconnection indices, the impacts of malaria mosquito pollution and its association with precipitation variables, as well as the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon and the Southern Oscillation Index (SOI). Additionally, the effects of teleconnections on both spatial and temporal humidity in various areas are examined, including the forecasting of winter precipitation along the Caspian Sea coast, particularly in relation to the SOI.

Materials and methods

The values of the Southern Oscillation Index (SOI), averaged on a quarterly basis from October to June for the period 1990-2020, were obtained from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) website (<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/soi>). Additionally, temperature and precipitation data from synoptic stations across the country were sourced from the National Meteorological Organization. The climatic characteristics and specifications of the studied stations are presented in Table 1.

Result and discussion

The sources of moisture, the mechanisms of moisture transport, and the factors influencing them across different seasons are critical aspects of precipitation and humidity in various regions of Iran. In this context, the role of teleconnection indices is particularly significant. Additionally, the influence of surrounding seas is undeniable. Among the stations examined, Shiraz exhibited the highest correlation with the Southern Oscillation, with a computed correlation of +58%. Located in southern Iran, Shiraz has a dry and semi-arid climate. Given its proximity to the Pacific Ocean, the effects of the Southern Oscillation are more pronounced in this region. The next station demonstrating the highest percentage of correlation with precipitation and relative humidity is Birjand, situated in northeastern Iran. Despite being predominantly influenced by Siberian cold currents and the Pacific Decadal Oscillation (PDO), the significant impact of the Southern Oscillation places this station second in terms of correlation.

Conclusion

Although the examination of the effects of teleconnection indices on components such as precipitation, temperature, and relative humidity significantly impacts various sectors, including agriculture, it is essential to acknowledge that this analysis possesses inherent complexities. In some instances, the results may be deemed unreliable due to the intricate nature of the climate and its interactions with the atmosphere and ocean, a phenomenon that is unavoidable given the dynamic nature of these systems.

In this study, the relationship between precipitation and relative humidity with the Southern Oscillation Index (SOI) was investigated. A total of 21 primary synoptic stations from different regions of the country were selected, and the quarterly averages of precipitation and relative humidity, along with the SOI, were analyzed from October to June. The impact of this index was evaluated concerning the occurrences of El Niño and La Niña phenomena at these synoptic stations, revealing that the highest correlation rates were reported from the Shiraz station, located in southern Iran.

In this region, the northern climate is mountainous, while the provincial center, the city of Shiraz, exhibits a Mediterranean to sub-Mediterranean climate. Conversely, its southern area is influenced by Indian monsoon currents, which are more pronounced in years when monsoonal activity exceeds normal levels. Given the extensive climatic diversity across Iran, many teleconnection indices exert direct and indirect effects on regional climates, manifesting even in stations with differing climatic characteristics.

Results varied notably along the western and eastern coasts of the Caspian Sea; for instance, on the eastern coast, particularly in the Golestan region, the correlation between precipitation and relative humidity with the Southern Oscillation was calculated at 38%, with mean squared error (MSE) and root mean squared error (RMSE) values of 58.6% and 88.23 millimeters, respectively. In contrast, the effects of the Southern Oscillation index on the western coast were less than 20%, largely attributed to the predominant influence of the North Atlantic Oscillation on the western Caspian shores compared to the eastern coast.

Authors' contributions

M. SaadatMoghaddasi: Gathering the experimental data, Data curation, Software; Methodology;

Investigation, Conceptualization, Methodology, Writing-Reviewing and Editing, Formal analysis, Analyzing the experimental data, *Z. Aghashariatmadari: Supervision, Investigation, Conceptualization, Methodology, Analyzing the experimental data, Validation, Visualization, Writing-Original draft preparation, Writing-Reviewing and Editing.

Data Availability Statement

Data available on request from the author.

Acknowledgements

The research was supported by the University of Tehran. The authors would like to express their special thanks to the vice chancellor for research affairs. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Ethical considerations

The author avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

All authors declare that they have no conflict of interest.

بررسی تاثیر شاخص نوسان جنوبی (SOI) بر بارش و رطوبت نسبی نقاط مختلف کشور ایران

علیرضا سعادت مقدسی^۱ | زهرا آقاشریعتمداری^۲^۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: saadatmoghadasi28@ut.ac.ir^۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: zagha@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	اقلیم حاصل واکش‌های جو و اقیانوس با یکدیگر است که به صورت سیل، رانش زمین، رویدادهای حدی یا فرین، خودنمایی می‌کند. شاخص‌های دورپیوندی از این دسته می‌باشند. در این پژوهش اثرات شاخص Southern Oscillation Index (SOI) بر دو مولفه بارش و رطوبت نسبی در ۲۱ ایستگاه سینوپتیک اصلی در کشور ایران در یک دوره ۳۰ ساله با استفاده از روش آنالیز تحلیل عاملی به همراه ۱۲ شاخص دور پیوندی و دو متغیر وابسته مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. با توجه به ماتریس همبستگی داده‌های آنالیز تحلیل عاملی، ارتباط بین اینکه کدام دور پیوندی اثر بیشتری را در بررسی همزمان مولفه‌های جوی دارد را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و مشخص شد نوسان جنوبی نقش بیشتری را نسبت به سایر شاخص‌ها داشته است. داده‌ها به صورت میانگین‌های سه ماهه ماه اکتبر تا ژوئن مد نظر قرار گرفته است. نتایج نشان دهنده تاثیر متفاوت شاخص نوسان جنوبی در ایستگاه‌های مختلف است. نتایج نشان داد که تعدادی از ایستگاه‌ها در نقاط مختلف رابطه معنی داری را با شاخص نشان ندادند. بالاترین میزان همبستگی شاخص با مولفه‌های بارش و رطوبت نسبی مربوط به ایستگاه شیراز و با میزان همبستگی ۵۸ درصد محاسبه شده است. اقلیم متفاوت این منطقه خصوصا در نواحی جنوبی آن از دیگر نتایج بارز این پژوهش است اگرچه این منطقه با تنوع آب وهوایی که دارد بیشتر تحت تاثیر جریانات موسمی هند و دریای مدیترانه است توصیه می‌گردد در پژوهش‌های آینده اهمیت تغییر اقلیم و یکی از جلوه‌های آن گرمایش جهانی مد نظر قرار گیرد.
واژه‌های کلیدی: شاخص دورپیوندی، تنوع اقلیم، بارش و رطوبت نسبی، ایستگاه سینوپتیک.	
استناد: سعادت مقدسی؛ علیرضا، آقاشریعتمداری؛ زهرا، (۱۴۰۴) بررسی تاثیر شاخص نوسان جنوبی (SOI) بر بارش و رطوبت نسبی نقاط مختلف کشور ایران، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۳)، ۶۸۴-۶۶۵ https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.385089.669830	
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.	© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.385089.669830	



مقدمه

اقلیم کره زمین حاصل برهم کنش پیچیده بین اقیانوسها و دریاها با جو زمین است رخداد پدیده‌های مختلف از جمله سیل، طوفان‌ها، و مواردی از این قبیل حاصل برهم کنش این دو یعنی اقیانوس و جو زمین است. دورپیوندی‌ها نقش عمده‌ی را در رخداد پدیده‌های ذکر شده در بالا خواهند داشت. پیوند از دور عبارت است از هماهنگی بین تغییرات زمانی دو نقطه دور از هم که عمدتاً برای تغییرات فشار و دما بکار می‌رود. در واقع همبستگی‌های هم زمان معنی دار بین نوسان‌های زمانی متغیرهای هواشناسی است که در نقاط وسیع و جدا از هم در سطح کره زمین رخ می‌دهد. فرآیندهایی که چگونگی رابطه تشکیل موج اول و امواج بعدی را بیان می‌کند. الگوهای پیوند از دور به وقوع و تداوم الگوهای بزرگ مقیاسی گفته می‌شود که مقیاسی از ناهنجاری‌های چرخشی و فشار هوا را تحت الشعاع خود قرار دهد، که الگوی وسیع را در مقیاس زمانی از چند هفته تا چند سال را در بر بگیرد. این الگوها در امواج جوی، رودبادهای و موقعیت آن‌ها، بارش، مسیر طوفان‌ها و عواملی از این قبیل اثر گذار است و سبب پیدایش الگوهای ناهنجار در مناطق دور دست خود خواهند شد. پس می‌توان پیوند از دور را یکی از کلیدهای پیش‌بینی‌های اقلیمی نامید. اثرات شاخص‌های دورپیوندی دامنه گسترده‌ای شامل تاثیر آن بر روی فرآیندهای بیوزیست محیطی گیاه، استفاده از روش‌های مختلف برای بررسی ارتباط بین بارش و دما با این شاخص‌ها، تا مطالعه موردی در خصوص متغیر بارش در مناطق مختلف کشور مانند کرج، بررسی ارتباط بارش‌های زمستانه با شاخص‌های دورپیوندی، اثرات آلودگی پشه مالاریا و ارتباط آن با متغیر بارش و پدیده انسو و نوسان جنوبی، اثر دورپیوندی‌ها بر رطوبت مکانی و زمانی مناطق و حتی پیش‌بینی بارش زمستانه در سواحل دریای کاسپین به طور مثال با شاخص SOI (Southern Oscillation Index) را دربرمی‌گیرد (نیستانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ جواری و همکاران، ۱۴۰۱؛ گودرزی و همکاران، ۱۳۹۶؛ قائم مقامی و همکاران، ۱۳۹۹؛ تبری و همکاران، ۱۳۹۲؛ ناظم السادات و همکاران، ۱۴۰۰ و ۱۳۸۳). نیمکره شمالی تحت‌تاثیر دورپیوندهای مهمی از جمله NAO (North Atlantic Oscillation)، شاخص اسکندیناوی و یکی از شاخص‌های مهم نوسان جنوبی یا SOI است (Kalimeris, et al., 2017). اقیانوس آرام در کنار اقیانوس اطلس نقش بسیار مهمی را در معادلات آب و هوایی ایفا می‌کنند و در این بین دور پیوندی‌های هستند که نقش مهمتری را نسبت به دیگر شاخص‌ها دارند. در مبحث هواشناسی کشاورزی رطوبت و درجه حرارت نقش بسیار مهمی را در عملکرد رشد گیاه ایفا می‌کنند و دورپیوندی‌هایی چون AO (Arctic Oscillation)، NAO (North Atlantic Oscillation) و یا نوسان جنوبی تاثیر بیشتری را بر روی این متغیرها نسبت به بقیه شاخص‌ها دارند (Bannayan, et al., 2010).

نکته قابل توجه این است که که تاثیر برخی از این شاخص‌ها در فصول مختلف یکسان نیست و در برخی از فصول نمود بیشتری دارند. به طور مثال بررسی اثرات توأمان نوسان اطلس شمالی و نوسان جنوبی در خصوص بارش و دما کشور ایران در فصل پاییز یکی از این موارد است. به دلایل مختلف ممکن است بررسی منفرد یکی از این شاخص‌ها نتایج معنی‌داری را نشان ندهد اما بر همکنش یک یا چند شاخص می‌تواند نتایج قابل قبول‌تری را ارائه دهد. با وقوع فاز منفی SOI و فاز مثبت NAO مراکز پرفشار سیبری، آزور، کم فشار ایسلند نسبت به میانگین بلندمدت تقویت می‌شوند و این امر سبب ورود بیشتر زبانه‌های پرفشار سیبری به کشور و در نهایت کاهش درجه حرارت کشور می‌شود، از طرف دیگر با وقوع حالت‌های فرین SOI مثبت و NAO منفی مراکز فشاری فوق‌الذکر تضعیف می‌شوند که سبب ورود کمتر زبانه‌های پرفشار سیبری به داخل کشور می‌شود و در نتیجه سبب کاهش مقدار بارش در سطح کشور خواهد شد (Azizi, et al., 2014). لازم به توضیح است که این مسئله حتی بر روی کوه‌های مرتفع هیمالیا خصوصاً در ارتباط با مولفه درجه حرارت هم اثر خود را خواهد گذاشت (Han, et al., 2021). نقش نوسان جنوبی در بارش‌های پاییزه و زمستانه در مطالعه موردی در ایستگاه سینوپتیک کرج نیز به اثبات رسیده است (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۶).

همبستگی بین نوسان اطلس شمالی و نوسان جنوبی در مورد بیش از ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک کشور مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است که نشان می‌دهد در بازه زمانی بارش‌های کشور (اکتبر تا ژوئن) در مناطقی که رژیم بارشی مدیترانه‌ای دارند، همبستگی مثبت بین دو شاخص دورپیوند مذکور وجود دارد اما در تابستان عکس قضیه صادق است. مطالعات نشان می‌دهد اثرات شاخص نوسان جنوبی در فصل پاییز انکارناپذیر است و رابطه منفی بین بارش‌های پاییزه ایران در نقاط مختلف با شاخص نوسان جنوبی وجود دارد که ارتباط مستقیم با پدیده انسو دارد. در خصوص نوسان اطلس شمالی نیز مطالعاتی در غرب کشور انجام شده است. شاخص SPI (Standard Precipitation Index) و تاثیر شاخص نوسان اطلس شمالی در جریان آب رودخانه‌های سالانه و فصلی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که نتایج نشان داده که همبستگی ضعیفی بین این مسئله وجود داشته است. همچنین در تحقیقات هلالی و همکاران بیشترین همبستگی در بارشهای پاییزه ایران از شاخص نوسان جنوبی بدست آمده و کمترین آن مربوط به شاخص نوسان اطلس شمالی در فصل

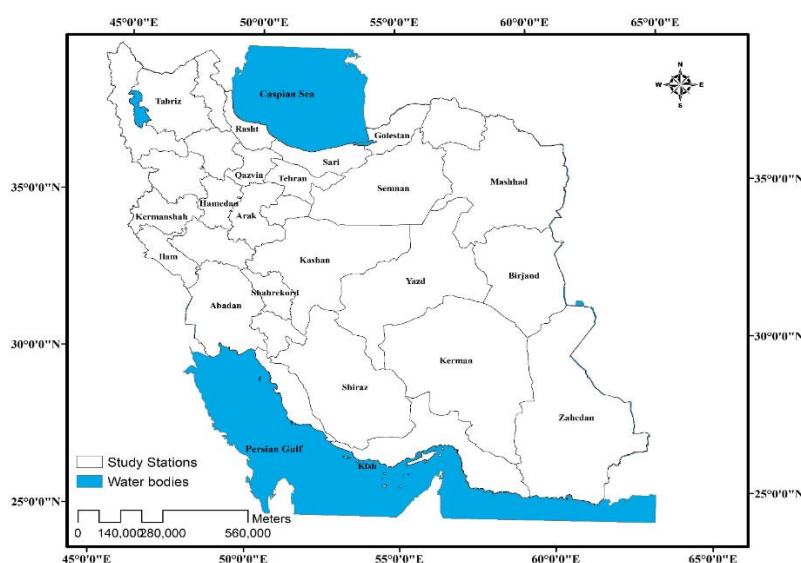
پاییز بوده است. بیشترین همبستگی معنی دار از حوضه‌های آبریز کارون، کرخه، حوضه دریاچه ارومیه، دریاچه نمک، مرز غربی، سفید رود با شاخص نوسان جنوبی در خصوص بارش‌های پاییزه به چشم می‌خورد (هلالی و همکاران، ۱۳۹۹؛ دهقانی و همکاران ۱۳۹۹). اهمیت شاخص‌های دورپیوندی در بارش‌های بهاره نیز انکارناپذیر است. خصوصاً برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک در کشور ایران از اهمیت خاصی برخوردار است. و این شاخص‌ها می‌تواند در رفتار هیدرولوژیکی حوضه آبریز تغییرات گسترده‌ی را ایجاد نماید (هلالی و همکاران، ۱۴۰۰). حتی با روش‌های ناپارامتریک نیز بررسی مولفه بارش و رابطه آن با نوسان جنوبی در نقاط مختلف جهان من جمله کره جنوبی و ژاپن نیز به انجام رسیده است (Jin, et al., 2005). بارش، یکی از مهمترین پدیده‌های جوی است که برای حیات انسان‌ها، جانوران و گیاهان حیاتی است. در بررسی‌های صورت گرفته تأثیر بیشتر شاخص نوسان جنوبی در غرب کشور خصوصاً در بارش‌های پاییزه و زمستانه نمود بیشتری داشته است. و تاخیر گام زمانی در بررسی دورپیوندی‌ها و اثرات آن بر روی مولفه بارش از دیگر نتایج بدست آمده بوده است (محبوبی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین اثرات شاخص نوسان جنوبی بر بارش‌های حدی ایران نیز مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است (تبری و همکاران، ۱۳۹۲).

باتوجه به اقلیم خشک و نیمه خشک ایران و میزان بالای تبخیر و تعرق در این کشور، بررسی شاخص‌های دورپیوندی و نقش آن‌ها در تأثیر گذاری موارد ذکر شده ضروری می‌باشد. در این پژوهش اثرات شاخص نوسان جنوبی بر دو متغیر بارش و دما در ۲۱ ایستگاه اصلی سینوپتیک کشور به صورت توأمان مورد بررسی قرار گرفته است. مقیاس زمانی مطالعه میانگین سه ماهه اکتبر تا ژوئن ۱۹۹۰-۲۰۲۰ میلادی انتخاب شده است و بارش‌های تابستانه برخی ایستگاه‌ها مدنظر قرار نگرفته است. علت این امر آن است که بیشتر ایستگاه‌های انتخابی اقلیم خشک و نیمه خشک را دارا هستند و رژیم بارشی آن‌ها مدیترانه‌ای و شبه مدیترانه‌ای است و فصل خشک منطبق بر فصل تابستان می‌باشد. همچنین برای تشخیص بهتر اثرات دورپیوندی‌ها از روش F.A (Factor Analysis) استفاده شده است. با توجه به ماتریس همبستگی بیشترین اثر در میان دورپیوندی‌های دیگر از شاخص نوسان جنوبی و نوسان اطلس شمالی در کنار پدیده النینو و لانینا در روش مذکور حاصل شده است که در این مقاله اثر نوسان جنوبی بر بارش و رطوبت نسبی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

جمع آوری داده‌ها

مقادیر شاخص نوسان جنوبی Southern Oscillation Index به صورت میانگین سه ماهه اکتبر تا ژوئن در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰ میلادی از سایت اداره ملی و جوی- اقیانوسی ایالات متحده (<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/soi>) و داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک کشور از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. مشخصات و خصوصیات اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱: مناطق مورد مطالعه

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

Name. Station	Lat	Lon	Elevation(m)	Type-Climate	Precipitation Average (mm/yr.)
Ilam	۳۳,۵۸	۴۶,۳۹	۱۳۳۷	Mediterranean	۳۰۰
Esfahan	۳۲,۵۱	۵۱/۷۰	۱۵۵۰,۴	Arid-Semi arid	۱۵۰
Sharekord	۳۲/۲۹	۵۰/۸۴	۲۰۴۸,۹	Cold-semi cold	۴۸۵
Hamedan	۳۴/۸۵	۴۸/۵۳	۱۷۴۰,۸	Cold-humid	۳۱۰
Tehran	۳۵/۶۹	۵۱/۳۰	۱۱۹۱	Temperate-semiarid	۲۴۰
Qazvin	۳۶/۲۴	۵۰/۰۴	۱۲۷۹,۱	Temperate-semi cold	۲۵۴
Semnan	۳۵/۵۸	۵۳/۴۲	۱۱۲۷	Cold and mountainous	۱۶۰
Kish-Island	۲۶/۵۲	۵۳/۹۸	۳۰	Warm-humid	۸۵
Kerman	۳۰/۲۵	۵۶/۹۶	۱۷۵۹	Arid-warm	۹۰
Birjand	۳۲/۹	۵۹/۲۵	۱۴۹۱	Cold and arid	۱۲۵
Golestan	۳۶/۹۰	۵۴/۴۱	۰	Mediterranean-Sub Mediterranean	۳۷۰
Tabriz	۳۸/۱۲	۴۶/۲۳	۱۳۶۱	Cold and humid	۲۹۵
Zahedan	۲۹/۴۷	۶۰/۹	۱۳۷۰	Warm-Arid	۱۰۰
Arak	۳۴/۲۸	۴۹/۷۹	۱۷۰۰	Cold -sub humid	۲۸۰
Abadan	۳۱/۲۴	۴۸/۸۳	۳	Mediterranean	۲۰۰
Kermansah	۶۲,۳۴	۵۸,۴۶	۱۴۱۰	Mediterranean	۳۴۵
Mashad	۳۵/۵۳	۶۰/۱۴	۱۱۰۰	Cold-Arid	۲۵۳
Shiraz	۳۰/۲۵	۳۷/۲۹	۱۵۹۰	Sub mediterranean	۲۷۰
Yazd	۳۳/۳۰	۵۲/۴۵	۱۲۴۳	Desertic	۵۰
Sari	۳۶/۵۳	۵۲/۹۹	۲۳	Mediterranean-sub- Mediterranean	۵۵۰
Rasht	۳۷,۱۶	۴۹,۳۶	-۷	Mediterranean-sub- Mediterranean	۱۲۰۰

ضریب همبستگی اسپیرمن

با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن میزان همبستگی پارامترهای بارش و دما با شاخص دورپیوندی SOI محاسبه شده است. استفاده از این ضریب با توجه به اینکه توزیع آماری در آن آزاد است برای چنین پژوهش‌های مناسب تر است. فرمول ضریب همبستگی اسپیرمن به شرح ذیل است (Yang, et al., 2022):

$$R_s = P_r(X, Y) = \frac{\text{cov}(R(X), R(Y))}{\sigma R(X) \sigma R(Y)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن R_s مقدار ضریب همبستگی اسپیرمن را نشان می‌دهد، $\text{Cov}(X, Y)$ کوواریانس متغیرهای دسته بندی شده و $\sigma(X)$ و $\sigma(Y)$ انحراف از معیار متغیرهای طبقه بندی شده را نشان می‌دهند.

آزمون ناپارامتریک Mann-Kendall

آزمون ناپارامتریک Mann-Kendall برای تحلیل روند سری زمانی داده‌ها استفاده می‌شود. آزمون توسط Mann در سال ۱۹۴۵ و Kendall در سال ۱۹۶۲ معرفی و ارائه شد. در این پژوهش از آزمون روند Monotonic سری زمانی که خطی یا غیر خطی بودن روند را مشخص می‌کند استفاده شده است. برای تحلیل‌های آماری و رسم نمودار از نرم افزارهای Minitab SAS, R و SPSS استفاده شده است. آماره آزمون با فرض نرمال بودن S به شرح ذیل است:

رابطه ۲)

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \text{sgn}(X_j - X_i)$$

$$\text{sgn}(\theta) = \{+1, 0, -1\} \{ \theta > 0, \theta = 0, \theta < 0 \}$$

$$Z = \frac{s-1}{\sigma} \text{ if } s > 0, Z = 0 \text{ if } s = 0, Z = \frac{s+1}{\sigma} \text{ if } s < 0$$

$$\sigma^2 = \frac{n(n+1)(2n+5)}{18}$$

که در آن n تعداد داده‌ها، s فرض نرمال بودن داده‌ها، δ انحراف معیار داده‌ها و $X_i, X_j, \text{sgn}(\theta)$ نیز ردیف داده‌ها هستند.

در مطالعاتی که از شاخص دورپیوندی و چند متغیر استفاده می‌شود از آزمون‌های ناپارمتریک چون Pettit Test، Run Test، Mann-Whitney Test مرسوم می‌باشد (ناظم السادات و همکاران، ۱۳۸۵؛ Zhang L., 2021).

تحلیل بار عاملی

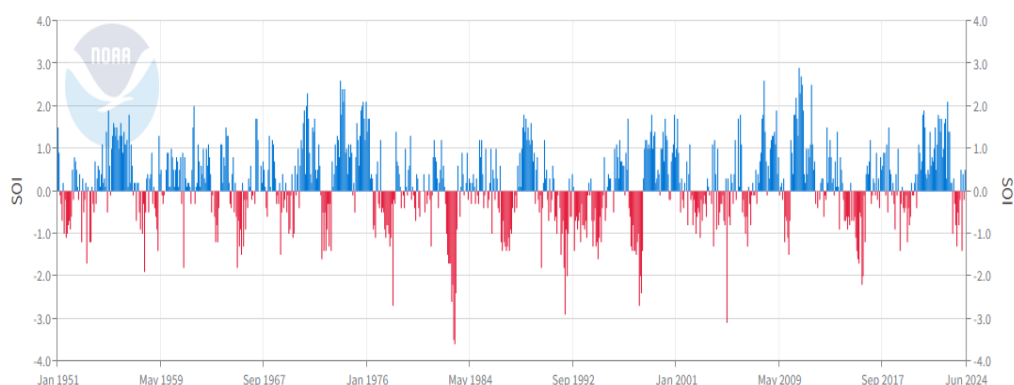
این دسته از روش‌ها کاربردهای گوناگونی دارند، از بررسی دمایی ماکزیمم و مینیمم و اثرات دور پیوندی‌ها با آنان در یک مطالعه موردی در پاکستان گرفته تا اثرات بر روی بیوسفر، انتقال بخار آب و اثرات آن بر روی منابع و ذخائر آبی استفاده از تکنولوژی سنجش از دور و سنجنده‌های مختلف از جمله سنجنده Grace، همچنین بررسی وضعیت فنولوژی گیاهان و اثرات دور پیوندی‌ها بر آغاز و پایان فصل رشد را ذکر کرد (Iqabol, et al., 2016; Dahlin, et al., 2018; Guo, et al., 2021; Tomaszowska, et al., 2020, Maraiani, et al., 2017). روش بار عاملی در واقع ساختار کوواریانس متغیرهای اولیه را به صورت یک مدل تعریف می‌کند. ترکیب خطی (متغیرهای پنهان) یا متغیرهای غیر قابل مشاهده را توصیف می‌کند. و چند هدف را دنبال می‌کند. ۱. کاهش تعداد داده‌ها از نظر ابعاد ۲. تفسیر از متغیرها ۳. استفاده از آزمون فرضیه.

به طور کلی دو نوع واریانس در هر متغیری می‌تواند وجود داشته باشد و از دو بخش تشکیل شده است ۱. واریانس مشترک (Communality) بین واریانس مشترک و واریانس ویژه یا خطاء و هدف دوم تعداد عامل‌ها کمینه گردد. نکته مهم در این است که بتوانیم کفایت مدل تحلیل عاملی را بررسی کنیم و بایستی ماتریس واریانس، کوواریانس خودش کفایت انجام تحلیل عاملی را داشته باشد. و روی قطر اصلی عدد کوواریانس صفر است. تحلیل عاملی بایستی ساختار متغیرها را ساده کند. در این روش Varimax Rotation نیز وجود دارد چنانچه فاکتورها بر یکدیگر اثر پذیری زیادی داشته باشند این روش انجام می‌شود تا واریانس درون فاکتورها افزایش یابد و برای داده‌های هواشناسی این روش ارجح نسبت به روش‌های Quartimax و Equamax است. در اینجا در جدول شماره ۲ از روش varimax استفاده شده است به دلیل اینکه این روش برای تحلیل داده‌های هواشناسی مرسوم تر است.

معرفی شاخص نوسان جنوبی (Southern oscillation Index)

شاخص نوسان جنوبی از اختلاف فشار سطح دریا بین منطقه تاهیتی و داروین در استرالیا محاسبه می‌شود. در فاز منفی (فاز گرم شرق اقیانوس آرام و رخداد پدیده النینو) فشار زیر نرمال در منطقه تاهیتی و بالعکس فشار بالای نرمال در شمال استرالیا و منطقه داروین رخ می‌دهد، حال آنکه در فاز مثبت (فاز سرد شرق اقیانوس آرام و رخداد پدیده لانینا) فشار بالای نرمال در منطقه تاهیتی و بر عکس فشار پایین‌تر از نرمال در داروین استرالیا اتفاق خواهد افتاد که هر کدام اثرات مثبت و منفی بر مقادیر بارش و دما نقاط مختلف جهان خواهد داشت که در ایران اثرات آن در فاز منفی در صورت برهمکنش با شاخص‌های دیگر سبب افزایش بارش و در فاز مثبت این مسئله عکس خواهد بود (Jaroszewicz, et al., 2024). در شکل ۲ نمودار این شاخص از سال ۱۹۵۱ میلادی تا ژوئن ۲۰۲۴ نمایش داده شده است.

Southern Oscillation Index (SOI)

Source: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi>

Powered by ZingChart

شکل ۲: نمودار شاخص نوسان جنوبی

نتایج و بحث

میانگین نتایج تحلیل بار عاملی در جدول شماره ۲ نمایش داده شده است. واریانس آنالیزها و مقادیر واریانس مشترک نیز در جدول مذکور مشخص شده است. در همین جدول نیز نتایج تحلیل عاملی پس از انجام روش Varimax نشان داده شده است. دلیل انجام آنالیز Varimax این فرآیند افزایش واریانس درون فاکتورهایی است که بر یکدیگر اثرپذیری زیادی داشته باشند. این روش نسبت به روش‌های Quartimax و Equamax برای داده‌های هواشناسی برتری دارد. در متغیرهای اصلی ۵ بار عاملی همبستگی بالایی را در تحلیل داده‌ها نشان داده اند که عبارتند از: شاخص نوسان شمالی، شاخص چند دهه‌ی اطلس، نوسان اسکاندیناوی، شاخص نوسان جنوبی و پدیده انسو. در خصوص متغیرهای وابسته نیز ۵ بار عاملی همبستگی بالایی را در میان ۱۴ فاکتور مورد نظر نشان داده اند. نمودار اسکری پلات ۵ عامل نیز در شکل ۵ نشان داده شده است.

با توجه به مقدار ویژه می‌توان به ۵ فاکتور مد نظر رسید. مقدار ویژه در تحلیل عاملی یکی از مفاهیم کلیدی است، این مقدار در توضیح واریانس داده‌ها کمک می‌کند. به عبارت دیگر مقدار ویژه به ما می‌گوید هر عامل چقدر از واریانس کل داده‌ها را توضیح می‌دهد. به طور کلی اگر مقدار ویژه ۱ و بیشتر از آن باشد نشان دهنده اهمیت آن عامل است و عکس قضیه نیز صادق است. در جدول ۱-۲ نیز همانطور که اشاره شد روش Varimax انجام شده است که ۵ متغیر اصلی و دو متغیر وابسته با دو بار عاملی همبستگی بالایی را نشان داده اند که هدف این روش و آنالیز تحلیل عاملی کاهش داده‌هاست. اولین متغیر مستقل که با ۵ بار عاملی همبستگی نشان داده است شاخص اطلس شمالی است. در خصوص شاخص نوسان اطلس شمالی بایستی بیان شود که اثرات فصلی NAO در جریانهای فصلی و سالیانه در غرب ایران به لحاظ آماری انکار ناپذیر است (تبری و همکاران، ۱۳۹۳).

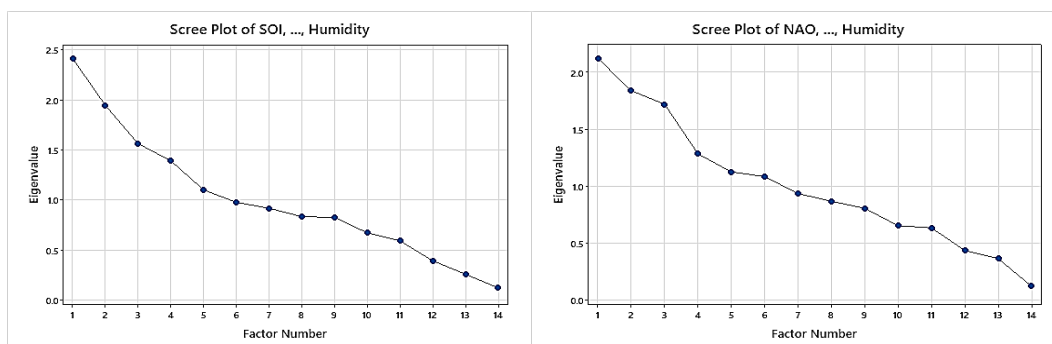
همچنین این شاخص در برهمکنش شاخصهای دیگر از جمله EAWR (East Atlantic West Russia) و AO (Arctic Oscillation) الگوهای متفاوتی را برای منطقه اوراسیا رقم خواهد زد (Baltaci, et al., 2018). در سالهایی که شاخص بزرگ مقیاس ENSO در فاز النینو باشد این شاخص بیشتر در روند مثبت قرار دارد که به نفع بارشهای البرز غربی و بخش‌های مرکزی کشور و تا حدی غرب کشور می‌باشد (Rana, et al., 2019). همچنین اثرات آن در فصل زمستان نمود بیشتری دارد که در پژوهشی با استفاده از داده‌های باز تحلیل ERA40 با استفاده از مدل Regcm3 به اثبات رسیده است (Syed, et al., 2010). دومین متغیر مستقل شاخص نوسان جنوبی است. در خصوص شاخص نوسان جنوبی نیز بایستی ذکر گردد که این شاخص با برهمکنش شاخص نوسان شمالی که در بالا مطرح گردید تاثیر در بارش و دمای کشور خصوصا فصل پاییز دارد. با وقوع فاز منفی SOI و فاز مثبت NAO مراکز پرفشار سیبری، آזור، کم فشار ایسلند نسبت به میانگین بلندمدت تقویت می‌شوند و این امر سبب ورود بیشتر زبانه‌های پرفشار سیبری به کشور و در نهایت کاهش درجه حرارت کشور می‌شود، از طرف دیگر با وقوع حالت‌های فرین SOI مثبت و NAO منفی مراکز فشاری فوق الذکر تضعیف می‌شوند که سبب ورود کمتر زبانه‌های پرفشار سیبری به داخل کشور می‌شود و در نتیجه سبب کاهش مقدار بارش در سطح کشور خواهد شد. این مورد (همبستگی بین نوسان اطلس شمالی و نوسان جنوبی) در خصوص بیش از ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک کشور نیز مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است که نشان می‌دهد در بازه زمانی فوق الذکر بارشهای کشور در مناطقی که رژیم بارشی مدیرانه‌ی دارند این همبستگی مثبت بین دو شاخص دورپیوند

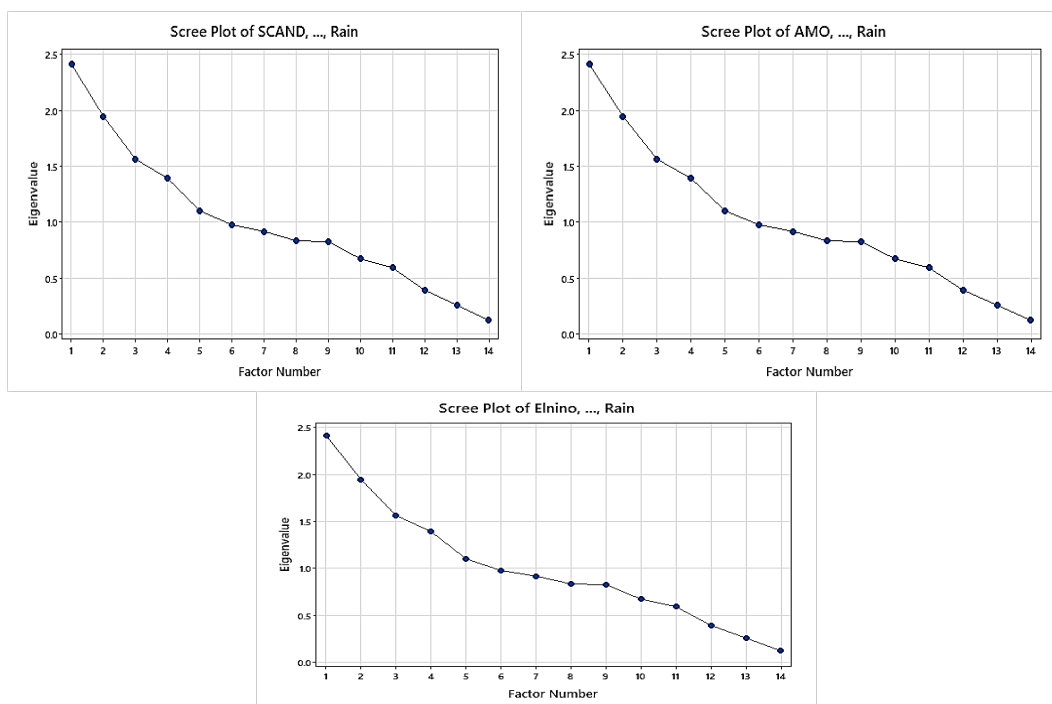
مذکور وجود دارد اما در تابستان عکس قضیه صادق است (هالالی و همکاران، ۱۳۹۹؛ دهقانی و همکاران ۱۳۹۹).

شاخص منطقه اسکاندیناوی مورد بعدی است که به بررسی آن خواهیم پرداخت. این شاخص بر بارش و دمای کشور تاثیر دارد. در مطالعه موردی در مناطق مختلف ایران نیز این مسئله کاملاً مشهود است. بررسی دورپیوندی‌های موثر در اوراسیا-اطلس بر رژیم دمایی سواحل جنوبی دریای کاسپین (خزر) از جمله در منطقه گلستان یکی از این دسته از موارد است. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر دما در فصل تابستان و در ماه‌های ژوئن تا آگوست همبستگی معنی‌داری با شاخص مذکور دارد و از طرف دیگر حداقل دما نیز در حدود ۵۸ درصد در فصل سرد سال از این شاخص پیروی می‌کند. نکته مهم دیگر برهمکنش شاخص‌های دیگر در این منطقه با شاخص اسکاند است. از جمله شاخص دریای کاسپین (NCP) North Caspian Pattern، AO (Arctic Oscillation)، NAO (North Atlantic Oscillation)، AMO (Atlantic multidecadal Oscillation) و PE (Polar Eurasia) را می‌توان نام برد (Ghanghermeh, et al., 2015). این مورد در سایر نقاط نیمه شمالی نیمکره شمالی زمین نیز صادق است. حتی اثرات آن‌ها در خشکسالی نیز کاملاً به اثبات رسیده است. در مطالعه ۲۱ ایستگاه سینوپتیک کشور در استان‌های کرمان، یزد و اصفهان با استفاده از شاخص استاندارد بارش (SPI)، در دوره آماری طولانی مدت مشخص شد که اثرات شاخص اسکاندیناوی و شرق اطلس از مابقی پیوند از دورها در این بخش از مناطق کشور بارزتر بوده است (فاطمی، ۱۳۹۵).

شاخص دیگر که در برهمکنش با نوسان جنوبی بسیار حائز اهمیت است شاخص کلان مقیاس چند دهه اطلس است که در نتایج بار عاملی نیز با ۵ فاکتور همبستگی بالایی را نشان داده است که در جدول ۲ نشان داده شده است، تاثیر این شاخص در فاز منفی در برهمکنش با فاز منفی نوسان جنوبی سبب ترسالی‌های گسترده در کشور خواهد شد، بررسی‌ها نشان داده است که اثر قابل توجهی بر روی رطوبت خاک عرض‌های میانه دارد (Gelcer, et al., 2013). همچنین برای پیش بینی آغاز و پایان فصل رشد و نیاز حرارتی گیاهان شاخص‌های دورپیوندی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند که از این طریق می‌توان پیش بینی‌های دقیق‌تری را در حوضه هواشناسی کشاورزی ارائه کرد (سبزی پرور و همکاران، ۱۳۹۷).

با توجه به اهمیت چرخه هیدرولوژی، فرایند تصمیم‌گیری در مقیاس هفتگی تا سالانه بسیار حائز اهمیت است، بنابراین برخی از دورپیوندی‌ها از جمله شاخص SOI (Southern Oscillation Index) و یا ENSO بسیار مورد توجه هستند و با توجه به تنش آبی در بسیاری از مناطق جهان توجه به این مهم ضروری به نظر می‌رسد (Abtew, et al., 2014). از جمله سالهایی که برهمکنش دور پیوندیهای مذکور سبب بارشهای مخاطره آمیز در کشور شد می‌توان به سیل ایلام در آبان ۱۳۹۴ شمسی با وقوع بارشی در حدود ۵۰۰ میلیمتر در سالی که پدیده النینو حاکم بر پهنه آبی اقیانوس آرام بود و در نتیجه شاخص نوسان جنوبی نیز در بهترین حالت خود قرار داشت اشاره کرد، یا از دیگر مثالهای بارز می‌توان به سیل فرودگاه گرگان در منطقه با بارش ۱۱۷ میلی متری در اسفند ۱۳۹۷ شمسی و یا سیل پلدختر و معمولان در استان لرستان در فروردین ۱۳۹۸ اشاره کرد، در سال‌های که دور پیوندی‌های مورد نظر در بهترین حالت خود برای بارش‌های سیل آسا قرار داشتند. در شکل ۵ نیز نمودار اسکری پلات تحلیل بار عاملی داده‌ها نمایش داده شده است. ۵ متغیر مستقل با بارش و رطوبت و مقادیر ویژه در شکل مشخص هستند. مقدار ویژه در هر ۵ متغیر اصلی به تعداد ۵ عدد، اعداد بالای ۱ را نشان می‌دهد. همانطور که در ابتدا توضیح داده شد مقادیر ۱ و بالای ۱ نشان دهنده اهمیت آن عامل هستند که در اشکال ذیل کاملاً مشهود است.





شکل ۵: نمودار اسکری پلات تحلیل بار عاملی داده‌ها

جدول ۲: نتایج آنالیز تحلیل عاملی و Varimax با مولفه‌های اصلی و وابسته

Row	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5
NAO	۰/۲۷۴	۰/۲۳۶	۰/۳۱۷	-۰/۲۶۳	-۰/۵۶۱
AMO	-۰/۴۶۸	-۰/۴۰۳	-۰/۲۰۳	۰/۴۰۸	۰/۴۵۶
Scand	-۰/۶۸۱	-۰/۴۵۹	-۰/۲۶۷	-۰/۲۸۲	-۰/۲۱۹
SOI	۰/۳۶۰	۰/۴۴۲	۰/۵۶۳	۰/۳۶۲	-۰/۳۵۳
ENSO	۰/۳۵۲	۰/۴۳۴	-۰/۴۱۱	-۰/۴۱۴	۰/۲۶۰
Rain	۰/۵۳۷	-۰/۵۴۱	۰/۲۷۴	۰/۲۹۴	-۰/۳۵۰
Humidity	۰/۳۲۳	-۰/۶۱۱	۰/۳۴۰	۰/۳۶۲	۰/۲۲۶
Variance	۱/۸۳	۰/۸۶	۱/۲۸	۰/۹۳	۱/۱۲

جدول آنالیز تحلیل عاملی بعد از انجام روش Varimax

Row	Factor1	Factor2
NAO	۰/۹۷۹	-۰/۵۶۵
AMO	۰/۹۷۲	-۰/۴۵۸
Scand	۰/۹۸۵	-۰/۵۳۷
SOI	۰/۹۳۵	-۰/۴۲۶
ENSO	۰/۹۷۹	۰/۱۴۹
Rain	۰/۹۳۳	-۰/۲۶۷
Humidity	۰/۹۵۷	-۰/۲۴۶
Variance	۱/۰۱	۱/۰۰

بنابراین منابع رطوبتی و چگونگی انتقال رطوبت و عوامل موثر بر آن‌ها در فصول مختلف یکی از نکات مهم و اساسی در اقلیم ایران (بارش و رطوبت) در نقاط مختلف کشور است، که تاثیر بسزایی در رشد و نمو محصول در بخش کشاورزی دارد. در این میان نقش شاخص‌های دورپیوندی بسیار دارای اهمیت است (قائم و همکاران، ۱۳۹۲؛ خدادادی و همکاران، ۱۳۹۲). در تحقیقات صورت گرفته در روند تغییرات سری زمانی فشار سطح دریای مراکز مهم الگوهای سینوپتیکی تاثیر گذار بر بارش‌های فصلی ایران نیز نقش دریای مدیترانه و دریای سیاه انکار ناپذیر بوده است و نشان داده شده است که کاهش ارتفاع بر روی منطقه مدیترانه و سودان سبب تشکیل منطقه ی جبهه ی و تغذیه مناسب رطوبت سامانه های مهاجر خواهد شد که بر روی بارشهای فصلی ایران خصوصا زمستان تاثیر بسزایی دارد. (رسولی و

همکاران، ۱۳۹۰).

در شکل ۳ میانگین ۳۰ ساله فصل پاییز در ترازهای مختلف جو در بازه زمانی پژوهش و در ماه‌های سپتامبر تا نوامبر در ماه‌هایی که نوسان جنوبی منفی بوده است نشان داده شده است. بخش الف ارتفاع ژئو پتانسیل دکامتر، دما بر حسب درجه سلسیوس، سرعت باد واحد بر حسب متر بر ثانیه در تراز میانی یا ۵۰۰ هکتو پاسکال است. روند فرارفت رطوبت و انتقال جریانات گرم و مرطوب کاملاً واضح است. شکل ب نیز مولفه‌های فوق در تراز ۸۵۰ است که جریانات تراز زیرین را نشان می‌دهد در زمانی که فاز نوسان جنوبی منفی است و به اصطلاح بادهای تجارتی در حوضه اقیانوس آرام یا ناحیه روز گردان (Line of Date) ضعیف است، گردش چرخندی و انحراف نیروی کوریولیس سبب انتقال رطوبت به سامانه‌های مهاجر در منتهی الیه شرق مدیترانه می‌شود و در زمانی که پدیده النینو وجود دارد و نوسان جنوبی منفی است این مسئله در نقشه واضح‌تر است. نقشه ج فشار سطح زمین است که به طور میانگین به دلیل عبور سامانه‌های متعدد بارشی روند کاهشی دارد خصوصاً این مسئله در منطقه جنوب غرب کشور نمود بیشتری دارد. مقدار آن ۱۰۱۲ هکتوپاسکال محاسبه شده است. نقشه د کمیت آب قابل بارش به طور میانگین در لایه قائم ۵۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال را نمایش داده است.

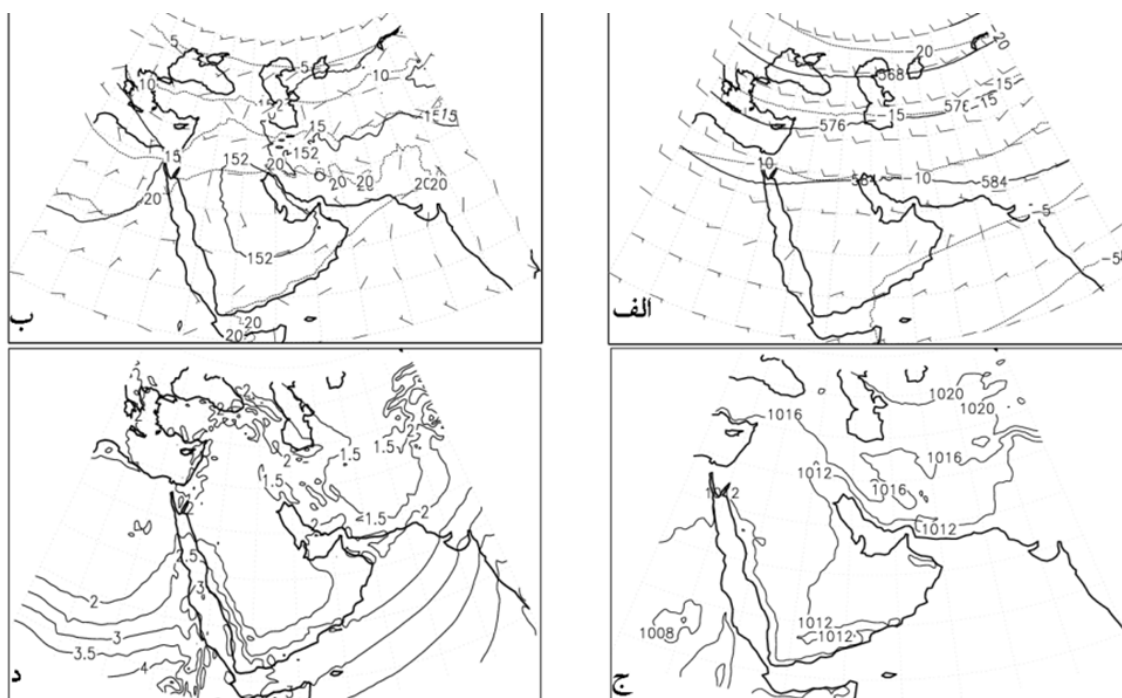
مقدار آب قابل بارش که واحد آن کیلوگرم در متر مربع است در دریای سرخ بالاست که این امر به این علت است که وقوع پدیده النینو و کاهش فشار در منطقه تاهیتی و افزایش فشار در شمال استرالیا و منطقه داروین و وقوع فاز گرم انسو و فاز منفی نوسان جنوبی سبب شده است که مقدار انتقال رطوبت از شرق مدیترانه و دریای سرخ افزایش یابد و منطقه‌ی همگرایی سرخ در تغذیه مضاعف سامانه‌های مهاجر نقش بی بدیلی را داشته باشد. مقدار آن در دریای سرخ تا ۵ کیلوگرم در متر مربع محاسبه شده است که این مقدار در نواحی و سواحل مکران به ۱/۵ کیلوگرم در مترمربع کاهش می‌یابد. که به تبع آن رطوبت نسبی و بارش در جنوب غرب آسیا از جمله ایران روند افزایشی را نشان می‌دهد. در بین ایستگاه‌های بررسی شده ایستگاه شیراز بالاترین میزان همبستگی با نوسان جنوبی را نشان داده است به طوری که این همبستگی ۵۸+ درصد محاسبه شده است (شکل ۶). ایستگاه شیراز در جنوب کشور ایران قرار دارد و دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است. با توجه به نزدیکی این منطقه نسبت به مناطق غربی و شمالی کشور به اقیانوس آرام اثر نوسان جنوبی نمود بیشتری دارد. ایستگاه بعدی که بالاترین درصد همبستگی را با بارش و رطوبت نسبی نشان داده است بیرجند واقع در شمال شرق ایران است. علیرغم این که این منطقه بیشتر تحت تاثیر جریانات سرد سیبری و نوسان PDO (Pacific Decadal Oscillation) است (غلامی و همکاران، ۱۴۰۱). اما با توجه به اثر مهم نوسان جنوبی این ایستگاه در رتبه دوم به لحاظ همبستگی قرار گرفته است. در جدول ۲ نتایج نشان داده شده است.

جدول ۳: شاخص‌های آماری و ضریب همبستگی رابطه متغیرهای رطوبت نسبی و بارش با شاخص SOI

R	RMSE	MSE	Station
NS	NS	NS	Abadan (Hum)
NS	NS	NS	Abadan (Rain)
NS	NS	NS	Arak (Hum)
NS	NS	NS	Arak (Rain)
۰/۵۳	۴/۴	۱۹/۶	Birjand (Hum)
۰/۵۳	۲/۶	۶/۹mm	Birjand (Rain)
۰/۲۲	۵/۴۴	۲۹/۰۶۵	Esfahan (Hum)
۰/۲۲	۱/۷	۳/۲mm	Esfahan (Rain)
۰/۱۴	۶/۲	۳۹/۵%	Gazvin (Hum)
۰/۱۴	۴/۵	۳۶/۲۰mm	Gazvin (Rain)
۰/۳۸	۷/۶	۵۸/۶%	Golestan (Hum)
۰/۳۸	۹/۳	۲۳/۸۸mm	Golestan (Rain)
۰/۱۷	۵/۳	۶۳/۲۸mm	Hamedan (Rain)
۰/۱۷	۶/۷	۳/۴۵	Hamedan (Hum)
۰/۳۵	۶/۲	۴۷/۳۹	Ilam (Hum)
۰/۳۵	۳/۵	۲۴/۱۲mm	Ilam (Rain)
۰/۲۸	۶/۳۷	۵۸/۴۰	Kermanshah (Hum)
۰/۲۸	۳/۹	۱۵/۶۹mm	Kermanshah (Rain)
۰/۳۶	۶/۰۴	۳۶/۵	Kerman (Hum)
۰/۳۶	۲/۵	۶/۳mm	Kerman (Rain)
۰/۲۴	۵/۱۲	۲۶/۳	Kish (Hum)
۰/۲۴	۱/۵۱	۲/۳mm	Kish (Rain)

NS	NS	NS	Mashad (Hum)
NS	NS	NS	Mashad (Rain)
NS	NS	NS	Rasht (Hum)
NS	NS	NS	Rasht (Rain)
۰/۱۴	۷/۵	۵۶/۳	Sari (Hum)
۰/۱۴	۱۱/۱	۱۲۳/۶mm	Sari (Rain)
۰/۱۴	۸/۱	۶۶/۴۵	Sharekord (Hum)
۰/۱۴	۷/۴۳	۵۵/۲۶mm	Sharekord (Rain)
۰/۵۸	۶/۴	۴۱/۳۶	Shiraz (Hum)
۰/۵۸	۳/۰۷	۹/۴۵mm	Shiraz (Rain)
۰/۳۳	۷/۰۱	۴۹/۲۶	Tabriz (Hum)
۰/۳۳	۵/۷	۳۲/۵mm	Tabriz (Rain)
۰/۴۱	۲۰/۵	۴۲/۳	Tehran (Hum)
۰/۴۱	۵/۰۳	۲۵/۳۶mm	Tehran (Rain)
۰/۳۹	۵/۸	۳۴/۲۶	Semnan (Hum)
۰/۳۹	۲/۹	۸/۶mm	Semnan (Rain)
۰/۲۲	۵/۱	۲۶/۶۹	Yazd (Hum)
۰/۲۲	۱/۸۹	۳/۶mm	Yazd (Rain)
۰/۲۰	۵/۰۱	۱۴/۲۵%	Zahedan (Hum)
۰/۲۰	۲/۳۱	۳۶/۲۵mm	Zahedan (Rain)

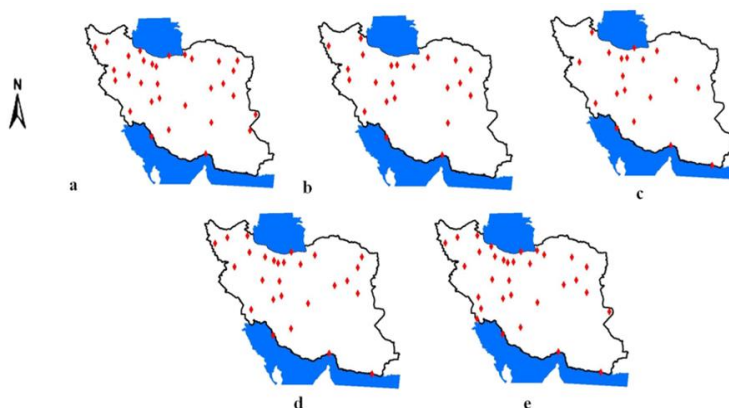
از علت‌های اصلی آن، این نوسان تحت تاثیر زیر مجموعه ENSO است و تاثیرات آن بر شاخص ذکر شده زمانی است که اگر آبهای شرق اقیانوس آرام سردتر از نرمال بلند مدت خود باشد پدیده لانینیا رخ می‌دهد و شاخص نوسان جنوبی در فاز مثبت خود قرار می‌گیرد و عکس قضیه نیز صادق است. همچنین این منطقه با توجه به اینکه در شرق کشور واقع شده و نسبت به غرب و شمال کشور ۱۵۰۰ کیلومتر نزدیکتر به منطقه داروین در شمال استرالیاست می‌تواند از دیگر دلایل مهم در این مورد باشد. میزان RMSE رطوبت ۱۹/۶ درصد و بارش ۶/۹ میلی‌متر محاسبه شده است و درصد همبستگی بارش و رطوبت نسبی ۵۳+ محاسبه شده است (شکل ۶). ایستگاه تهران واقع در دامنه‌های جنوبی البرز نیز همبستگی ۴۱ درصد را با بارش و رطوبت نسبی نشان داده است (شکل ۶).



شکل ۳: نمودار الف) ارتفاع ژئوپتانسیل دکامتر، دما بر حسب سلسیوس، سرعت باد بر ثانیه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ب) ارتفاع ژئوپتانسیل دکامتر، دما بر حسب سلسیوس، سرعت باد بر ثانیه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ج) فشار سطح زمین بر حسب هکتوپاسکال و د) کمیت آب قابل بارش برای میانگین قائم تراز ۱۰۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال بر حسب کیلوگرم بر متر مربع (NOAA)

نوسان جنوبی نقش عمده‌ی در بارش و رطوبت نسبی این منطقه ایفا می‌کند و در سالهای النیویی و زمانی که نوسان جنوبی منفی است مقدار بارش و رطوبت نسبی در این منطقه روند افزایشی دارد. سمنان و گلستان ایستگاههای بعدی هستند که به ترتیب همبستگی ۳۹ و ۳۸ درصد را با مولفه‌های بارش و رطوبت نسبی ایفا می‌کنند (شکل ۶). مقادیر RMSE به ترتیب ۲/۹ و ۵/۸ درصد برای سمنان و ۹/۳ و ۷/۶ درصد برای گلستان محاسبه شده است. نکته جالب توجه در نتایج همبستگی ۳۶ درصدی در ایستگاه کرمان است. این منطقه از کشور ایران دارای آب و هوای متفاوتی است به طوری که شمال منطقه دارای آب و هوای سرد و خشک، مرکز دارای آب و هوای کویری و جنوب منطقه دارای آب و هوای مانسونی است و اثر نوسان جنوبی نیز در نوع خود جالب توجه است چرا که اقلیم شمال و مرکز این منطقه مدیترانه‌ای است و فصل خشک منطبق با فصل تابستان است و جنوب منطقه نیز تحت تاثیر نوسان دو قطبی هند و مادن و جولیان و جریانات موسمی است، در شرق منطقه نیز آب و هوای کویری و غرب منطقه نیز آب و هوای مدیترانه‌ای حاکم می‌باشد. در منطقه زاهدان نیز با توجه به اینکه در جنوب شرق کشور ایران قرار گرفته و دارای آب و هوای شبه مدیترانه‌ای و بیشتر مانسونی است، اما شاخص نوسان جنوبی همبستگی ۲۰ درصد را با مولفه‌های بارش و دما نشان داده است. مناطقی که از مراکز فشاری در منطقه تاهیتی و شمال داروین در استرالیا تبعیت نمی‌کنند بیشتر تحت تاثیر شاخص دو قطبی اقیانوس هند و مادن و جولیان قرار می‌گیرند. در منطقه غرب کشور ایستگاه‌هایی چون ایلام و کرمانشاه نیز همبستگی دیده می‌شود هر چند این همبستگی نسبت به مناطقی که تجزیه و تحلیل شد درصد کمتری را نشان می‌دهد، از دلایل آن می‌توان اثر شاخصهایی چون نوسان اطلس شمالی و AMO را بر این مناطق بیشتر، نسبت به سایر شاخص‌های دیگر دانست.

در برخی از ایستگاه‌ها مثل آبادان، اراک، مشهد و رشت نیز رابطه معنی داری بین دو مولفه بارش و رطوبت نسبی و شاخص نوسان جنوبی مشاهده نشد. در مشهد می‌توان گفت که دلیل اینکه این منطقه نزدیک ترین منطقه به مراکز پرفشار سیبری است از جریانات ناشی از آن بیشتر در طی فصل بارش با توجه به میزان فعالیت پرفشار سیبری تاثیر می‌پذیرد بنابراین طبیعی به نظر می‌رسد که با شاخص رابطه معنی داری را نداشته باشد. لازم به توضیح است که الگوهای فشاری هر منطقه تاثیر بسزایی در بارش‌های شدید آن منطقه دارند که ریزش عمیق هوای سرد از سرزمین‌های سیبری بر روی خزر شرقی و در نهایت مناطق شمال شرقی کشور من جمله مشهد سبب رخداد بارش‌های سیل آسا و تغییرات دمایی پرنوسان خواهد شد. (اسدی و همکاران، ۱۳۹۴). منطقه آبادان بیشتر تحت تاثیر جریانات مدیترانه و نوسان اطلس شمالی و همچنین جریانات بارشی دریای سرخ است و طبیعی است که از نوسان جنوبی تاثیر مستقیم نپذیرد و اراک نیز در دیواره‌های شرقی زاگرس قرار دارد بنابراین بیشترین تاثیر از دورپیوندی‌های نوسان اطلس شمالی، نوسان چند دهه‌ای اطلس و شاخص‌های دیگر دارد. سواحل غربی دریای خزر نیز بیشترین تاثیر را از نوسان اطلس شمالی دارند و شاخص‌هایی چون اسکاندیناوی و شرق اطلس - غرب روسیه در بارش و دمای آن منطقه تاثیر بیشتری دارد. در پژوهش‌های صورت گرفته اثر نوسان اطلس شمالی و نوسان شمالگان بیشتر از دیگر دورپیوندی‌ها بوده است که این مهم در خصوص نوسان اطلس شمالی در ماه‌های دسامبر و فوریه بیشتر از سایر ماه‌ها بوده است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۶). برخی ایستگاه‌ها همبستگی ضعیفی را با نوسان جنوبی نشان دادند که از آن جمله می‌توان ساری، همدان و یزد را نام برد. همچنین برهمکنش این شاخص با شاخص کلان مقیاس AMO و نینوهای منطقه روزگردان انجام شده است که در شکل ۵ به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۴: برهمکنش شاخص نوسان جنوبی به ترتیب a نوسان چند دهه اطلس و b نینو منطقه ۱/۲ c نینو منطقه ۳ و d نینو منطقه ۴ و e نینو منطقه ۳، ۴ (رضائی و همکاران، ۲۰۲۰)

شکل a بررسی توانان اثر شاخص نوسان جنوبی با نوسان کلان مقیاس AMO را نشان داده است به استثناء جنوب شرق کشور سایر مناطق همبستگی مناسبی را با فاز منفی شاخص چند دهه_ی اطلس و فاز منفی نوسان جنوبی را نشان داده اند. بادهای باران آور اطلس در فاز منفی دو شاخص روانه شرق مدیترانه و سپس ایران و مناطق غربی تا مرکزی آن شده (در فازهای نامبرده شاخص) و سبب ترسالی در مناطق ذکر شده خواهد شد. جنوب شرق کشور به دلیل رژیم متفاوت بارشی از این الگو تبعیت نمی کند. شکل b با نینو منطقه ۱/۲ است که بیشتر نیمه شمالی کشور را در بر می گیرد وقتی که نینو در فاز مثبت باشد و نوسان جنوبی نیز در این فاز باشد بیشتر مناطق شمالی را تحت الشعاع خود قرار خواهد داد، نیمه جنوبی به استثناء هرمزگان و بخشی از جنوب غرب از این الگو پیروی نمی کند. شکل c بیشتر استانهای فلات مرکزی را در بر می گیرد، وقتی که نینو ۳ در فاز مثبت و نوسان جنوبی در فاز منفی باشد این مهم رخ خواهد داد. و اما شکل d نیز نینو منطقه ۴ را نشان می دهد در زمانی که نوسان جنوبی منفی و شاخص نینو در فاز مثبت است. که بخش های جنوبی را در بر گرفته است. پراهمیت ترین بخش نینو ناحیه ۳/۴ است که پهنه وسیعی از کشور را در بر می گیرد و به دلیل اهمیت آن معمولاً برهمکنش مثبت با فاز نوسان جنوبی دارد وقتی که نوسان جنوبی در فاز منفی باشد. هرمزگان و سیستان و بلوچستان نیز از الگوی فوق پیروی می کنند.

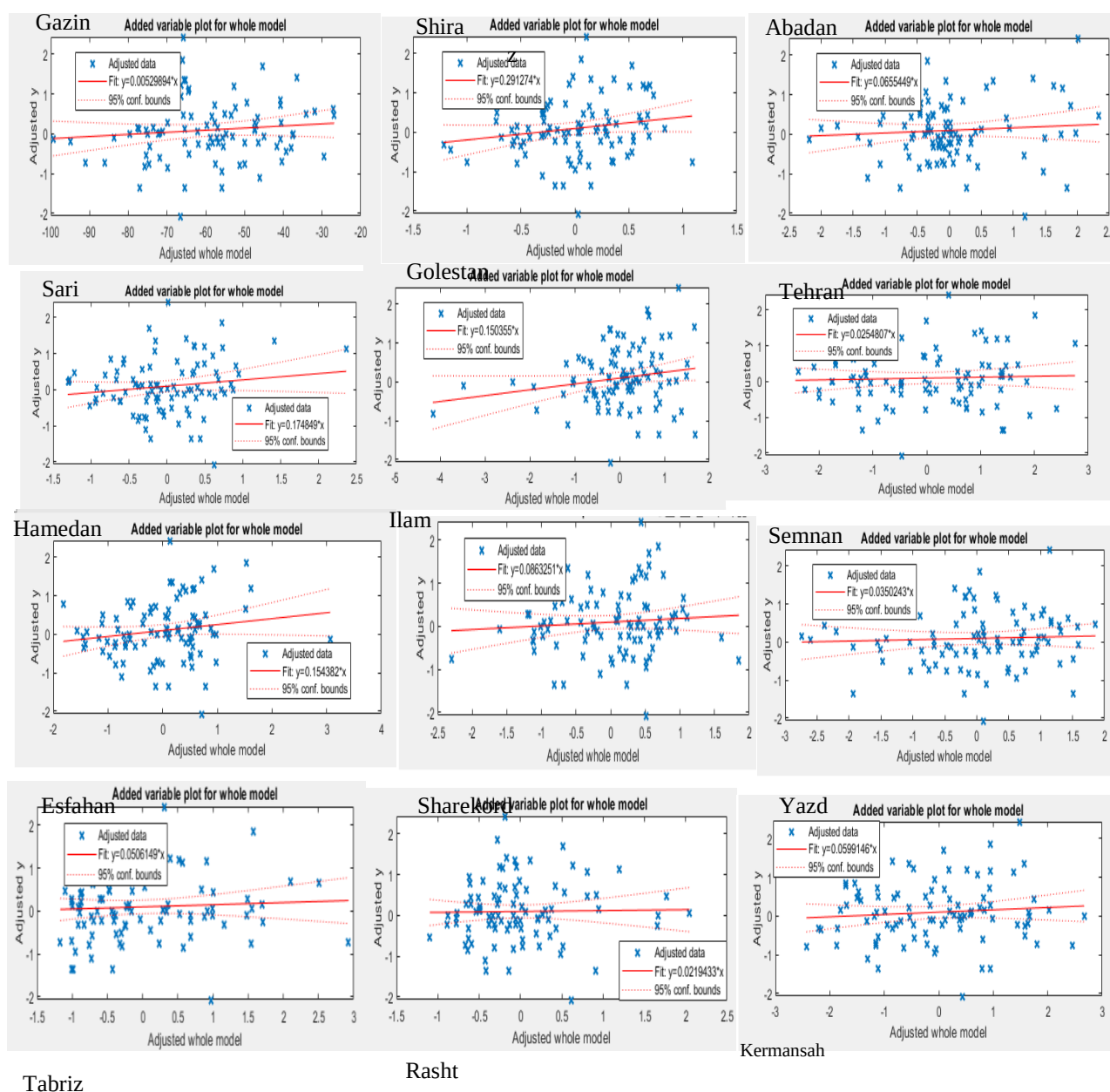
نتیجه گیری

دورپیوندی با مولفه هایی همچون بارش، دما و رطوبت نسبی تاثیر بسیار زیادی بر بخش های مختلف از جمله کشاورزی خواهد گذاشت، اما این فرآیند پیچیدگی های خاص خود را داشته و در برخی موارد نیز ممکن است نتایج آن قابل قبول نباشد که علت آن پیچیدگی کلی اقلیم و برهمکنش آن با جو و اقیانوس است که به دلیل جو سیالی که وجود دارد این امر اجتناب ناپذیر است. در این پژوهش رابطه متغیرهای بارش و رطوبت نسبی با شاخص نوسان جنوبی (SOI) مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. بدین منظور ۲۱ ایستگاه سینوپتیک اصلی از نقاط مختلف کشور انتخاب گردید و میانگین سه ماهه بارش و رطوبت نسبی و همچنین شاخص نوسان جنوبی از اکتبر تا ژوئن (فصل بارشی کشور) در بازه زمانی سه ماهه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. عواملی که بیشترین تاثیر را بر داده ها داشته و دارای مقدار ویژه ۱ و بالای ۱ بودند با استفاده از روش تحلیل عاملی و مقادیر ویژه که ابزار مهمی در تصمیم گیری درباره تعداد عوامل نگه داشته شده در مدل تحلیل بار عاملی هستند، انتخاب شدند. ۵ عاملی موثر در این پژوهش عبارتند از: شاخص نوسان شمالی، شاخص نوسان جنوبی، شاخص کلان مقیاس اطلس، شاخص اسکاندیناوی و در نهایت پدیده بزرگ مقیاس اطلس که هر یک با برهمکنش با یکدیگر نقش بسیار مهمی در بارش و دما و رطوبت کشور دارند. این عوامل از میان ۱۲ شاخص دور پیوندی، به عنوان متغیر مستقل در کنار بررسی توانان بارش و رطوبت نسبی به عنوان متغیر وابسته انتخاب شده و مد نظر قرار گرفته است.

اثر این شاخص با توجه به ۵ عامل انتخاب شده در ایستگاههای سینوپتیک کشور متفاوت ارزیابی شده است. در این پژوهش برهمکنش شاخص نوسان جنوبی با دیگر دور پیوندی ها از جمله با نوسان چند دهه_ی اطلس، نوسان شمالی و پدیده بزرگ مقیاس ENSO همراه با اثرات توانان آن بر بارش و رطوبت نسبی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. فازهای مختلف این دور پیوندی ها در برهمکنش با یکدیگر اثرات متفاوتی را بر بارش، رطوبت و دمای کشور بر جای می گذارند. بالاترین درصد همبستگی این شاخص از ایستگاه شیراز واقع در جنوب کشور گزارش شده است، در این منطقه اقلیم شمال آن کوهستانی، مرکز استان یعنی شهر شیراز اقلیم مدیترانه ی و شبه مدیترانه ی است، اما اقلیم جنوب آن تحت جریانات موسمی هند قرار دارد و در سالهایی که فعالیت مانسون هند فراتر از نرمال است نمود بیشتری دارد. با توجه به تنوع اقلیمی زیادی که در کشور ایران وجود دارد بسیاری از شاخص های دور پیوندی بر اقلیم منطقه اثرات مستقیم و غیرمستقیم خود را خواهند گذاشت، حتی در ایستگاه هایی که اقلیم آن ها متفاوت است این مسئله باز هم خودنمایی می کند. در سواحل غربی و شرقی دریای خزر نیز نتایج متفاوتی رقم خورده است به طوری که در سواحل شرقی و در منطقه ی مثل گلستان همبستگی بارش و رطوبت نسبی با نوسان جنوبی ۳۸ با مقادیر MSE, RMSE ۵۸/۶ درصد و ۸۸/۲۳ میلی متر محاسبه شده است اما در سواحل غربی اثرات شاخص نوسان جنوبی کمتر از ۲۰ درصد است که یکی از علت های آن تاثیر بیشتر نوسان اطلس شمالی بر سواحل غربی دریای خزر نسبت به سواحل شرقی است، بنابراین همبستگی ضعیف تری را مناطقی مثل رشت نسبت به گلستان نشان داده اند.

بیرجند در شرق کشور نیز همبستگی بالایی را با شاخص نوسان جنوبی نشان داده است، به طوری که این منطقه یکی از نزدیک ترین مناطق به نسبت سایر ایستگاه ها به منطقه تاهیتی و داروین است بنابراین طبیعی است اثر پذیری بیشتری را نسبت به برخی مناطق داشته باشد، همبستگی ۵۳ درصد با مقادیر ۱۹/۶ درصد و ۶/۹ میلی متر MSE با شاخص نوسان جنوبی نشان داده است. بیشتر مناطق شمال

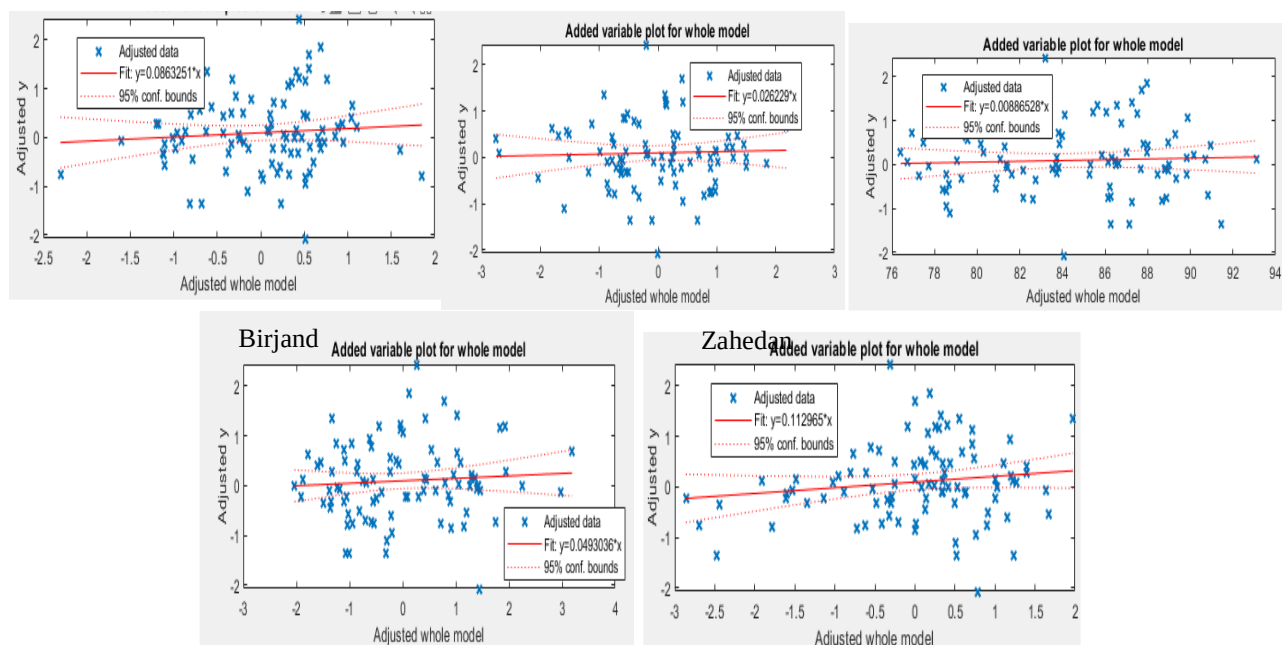
شرقی و تا حدی در مرتبه بعدی مناطق شرق کشور بیشتر در طی فصول بارشی تحت تاثیر جریانات پرفشار سیبری و همچنین نوسان چند دهه‌ای آرام یعنی (PDO) قرار دارند و نوسانات بارشی و دمایی را به ترتیب در مناطق ذکر شده تحت تاثیر قرار می‌دهند. برخی ایستگاه‌ها در غرب کشور نیز همبستگی بالایی را با شاخص نشان ندادند که یکی از دلایل آن می‌توان ذکر کرد که این مناطق بیشتر تحت تاثیر جریانات بارشی دریای مدیترانه و سرخ قرار می‌گیرند که متاثر از شاخص‌های نوسان اطلس شمالی و نوسان چند دهه‌ای اطلس می‌باشد و کمتر تحت تاثیر این شاخص قرار می‌گیرند. در برخی مناطق مانند اراک و مشهد نیز رابطه معنی داری با شاخص مشاهده نشد. از دلایل آن می‌توان بیان نمود که مشهد بیشتر تحت تاثیر جریانات پرفشار آسیایی قرار می‌گیرد بنابراین طبیعی است که رابطه معنی داری را نشان ندهد. اراک که در دامنه‌های شرقی زاگرس قرار دارد با توجه به رژیم بارشی مدیترانه‌ای بیشتر تحت تاثیر جریانات دریای مدیترانه و منطقه همگرایی سرخ قرار می‌گیرد بنابراین به نظر می‌رسد از نوسان جنوبی تاثیری نپذیرد. آبادان نیز واقع در دامنه‌های زاگرس در جنوب غرب کشور نیز از این قاعده مستثنی نیست و به همین دلیل رابطه معنی داری را با شاخص نشان نداد است و تاثیر بیشتر دریای مدیترانه و اقیانوس اطلس بیشتر از تغییرات فشار سطح دریا در منطقه تاهیتی و داروین بوده است.



Tabriz

Rasht

Kermansah



شکل ۶: نمودار رگرسیون بررسی توام اثر نوسان جنوبی بر بارش و رطوبت نسبی ایستگاه‌های مختلف کشور

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر آب دریاها و اقیانوس‌ها تاثیر بسزایی دارد و بایستی با توجه به سناریوهای تغییر اقلیم این مسئله در پژوهش‌های آینده مد نظر قرار گیرد تا نتایج بهتری برای بررسی و تحلیل شاخص‌های دورپیوندی بدست آید. به طور مثال توجه به متغیرهای بیشتر در خصوص بررسی تغییرات و آنومالی آب‌های سطح اقیانوس‌ها که تاثیر بسزایی در تغییر سیکل فاز دور پیوندی‌ها ایفا می‌کنند، از جمله فشار سطح دریا، مولفه باد، جریان‌ات تراز ۸۵۰ در ارتفاع ۱۴۷۰ کیلومتری سطح زمین، رطوبت نسبی و رطوبت ویژه پیرامون اقیانوس‌ها و دریاها در سناریوهای مختلف خصوصا گزارش ششم هیئت بین الدول تغییر اقلیم مورد بررسی قرارگیرد. همچنین استفاده از داده‌های بازتحلیل از جمله داده‌های ERA5 اتحادیه اروپا می‌تواند در پژوهش‌ها به نتایج دقیق‌تری منجر شود. در خصوص آینده نگری دور پیوندی‌ها نیز بایستی توجه ویژه‌ای به سناریوهای تغییر اقلیم داشت تا بتوان پیش‌بینی درستی از وضعیت دور پیوندی‌ها و تغییرات آن‌ها در آینده داشت و نتیجه گیری‌های دقیق و درستی را از آن استخراج کرد.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- بنایان، محمد، سنجانی، سارا، علیزاده، امین، لطف آبادی، صادق و محمدیان، علی. (۱۳۸۹). ارتباط بین شاخص‌های اقلیمی، شاخص خشکی و عملکرد محصولات دیم در شمال شرق ایران. *تحقیقات محصولات زراعی*، ۱۱۸(۲)، ۱۱۴-۱۰۵.
- پورعسگر، فرناز، قائمی، هوشنگ، جهانبخش، سعید و ساری صراف، بهروز. (۱۳۹۲). بررسی شار رطوبت از دریاها و مجاور در دوره‌های مرطوب و خشک زمستان در قسمت جنوبی کشور. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*، ۱۳۹۲(۱۵)، ۱۶-۲.
- جاوری، مجید. (۱۳۹۲). اندازه گیری روندها و رژیم‌های بارندگی با استفاده از الگوهای فصلی در ایران.
- حیدری، مجید گندمکار، رضا و باقری، سعید. (۱۳۹۶). بررسی رابطه بین الگوهای اتصال اقیانوس اطلس شمالی با میانگین حوضه دریای مازندران. *جغرافیا و مطالعات محیطی*، ۲۰(۲)، ۱۴۷-۱۳۹.
- خجسته غلامی، وحید، صلاحی، برومند و محمدی، غلامحسن. (۱۳۹۱). تجزیه و تحلیل وقوع همزمان فازهای نوسان اقیانوس اطلس شمالی و شمالی با فازهای انسو و تأثیر آن بر دمای زمستان در ایران. *تحقیقات جغرافیایی فیزیکی*، ۵۴(۳)، ۳۶۷-۳۶۴.
- خدادی، محمد مهدی، آزادی، مجید و قائمی، هوشنگ. (۱۳۹۲). نقش سیستم‌های سینوپتیکی گذرا در انتقال فصلی رطوبت بر فراز ایران. *پژوهش‌های اقلیم شناسی*، ۱۳۹۲(۱۵)، ۴۷-۶۲.
- دهقانی، مجید، صالحی، سمیه، موسوی، امیر، نبی پور، نرجس، شمشیربند، شاه ابودین، و قمیسی، پدرام. (۱۳۹۹). تحلیل فضایی بارش فصلی در ایران: هم‌واربایی با شاخص‌های اقلیمی. *ISPRS International Journal of Geo-Information*، ۲، ۹۰۷۳-۹.
- رسولی، علی اکبر، بابائیان، ایمان، قائمی، هوشنگ و زواررضا، پیمان. (۱۳۹۰). رابطه بین بارندگی فصلی ایران و دمای آب‌های منطقه‌ای.

- طبری، حسین، و طلایی، پرویز. (۱۳۹۲). شاخص رطوبت برای تحلیل‌های مکانی و زمانی ایران. *تغییر جهانی و سیاره‌ای*، ۱۰۰، ۳۹-۲۸.
- طبری، حسین، و ویلیامز، پاتریک. (۱۳۹۵). شدت بارش روزانه در ایران: ناهنجاری‌های دهه ای و عوامل احتمالی مجله JAWRA/انجمن منابع آب آمریکا، ۵۲ (۲)، ۵۴۱-۵۵۹.
- طبری، حسین، طلایی، پرویز، ح.، صومعه، شیفته، و ویلیامز، پاتریک. (۱۳۹۳). تأثیرات احتمالی نوسانات اقیانوس اطلس شمالی بر تبخیر و تعرق مرجع زمستانی در ایران. *تغییرات جهانی و سیاره‌ای*، ۱۱۷، ۳۹-۲۸.
- طبری، حسین، و آفانلو، محمد باقر. (۱۳۹۲). الگوی زمانی شاخص خشکی در ایران با در نظر گرفتن روند بارش و تبخیر و تعرق. *مجله بین‌المللی اقلیم‌شناسی*، ۳۳ (۲)، ۳۹۶-۴۰۹.
- عزیزی، قاسم، چهره آرا، تهمینه، و صفرزاد، طاهر. (۱۳۹۳). اثرات همزمان فازهای NAO و SOI بر اقلیم ایران. *جغرافیا و پایداری محیطی*، ۴ (۳)، ۴۳-۵۶.
- قمقماقی، مهدی، بذرافشان، جواد. (۱۳۹۰). رابطه سیگنال‌های اقلیمی در مقیاس بزرگ و مقادیر و الگوهای بارش زمستانی در ایران. *مجله مهندسی هیدرولوژی*، ۲۶ (۳)، ۵۲۲-۱۰۰.
- فاطمی، مهران. (۱۳۹۵). تحلیل فضایی و بررسی الگوهای ارتباط از راه دور با خشکسالی در ایران مرکزی. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۲ (۴)، ۶۱-۴۹.
- کشکی، عبدالرضا، اسدی، مهدی، حاجی محمدی، حسن. (۱۳۹۵). بررسی ساختار جو در هنگام وقوع رعد و برق همراه با بارش شدید باران در شمال شرق ایران. *هیدرولوژی کاربردی و هواشناسی*، ۳ (۱)، ۷۸-۱۰۰.
- گودرزی، مسعود، احمدی، حمزه، و حسینی، سید اسد. (۱۳۹۶). بررسی رابطه بین شاخص‌های اتصال از راه دور بر مؤلفه‌های دما و بارش (مطالعه موردی: ایستگاه‌های سینوپتیک کرج). *مجله اکوهیدرولوژی ایران*، ۴ (۳)، ۲۵-۱.
- محبوبی، علی، بخشش رباط، سلمان، حسین پور، مسعود. (۱۳۹۹). مروری بر برخی مطالعات در مورد تأثیر کشت‌های مخلوط بر بارندگی ایران در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷. *نیوار*، ۴۵ (۱۱۳-۱۱۲)، ۴۳-۲۸.
- محمدرضایی، مریم، سلطانی، سعید، و مدرس، رضا. (۱۳۹۹). ارزیابی تأثیر شاخص‌های اقیانوسی-جوی بر خشکسالی در ایران. *اقلیم‌شناسی نظری و کاربردی*، ۱۴۰، ۲۳۰-۲۱۹.
- ناظم السادات، سیدمحمدجعفر، شفیعی، رضا، قائدمویی، حبیب، نجاری، محسن، ناظم السادات ارسنجانی زهرا، و حاتم، غلامرضا. (۱۴۰۱). تغییرپذیری مکانی-زمانی آلودگی مالاریا در شهرستان چاه بهار ایران: ارتباط با ENSO و تغییرپذیری بارندگی-علوم محیطی و آلودگی-پژوهش ۹۲۹ (۲۷)، ۴۱۷۷۵-۴۱۷۵۷.
- ناظم السادات، سید محمد جعفر، و شیروانی، امین. (۱۳۸۳). کاربرد CCA برای ارزیابی و مقایسه قابلیت SOI و Nion's SST برای پیش‌بینی بارش زمستانه در سواحل دریای خزر. *دانشگاه صنعتی اصفهان-مجله تولید و فرآوری گیاهان زراعی*، ۸ (۱)، ۲۵-۱۱.
- ناظم السادات، سید محمد جعفر، مولائی نیکو، مهدی، بری، دیوید، و سامانی، نوذر. (۱۳۸۵). اجبار ENSO بر تغییر اقلیم در ایران: تجزیه و تحلیل بارش. *مجله علم و فناوری ایران، معامله ب: مهندسی*، ۳۰ (ARTICLE)، ۵۵۵-۵۶۵.
- نیستانی، ابوالفضل، کرمی، خلیل، و غلامی، سیاوش. (۱۳۹۱). بررسی ارتباط احتمالی بین بارش و دما در ایران و ارتباط آن‌ها با گردش‌های مقیاس بزرگ: قدرت طیفی تجمعی و رویکردهای همدوسی مویک. *تحقیقات جوی*، ۱۰۶۱۸۷-۲۷۴.
- هالالی، جلیل، پیشداد، الهام، علیدادی، معصومه، لوک زاده، صدیقه، اسدی اسکویی، ابراهیم و نوروز ولاشیدی، رضا. (۱۳۹۹). بررسی رابطه بین شاخص‌های ارتباط از راه دور اقلیمی و بارندگی پاییزی در حوزه‌های آبخیز ایران. *مجله تحقیقات خاک و آب ایران*، ۵۱ (۸)، ۱۹۳۶-۱۹۲۱.
- هالالی، جلیل، حسین‌ظریف، توران، چراغعلی‌زاده، مجید، و محمدی قلعه‌ای، مهدی. (۱۴۰۰). امکان سنجی استفاده از شاخص‌های ارتباط از راه دور اقلیمی در پیش‌بینی بارش بهاره در حوزه‌های آبخیز ایران. *مجله تحقیقات خاک و آب ایران*، ۵۲ (۳)، ۷۴۹-۷۶۹.

REFERENCES

- Abtew, W., & Melesse, A. M. (2014). Climate teleconnections and water management. Nile River Basin: Ecohydrological Challenges, *Climate Change and Hydropolitics*, 685-705
- Azizi, Cheharara, Tehmina, Safarrad, & Taher. (2014). Simultaneous effect of NAO and SOI phases on Iran's climate. *Geography and Environmental Sustainability*, 12(4), 43-56(In Persian)
- Baltacı, H., Akkoyunlu, B. O., & Tayanc, M. (2018). Relationships between teleconnection patterns and Turkish climatic extremes. *Theoretical and applied climatology*, 134, 1365-1386.
- Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Lotfabadi, S. S., & Mohamadian, A. (2010). Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field crops research*, 118(2), 105-114(In Persian)
- Dahlin, K. M., & Ault, T. R. (2018). Global linkages between teleconnection patterns and the terrestrial

- biosphere. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 69, 56-63
- Dehghani, M., Salehi, S., Mosavi, A., Nabipour, N., Shamshirband, S., & Ghamisi, P. (2020). Spatial analysis of seasonal precipitation over Iran: Co-variation with climate indices. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), 73. (In Persian)
- Fatemi, Mehran. (2016). Spatial analysis and investigation of tele-connection patterns with drought in central Iran. *Earth and Space Physics*, 42(4), 49-61(In Persian)
- Gelcer, E., Fraisse, C., Dzotsi, K., Hu, Z., Mendes, R., & Zotarelli, L. (2013). Effects of El Niño Southern Oscillation on the space-time variability of Agricultural Reference Index for Drought in midlatitudes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 174, 110-128
- Ghamghami, M., Bazrafshan, J. (2021). Relationships between large scale climate signals and winter precipitation amounts and patterns over Iran. *Journal of Hydrologic Engineering*, 26(3), 522-100. (In Persian)
- Ghanghermeh, A. A., Roshan, G. R., & Shahkooeei, E. (2015). Evaluation of the effect of Siberia's high-pressure extension on daily minimum temperature changes in Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1, 1-15.
- Goudarzi, M., Ahmadi, H., & Hosseini, S. A. (2017). Examination of relationship between teleconnection indexes on temperature and precipitation components (Case Study: Karaj Synoptic Stations). *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(3), 1-25(In Persian)
- Guo, L., Li, T., Chen, D., Liu, J., He, B., & Zhang, Y. (2021). Links between global terrestrial water storage and large-scale modes of climatic variability. *Journal of Hydrology*, 598, 126419
- Han, Y., Ma, Y., Wang, Z., Xie, Z., Sun, G., Wang, B., ... & Fan, Y. (2021). Variation characteristics of temperature and precipitation on the northern slopes of the Himalaya region from 1979 to 2018. *Atmospheric Research*, 253, 105481.
- Helali, J., Pishdad, E., Alidadi, M., Loukzadeh, S., Asadi Oskouei, E., & Norooz Valashedi, R. (2020). Investigating the relationship between climate teleconnection indices and autumnal rainfall in Iran watersheds. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(8), 1921-1936. (In Persian)
- Helali, J., Hosseinzahed, T., Cheraghalizadeh, M., & Mohammadi Ghalenei, M. (2021). Feasibility study of using Climate Teleconnection Indices in prediction of spring precipitation in Iran Basins. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(3), 749-769. (In Persian)
- (<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/soi>.)
- Heydari, Gandhamkar, & Bagheri. (2017). Investigating the relationship between the connection patterns of the North Atlantic Ocean and the average of the Mazandaran Sea basin. *Geography and Environmental Studies*, 5(20), 139-147. (In Persian)
- Iqbal, M. A., Penas, A., Cano-Ortiz, A., Kersebaum, K. C., Herrero, L., & del Río, S. (2016). Analysis of recent changes in maximum and minimum temperatures in Pakistan. *Atmospheric Research*, 168, 234-249
- Jaroszewicz, S., Mariani, M. C., Tweneboah, O. K., & Beccar-Varela, M. P. (2024). Multifractal analysis of the Southern Oscillation Index. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 254, 106161.
- Javari, M. (2023). Measuring trends and regimes of rainfall with the use of seasonality patterns in Iran (In Persian).
- Jin, Y. H., Kawamura, A., Jinno, K., & Berndtsson, R. (2005). Quantitative relationship between SOI and observed precipitation in southern Korea and Japan by nonparametric approaches. *Journal of Hydrology*, 301(1-4), 54-65.
- Kalimeris, A., Ranieri, E., Founda, D., & Nor rant, C. (2017). Variability modes of precipitation along a Central Mediterranean area and their relations with ENSO, NAO, and other climatic patterns. *Atmospheric Research*, 198, 56-80.
- Kashki, Asadi, Haji Mohammadi, & Hassan. (2016). Investigating the structure of the atmosphere during the occurrence of thunderstorms with heavy rain in the northeast of Iran. *Applied Hydrology and Meteorology*, 3(1), 0-0(In Persian).
- Khodadi, Azadi, & Ghaemi. (2013). The role of transient synoptic systems in seasonal moisture transport over Iran. *Climatology Research*, 1392(15), 47-62(In Persian)
- Khojateh Gholami, V., Salahi, B., & Mohammadi, G. H. (2012). Analysis of the Simultaneous Occurrence of North and North Atlantic Oscillation Phases with ENSO Phases and its Effect on Winter Temperature in Iran. *JOURNAL OF PHYSICAL GEOGRAPHY RESEARCH*, 54(3), 347-364. (In Persian).
- Mahjoubi, Bakshesh Rabat, Salman, Hosseinpour, & Massoud. (2021). A review of some studies on the effect of intercrops on Iran's rainfall between 1383 and 1397. *Newar*, 45(112-113), 28-43.)In Persian(



- Mariani, L., & Zavatti, F. (2017). Multi-scale approach to Euro-Atlantic climatic cycles based on phenological time series, air temperatures and circulation indexes. *Science of the total environment*, 593, 253-262
- Mohammadrezaei, M., Soltani, S., & Modarres, R. (2020). Evaluating the effect of ocean-atmospheric indices on drought in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 219-230. (In Persian).
- Nazemosadat, S.M.J., Shafiei, R., Ghaedamiui, it., Najjari, M., Nazemosadat-Arsanjani, Z., and Hatam.G. (2022). Spatio-temporal variability of Malaria infection in Chahbahar County, Iran: association with ENSO and rainfall variability- *Environmental science and pollution -Research* 929(27), 41757-41775. (In Persian)
- Nazemosadat, S. M. J., & Shirvani, A. (2004). The Application of CCA for the Assessment and Comparison of the Capability of SOI and Nion's SST for the Prediction of Winter Precipitation over the Caspian Sea Coasts. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 8(1), 11-25. (In Persian)
- Nazemosadat, M. J., Samani, N., Barry, D. A., & Molaii Niko, M. (2006). ENSO forcing on climate change in Iran: precipitation analysis. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B: Engineering*, 30(ARTICLE), 555-565(In Persian)
- Neyestani, A., Karami, K, and Golami, S. (2022). Exploring the possible linkage between the precipitation and temperature over Iran and their association with large-scale circulations: cumulative spectral power and wavelet coherence approaches. *Atmospheric Research*, 274, 106187. (In Persian)
- Pourasghar, Ghaemi, Jahanbakhsh, & Sari Saraf. (2013). Investigating the moisture flux from the nearby seas in the wet and dry periods of winter in the southern part of the country. *Climatology Research*, 1392(15), 2-16(In Persian)
- Rana, S., McGregor, J., & Renwick, J. (2019). Dominant modes of winter precipitation variability over Central Southwest Asia and inter-decadal change in the ENSO teleconnection. *Climate dynamics*, 53, 5689-5707.
- Rasouli Ali Akbar, Babaiyan Iman, Ghaemi Houshang, & Zovarreza Piman. (2011). The relationship between Iran's seasonal rainfall and the temperature of regional water bodies (In Persian)
- Syed, F. S., Giorgi, F., Pal, J. S., & Keay, K. (2010). Regional climate model simulation of winter climate over Central-Southwest Asia, with emphasis on NAO and ENSO effects. *International journal of climatology*, 30(2), 220-235.
- Tabari, H., and Talaee, P.H (2013). Moisture index for Iran spatial and temporal analyses. "*Global and planetary change* 100(2013):11-19. (In Persian)
- Tabari, H., Talaee, P. H., Some'e, B. S., & Willems, P. (2014). Possible influences of North Atlantic Oscillation on winter reference evapotranspiration in Iran. *Global and Planetary Change*, 117, 28-39. (In Persian).
- 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. (In Persian)
- Tabari, H., & Aghajanloo, M. B. (2013). Temporal pattern of aridity index in Iran with considering precipitation and evapotranspiration trends. *International journal of climatology*, 33(2), 396-409. (In Persian)
- Tomaszewska, M. A., & Henebry, G. M. (2020). How much variation in land surface phenology can climate oscillation modes explain at the scale of mountain pastures in Kyrgyzstan? *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 87, 102053.
- Yang, R., & Xing, B. (2022). Teleconnections of large-scale climate patterns to regional drought in mid-latitudes: A case study in Xinjiang, China. *Atmosphere*, 13(2), 230.
- Zou, L., Cao, S., Zhu, Z., & Sanchez-Azofeifa, A. (2021). Assessment of the response of tropical dry forests to El Niño southern oscillation. *Ecological Indicators*, 133, 108390.