

Research paper

The effects of NAO and ENSO on the frequency and intensity of atmospheric rivers in Iran

F. Pazhouhesh¹, M.A. Nasr Esfahani^{2*} and A.R. Ghasemi³

Extended Abstract

Introduction:

There are some well-known large-scale patterns in the earth atmosphere which could affect the faraways locations. Studying these patterns that influence regional climate has led to identify the factors affecting the weather and climate and helps improve prediction of atmospheric phenomena such as wet weather and drought. This research examines the impact of the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) and North Atlantic Oscillation (NAO) on the frequency and intensity of Atmospheric Rivers (ARs), which affect the precipitation of Iran. The Atmospheric Rivers (ARs), the phenomena which were first identified in 1992 time, are long and narrow filamentary pathways that transport about 90% of the water vapor in the atmosphere to the Earth's middle latitudes and transport the moist air of faraway sources around the Earth. They play a significant role in the world's weather and regional hydrology. Previous studies covered the effect of large-scale phenomena on precipitation and temperature, or the detection of the frequency, path, and strength of ARs, individually. Here, the relationship between various phases of the NAO and ENSO and the frequency and strength of ARs are examined.

Materials and Methods:

The six-hour ERA5 reanalysis data, available from 1940, were used from November to May between 1979 and 2020, for computing Integrated water Vapor Transport (IVT) to identify Atmospheric Rivers (ARs). The study area covered from 20°W to 80°E longitude and 10°S to 50°N latitude. The first condition to identify the ARs is recognizing an area where the IVT exceed a certain value of IVT, which is noted as the threshold value. In this study, the IVT threshold was calculated as the 90th percentile of all IVT value computed during the period under study at each point of a 101*61 grid. The geometrical characteristics such as the length of more than 2000 km, the length-to-width ratio of more than 2, and the angle of the main axis of more than 10 relative to the orbits, were applied to identify ARs' regions that affect Iran. The IVT average of ARs' regions over a limited area around Iran (40°E to 64°E longitude and 15°N to 40°N latitude) was used to calculate the intensity of each AR. Afterward, the frequency of ARs, the Odd Ratio (OR), Non-occurrence Ratio (NR), and Occurrence Ratio

1- Ph.D Candidate, Department of Water Engineering, faculty of Agriculture, Shahrood University, Shahrood, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, faculty of Agriculture, Shahrood University, Shahrood, Iran.

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, faculty of Agriculture, Shahrood University, Shahrood, Iran.

* Corresponding Author: mnasr@sku.ac.ir

Received: 2024/12/26

Accepted: 2025/01/22

(OR) were examined in different phases of the ENSO and NAO (neutral and critical phases; negative and positive phases) by a 2*2 cross tables. Also, the intensity of ARs analyzed for different phases of surveyed phenomena. The monthly ENSO index (SOI) were classified in critical positive (negative) mode when its monthly index was more (less) than 7 (-7). In the same way, the +1 (-1) value were used for critical positive (negative) phases monthly NAO index. Neutral phases of ENSO and NAO were defined when monthly index was between the critical value.

Result and Discussion:

The results showed that the annual frequency of ARs affecting Iran varies between 8 and 25. The monthly frequency range is between zero and 6. December and February 1980 received the maximum number of the events (6) of ARs during the studied period. Regarding the results, the frequency percentage of ARs was 55.81 and 67.11 in the neutral phase of the SO and NAO indexes, respectively. In addition, the frequency of this phenomenon was about 26 percent in the negative phase of ENSO which is more than in positive phases. For the positive phase of NAO, the frequency of atmospheric rivers was much higher (4 times) than the occurrence in the negative phase of NAO. The previous studies on the effect of SOI and NAO indexes on the precipitation of Iran showed the negative phase of SOI (or El Nino) and the positive phase of NAO occurred more in wet years. The high occurrence ratio of ARs in the negative phase (positive) of ENSO (NAO) revealed that the results confirmed the former study on the impact of large-scale atmospheric patterns like ENSO and NAO. The intensity of ARs indicated the measure of water vapor transferred by this phenomenon, and this study showed that the monthly average intensity of atmospheric rivers was higher in the negative phases of ENSO and positive phases of NAO. The monthly average of ARs' intensity in the negative phase of SOI was $263.46 \text{ kg/ms}^{-1}$ which was more than that in the neutral and positive phases. In comparison, the monthly average intensity of AR in the positive phase of NAO was $263.04 \text{ kg/ms}^{-1}$ which means that the ARs occurred in negative and neutral phases of NAO experienced lower intensity and transferred less moisture to Iran.

Keywords: SOI, NAO, frequency of Atmospheric Rivers, intensity of Atmospheric Rivers.

Citation: Pazhouhesh, F., Nasr Esfahani, M.A. and Ghasemi, A.R., 2025. The effects of NAO and ENSO on the frequency and intensity of atmospheric rivers in Iran. *Iranian Water Research Journal*, 56, pp. 61-69. <https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2025.15062.2655>



مقاله پژوهشی

تأثیر الگوهای دورپیوند NAO و ENSO بر فراوانی و شدت وقوع رودخانه‌های جوی در ایران

فائقه پژوهش^۱، محمد علی نصر اصفهانی^{۲*} و احمد رضا قاسمی^۳

چکیده

مطالعه الگوهای جوی بزرگ مقیاس که تأثیر معنی‌داری بر شرایط اقلیمی کشور دارند می‌تواند به شناخت عوامل تغییرات آب و هوایی و پیش‌آگاهی از پدیده‌های زیانبخش جوی مانند ترسالی و خشکسالی کمک کند. در این مطالعه به بررسی اثر پدیده‌های نوسان جنوبی (SO) و نوسان اطلس شمالی (NAO) بر فراوانی وقوع و شدت رودخانه‌های جوی پرداخته شد. رودخانه‌های جوی مسیرهای بلند و باریکی هستند که حدود ۹۰ درصد رطوبت جو را در عرض‌های میانی زمین با خود حمل می‌کنند. در این پژوهش از کمیت شار بخار آب تجمعی (IVT) با استفاده از داده‌های بازتحلیل ERA5 در ماه‌های پربارش در کشور (نوامبر تا می) در بازه ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۰ با گام‌های زمانی ۶ ساعته برای شناسایی رودخانه‌های جوی استفاده شد. نتایج نشان داد که درصد وقوع رودخانه‌های جوی در فازهای خنثی SO و NAO به ترتیب ۵۵/۸۱ و ۶۷/۱۱ درصد می‌باشد. فراوانی وقوع رودخانه‌های جوی در کشور در فاز منفی SO یا النینو، ۲۶ درصد و در فاز مثبت NAO بسیار بیشتر (۴ برابر) از فاز منفی این پدیده است. این نتیجه با مطالعات گذشته که این دو فاز را با ترسالی‌های کشور مرتبط دانسته‌اند همخوانی دارد. بررسی شدت رودخانه‌های جوی که با شاخص IVT سنجیده شد نیز نشان داد که شدت این پدیده در فازهای منفی SO و مثبت NAO بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: شاخص SOI، شاخص NAO، شدت رودخانه جوی، فراوانی وقوع.

ارجاع: پژوهش، فائقه، نصر اصفهانی، محمد علی، و قاسمی، احمد رضا، ۱۴۰۴. بررسی کارایی لایه‌نشانی TiO_2 بر بسترهای استیل در حذف *E. coli* با روش فوتوکاتالیستی. مجله پژوهش آب ایران، ۵۶، صص. ۶۹-۶۱. <https://dx.doi.org/10.22034/TWRJ.2025.15062.2655>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

* نویسنده مسئول: mnasr@sku.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۶

مقدمه

هیچ منطقه‌ای را نمی‌توان یافت که از نظر اقلیمی مستقل از دیگر مناطق باشد؛ به‌گونه‌ای که الگوی اقلیمی غالب در یک منطقه، مناطق دیگر را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ataei et al., 2015). تغییرات گردش جو باعث پیدایش الگوهای هوا و جریانات متنوع جوی می‌گردد که در مقیاس‌های زمانی متفاوتی رخ می‌دهند. الگوهای دور پیوند عبارتند از ناهنجاری‌های متناوب و بادوامی که در فشار و گردش‌های جوی در مقیاس کلان روی قلمروهای جغرافیایی وسیع رخ می‌دهند. این الگوهای دورپیوند از تغییر در الگوی امواج جوی و رودبادهای ایجاد می‌شوند و بر الگوی دما، بارش، مسیر رگبارها و موقعیت و شدت رودبادهای در قلمروهای وسیع اثر می‌گذارند (Akbari and Masoudian, 2007). از بین الگوهای دورپیوند می‌توان به نوسان فشار بین مراکز عمل جوی در حوضه اقیانوس اطلس شمالی (North Atlantic Oscillation) و نیز نواحی شرقی و غربی اقیانوس آرام جنوبی (Southern Oscillation) اشاره کرد. تاکنون مطالعات بسیار زیادی در سطح جهان و ایران روی این دو الگو انجام شده است؛ به عنوان مثال Chandran et al. (2016) در بررسی نوسانات دورپیوند در امارات متحده در طول دوره زمانی ۱۹۸۲-۲۰۱۰ بارندگی را با شاخص‌های SOI و IOD (شاخص دو قطبی اقیانوس هند) مرتبط و شاخص NAO را در تغییرات دمایی مؤثر دانستند. Hussein and Al-Asadi (2023) تأثیر شاخص‌های SOI و NAO بر آب و هوای عراق را طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۸ بررسی و همبستگی شاخص NAO با دما را در فصل زمستان و شاخص SOI را بر بارش در فصل پاییز مثبت به‌دست آوردند. Nazemosadat and Ghasemi (2003) در پژوهشی میزان تأثیر پدیده النینو نوسانات جنوبی بر بارندگی ۶ ماهه سرد ۲۲ ایستگاه در استان‌های اصفهان، فارس، خوزستان، چهارمحال و بختیاری، بوشهر و کهگیلویه و بویراحمد را ارزیابی کردند و نشان دادند وقوع لنینا موجب کاهش ۲۰ تا ۵۰ درصدی بارندگی در استان‌های بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد و جنوب فارس می‌شود. همچنین وقوع النینو به‌طور متوسط موجب افزایش ۴۵ درصدی این بارندگی در بیشتر ایستگاه‌ها شده است. Azizi et al. (2014) اثر هم‌زمان فازهای NAO و SOI بر آب و هوای ایران را در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۵ بررسی کردند و دما و بارش پاییز را مؤثر

از این دو پدیده دور پیوند دانستند. (Ataei et al. 2015) به بررسی نقش الگوهای دور پیوند در تغییرات دمایی استان اصفهان پرداختند و تأثیر شاخص NAO را بیش از دیگر شاخص‌ها مطرح نمودند. Toulabi Nejad et al. (2018) نیز به بررسی اثرات NAO بر بارش ایران پرداختند و فاز مثبت این پدیده را در ترسالی‌ها و فاز منفی این پدیده را در خشکسالی‌های شدید غرب ایران مؤثر دانستند. همچنین می‌توان به مطالعات Mahmoudi et al. (2020) در بررسی شاخص NAO در ترسالی‌ها و خشکسالی‌های ایران، SeyyedNezhad Golkhatmi et al. (2021) در همبستگی‌های درون سالانه بارش هفتگی در ایران، Mahjoobi et al. (2021) در بررسی NAO و SOI بر بارش ایران، نیز اشاره کرد.

Nazemosadat and Ghasemi (2004) تأثیر پدیده النینو نوسانات جنوبی بر شدت و احتمال وقوع خشکسالی و ترسالی‌های ایران را بررسی و نشان دادند که در مقایسه با دوره خنثی، رویدادهای النینو به‌طور قابل ملاحظه‌ای شدت و احتمال وقوع دوره‌های خشکسالی پاییزی را به‌ویژه برای مناطق جنوبی کاهش می‌دهد. Ghasemi and Khalili (2006) رابطه معنی‌داری بین دمای فصل زمستان در برخی از ایستگاه‌های ایران و پدیده نوسانات اطلس شمالی گزارش کردند. همچنین Ghasemi and Khalili (2008) در مطالعه‌ی دیگری تأثیر چندین الگوی دورپیوند بر بارش‌های زمستانه ایران را مطالعه و نشان دادند که الگوی NAO بیشترین تأثیر را بر بارش‌های شمال غرب کشور دارد.

اصطلاح رودخانه‌های جوی اولین بار توسط نیول در سال ۱۹۹۲ مطرح و پس از آن با انجام مطالعات بسیاری در سال ۲۰۱۷ در واژه‌نامه هواشناسی ثبت شد (Ralph et al., 2018). رودخانه‌های جوی مسیرهای باریک و طولانی جتی از بخار آب هستند که نقش مهمی در چرخه جهانی آب و هوا و هیدرولوژی منطقه‌ای بازی می‌کنند (Guan and Waliser, 2015). مطالعات بسیاری در زمینه شناسایی این پدیده صورت گرفته است که می‌توان به پژوهش‌های Guan and Waliser (2015) و Reid et al. (2020) در مقیاس جهانی با استفاده از کمیت شار بخار آب تجمعی اشاره نمود. در ایران نیز Dezfuli (2020) نشان داد سیلاب ۲۵ مارس ۲۰۱۹ در غرب ایران ناشی از وقوع یک رودخانه جوی بوده است. همچنین Esfandiari

حدود ۹۰ درصد کشور ایران در محدوده فلات ایران قرار دارد و رشته کوه‌های البرز و زاگرس مهمترین تأثیر را در آب و هوای ایران دارند.

با توجه مطالعات قبلی که انتقال رطوبت از اقیانوس اطلس تا فلات ایران را نشان دادند (Dezfuli, 2020) در این پژوهش محدوده‌ی طول جغرافیایی ۲۰ درجه غربی تا ۸۰ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۱۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی برای شناسایی رودخانه‌های جوی مؤثر بر کشور ایران در نظر گرفته شد تا تمامی پهنه‌های آبی اطراف را شامل شود. دوره زمانی مورد مطالعه از سال ۱۹۷۹ تا سال ۲۰۲۰ در نظر گرفته شد و تمرکز بر ۷ ماه پربارش سال (نوامبر- دسامبر- ژانویه- فوریه- مارس- آوریل- می) بوده است. محدوده‌ی مورد مطالعه در شکل ۱ نمایش داده شده است.

در بیشتر مطالعات مرتبط با رودخانه‌های جوی از کمیت شار بخار آب تجمعی (IVT: Integrated water Vapor Transport) برای شناسایی این پدیده استفاده شده است (Gimeno-Sotelo and Gimeno, 2023). Esfandiari and Rezaei (2022) این کمیت را برای شناسایی رودخانه جوی در خاورمیانه مناسب دانستند. به‌طور خلاصه IVT بیانگر شار بخار آب در ستون جو از سطح زمین تا سطوح بالای وردسپهر است و از معادله (۱) محاسبه می‌شود (Esmaili et al., 2022; Tian et al., 2024):

$$IVT = \sqrt{\left(\frac{1}{g} \int_{sfc}^{300} q u dp\right)^2 + \left(\frac{1}{g} \int_{sfc}^{300} q v dp\right)^2} \quad (1)$$

در این معادله q ، رطوبت ویژه برحسب kg/kg و u و v به‌ترتیب مؤلفه‌های مداری و نصف النهاری باد برحسب ms^{-1} ؛ شتاب گرانش بر حسب ms^{-2} و dp اختلاف فشار بین دو سطح فشار است (Tian et al., 2024). مقدار IVT نیز بر حسب $kgm^{-1}s^{-1}$ محاسبه می‌شود.

در بیشتر مطالعات صورت گرفته حد پایین انتگرال رابطه (۱) فشار سطح دریا برابر با ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در نظر گرفته شده است. این مقدار روی اقیانوس‌ها و دریاها که تقریباً با تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال معادل هستند، مشکلی ایجاد نمی‌کند؛ اما روی خشکی‌ها که عمدتاً فشار سطح زمین کمتر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال است، می‌تواند اطلاعات غیر واقعی به نتایج وارد کند.

با توجه به پیشنهاد Reid et al. (2020) در این مطالعه از داده‌های بازتحلیل ERA5 با تفکیک یک درجه در

(Lashkari and 2021) تأثیر رودخانه‌های جوی در بارش‌های سنگین ایران را تأیید کردند.

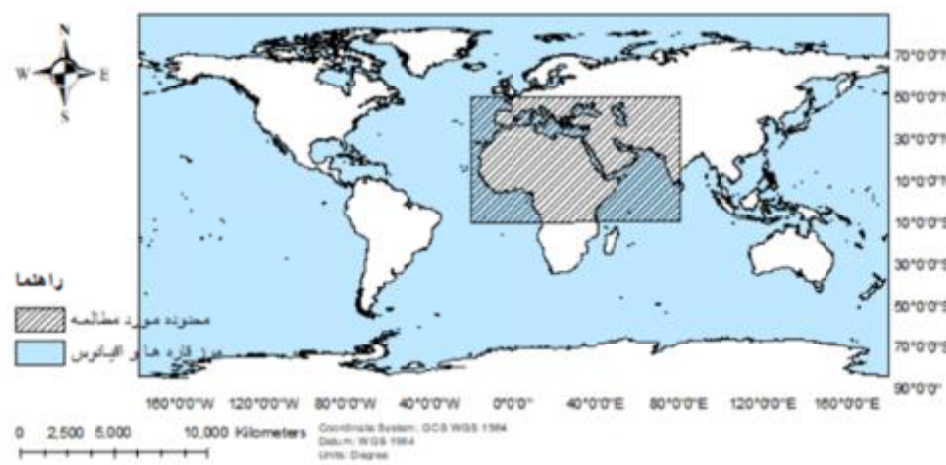
ارتباط بین پدیده رودخانه‌ی جوی و الگوهای دور پیوند نیز مورد توجه برخی پژوهشگران در جهان بوده است. برای نمونه Kim et al. (2019) در بررسی تغییرات فراوانی، شدت و ویژگی‌های فرود رودخانه‌های جوی در وقوع شرایط ENSO در اقیانوس آرام شمالی و غرب آمریکای شمالی در سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶، فازهای مختلف این پدیده را بر فراوانی و انتقال مسیر و فرود این پدیده مؤثر دانستند. با وقوع النینوی اقیانوس آرام شرقی میزان رطوبت و تعداد دفعات رودخانه‌های جوی در سواحل غربی آمریکای شمالی افزایش می‌یابد و با وقوع النینوی اقیانوس آرام مرکزی تعداد رودخانه‌های جوی با شدت زیاد به سمت جنوب غرب ایالات متحده متمایل می‌شوند. Zhou and Kim (2018) در بررسی رودخانه‌های جوی در ارتباط با ENSO در طول سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ در غرب آمریکای شمالی، نشان دادند که بارش رودخانه‌های جوی در شرایط النینو بیشتر در جنوب اتفاق می‌افتد. Zhou et al. (2021) نیز ارتباط رودخانه‌های جوی در سطح جهان را با النینو نوسان جنوبی بررسی و نشان دادند که پدیده النینو در طول زمستان با طول عمر بیشتر رودخانه‌های جوی در عرض ۲۰ تا ۴۰ درجه شمالی ارتباط دارد. همچنین بیان کردند که لائینا باعث کاهش فراوانی رودخانه‌های جوی در شمال شرقی اقیانوس آرام می‌شود. مطالعات بالا از طرفی بیانگر اثر رودخانه‌های جوی بر بارش کشور ایران است و از طرف دیگر مطالعات بین‌المللی نشان از تأثیرپذیری رخداد رودخانه‌های جوی از رخداد‌های دورپیوند از جمله NAO و SO است. در مطالعاتی که در داخل کشور انجام شده است به موضوع دوم یعنی ارتباط وقوع رودخانه‌های جوی با پدیده‌های دورپیوند پرداخته نشده است. از این‌رو در این پژوهش تلاش شده است تا تأثیر پدیده‌های دورپیوندی NAO و SO، بر تعداد رخداد رودخانه‌های جوی و همچنین میزان شدت رودخانه‌های جوی در فازهای مختلف این نوسان‌ها مورد مطالعه و کنکاش قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

کشور ایران در میان دو نصف‌النهار ۴۴ درجه و ۶۴ درجه شرقی و دو مدار ۲۵ درجه و ۴۰ درجه شمالی قرار دارد.

با صدک ۹۰ام مقادیر IVT در همه گام‌های زمانی مورد مطالعه است. بعد از محاسبه مقدار آستانه و شناسایی نواحی که دارای شار رطوبت قابل ملاحظه بوده‌اند، با استفاده از مشخصه‌های هندسی پیشنهادی در مطالعه Reid et al. (2020) که شامل طول بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر، نسبت طول به عرض بیش از ۲ و زاویه‌ی بیش از ۱۰ درجه با مدارهای زمین است، رودخانه‌های جوی وارد شده به کشور ایران شناسایی شد.

راستاهای عرض و طول جغرافیایی و گام زمانی ۶ ساعت برای محاسبه مقدار IVT استفاده شد. مقادیر IVT برای تمام نقاط شبکه مورد مطالعه محاسبه شده است؛ با این حال برای شناسایی رودخانه‌های جوی نیاز به یک مقدار آستانه (IVT_0) می‌باشد. در این مطالعه به جای در نظر گرفتن یک مقدار ثابت IVT_0 برای همه نقاط شبکه مورد مطالعه (مشابه با بیشتر مطالعات قبلی)، برای تک تک نقاط شبکه مقداری متفاوت محاسبه شد. این مقدار برابر



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه در شناسایی رودخانه‌های جوی

شاخص‌های SOI و NAO از جداول توافقی به شکل جدول ۱ و آماره‌های نسبت شانس (Odd Ratio)، نسبت عدم رخداد (Non- Occurrence Ratio) و احتمال وقوع (Occurrence Ratio) استفاده شد.

برای نشان دادن تأثیرگذاری پدیده‌های دور پیوند NAO و SO بر وقوع رودخانه‌های جوی، شاخص ماهانه این دو پدیده در دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۰ برای ماه‌های نوامبر تا می استفاده شد. برای بررسی رخداد و عدم رخداد رودخانه‌های جوی در فازهای بحرانی و خنثی در

جدول ۱- جدول توافقی مورد استفاده در تحقیق

	رخداد پدیده	عدم رخداد پدیده	
فاز بحرانی شاخص/فاز مثبت شاخص	a	b	a+b
فاز خنثی شاخص/فاز منفی شاخص	c	d	c+d
	a+c	b+d	n=a+b+c+d

عنوان حالت بحرانی مثبت (منفی) در نظر گرفته شده‌اند (Nasre Esfahani et al., 2010). شاخص SOI نیز که اختلاف فشار سطح دریا بین اقیانوس آرام شرقی و غربی را نشان می‌دهد و نشانه‌ای از توسعه و شدت رویدادهای النینو یا لانینا در اقیانوس آرام است، با استفاده از اختلاف فشار بین تاهیتی و داروین محاسبه می‌شود. مقادیر منفی

شاخص NAO از اختلاف نرمال شده فشار سطح دریا بین منطق آزر در نواحی جنب حاره اقیانوس اطلس و ایسلند در شمال اقیانوس اطلس به دست می‌آید. میانگین این شاخص صفر و انحراف معیار آن یک است. بر این اساس در مطالعه حاضر، مقادیر شاخص NAO بین +۱ و -۱ به- عنوان وضعیت نرمال و مقادیر بیشتر (کمتر) از ۱ (+۱) به-

$$NR = \frac{b}{a+b} \quad (۳)$$

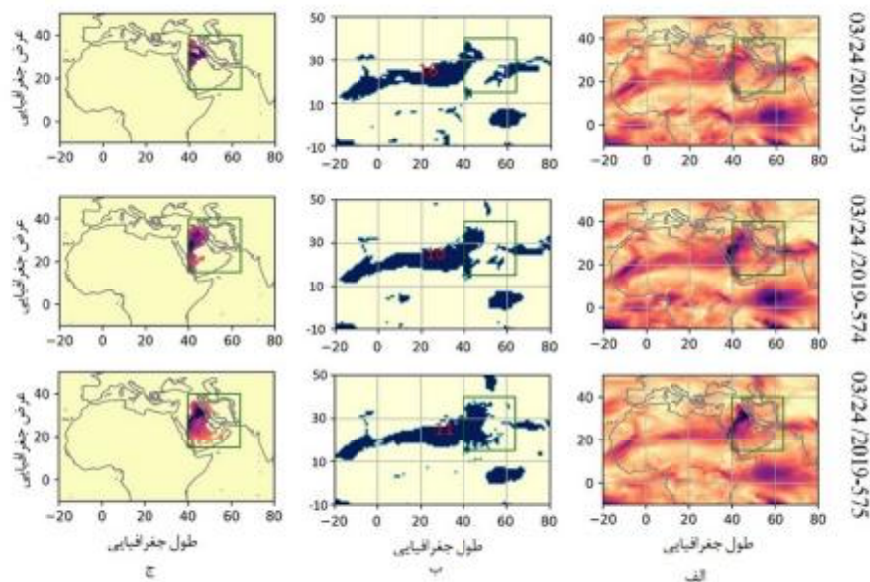
$$PO = \frac{a}{a+b} \quad (۴)$$

در این پژوهش همچنین به بررسی میانگین شدت ماهانه رودخانه‌های جوی در شرایط مختلف دو پدیده‌ی SO و NAO پرداخته شد. در این مطالعه میزان شدت هر رودخانه جوی با استفاده از میانگین مقادیر IVT در ناحیه شناسایی شده رودخانه‌های جوی در محدوده ایران محاسبه شده است (شکل ۲ج).

پایدار SOI کمتر از ۷- پدیده النینو و مقادیر مثبت پایدار SOI بالای ۷+ پدیده لاتینا را نشان می‌دهد و محدوده‌ی میانی مثبت و منفی ۷ نشان‌دهنده فاز خنثی است (<http://www.bom.gov.au-11/14/2024>).

چگونگی محاسبه آماری نسبت شانس (معادله (۲))، نسبت عدم رخداد (معادله (۳)) و احتمال وقوع (معادله (۴)) در ادامه ارائه شده است (Jolliffe and Stephenson, 2003; Azizi et al., 2014).

$$OR = \frac{a/(a+b)}{b/(b+d)} \quad (۲)$$



شکل ۲- نمایش محدوده محاسبه پارامتر شدت رودخانه جوی در هر پدیده (الف) نمایش IVT، (ب) نمایش رودخانه جوی شناسایی شده، (ج) نمایش محدوده محاسباتی میانگین شدت رودخانه جوی در ایران

نتایج و بحث

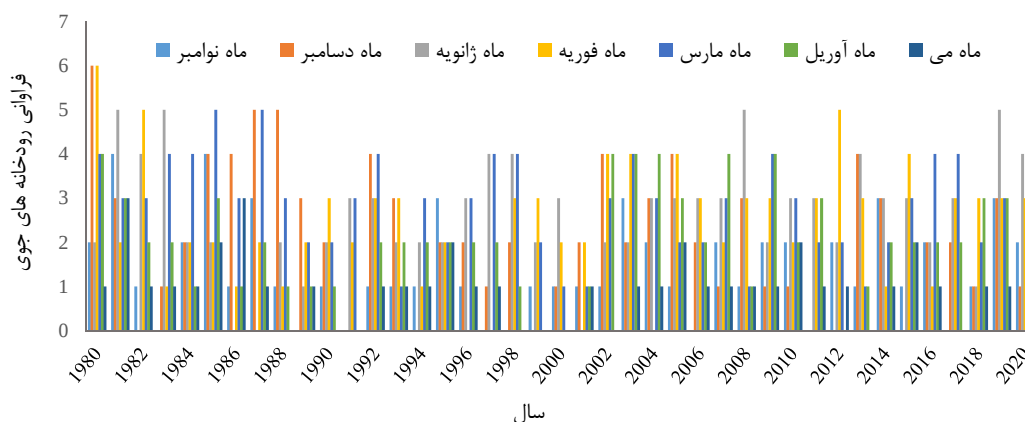
شناسایی نشده است که ماه می بیشترین عدم رخداد رودخانه‌های جوی را دارد. نتایج بررسی تعداد رودخانه‌های جوی در فازهای مثبت و منفی شاخص‌های SOI و NAO در جدول ۲ ارائه شده است. بنابر نتایج ارائه شده در جدول ۲، درصد وقوع رودخانه‌های جوی در فاز مثبت شاخص SOI، ۱۷ درصد می‌باشد و حدود ۲۶ درصد از وقایع رودخانه‌های جوی (تقریباً ۱/۵) برابر تعداد رودخانه‌های جوی در فاز مثبت شاخص SOI در فاز منفی شاخص SOI، که بیانگر شرایط النینو است، رخ داده است. همچنین در بررسی تأثیر فازهای مختلف شاخص NAO، بر تعداد رخداد پدیده‌ی رودخانه‌های جوی می‌توان مشاهده کرد که ۲۶ درصد رودخانه‌های جوی در فاز مثبت بحرانی NAO و حدود ۷ درصد در فاز منفی

شکل ۳ تعداد رودخانه‌های جوی تشخیص داده شده با استفاده از روش Reid et al. (2020) در هر ماه در دوره آماری مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود سال ۱۹۸۰ بیشترین رخداد رودخانه‌های جوی (۲۵ رخداد) را دارد و کمترین رخداد رودخانه جوی در سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ به تعداد ۸ رودخانه جوی در سال است.

تعداد وقوع رودخانه‌های جوی در هر ماه بین صفر تا شش عدد متغیر می‌باشد. بیشترین وقوع رودخانه‌های جوی در ماه‌های دسامبر و فوریه سال ۱۹۸۰ به تعداد شش عدد است. ماه‌هایی از سال‌های مورد مطالعه نیز وجود دارند که طبق الگوی شناسایی این مطالعه رودخانه جوی در آن ماه

شاخص SOI به میزان ۵۶ درصد در فاز خنثی این شاخص قرار دارند و این مقدار برای شاخص NAO، ۶۷ درصد است.

بحرانی رخ می‌دهند. در این میان مشاهده می‌گردد بیشترین تعداد و درصد وقوع رودخانه‌های جوی در



شکل ۳- نمایش فراوانی رودخانه‌های جوی در هر ماه طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۲۰

رودخانه‌های جوی به عدم رخداد این پدیده در فاز بحرانی SOI، ۰/۸۵ و در فاز خنثی برابر با ۱/۱۵ است. بدین ترتیب می‌توان گفت احتمال وقوع رودخانه‌های جوی در فاز خنثی بیشتر از فازهای بحرانی (مثبت و منفی) نوسانات جنوبی (SOI) است. همچنین در بررسی نسبت شانس رخداد به عدم رخداد این پدیده در فازهای منفی و مثبت شاخص SOI، میزان ۲/۰۶ در هنگام وقوع فاز منفی نشان از تأثیر بیشتر فاز منفی SOI در رخداد رودخانه‌های جوی مؤثر بر ایران دارد. احتمال وقوع رودخانه‌های جوی در فاز بحرانی و خنثی به یکدیگر نزدیک است، ولی به تفکیک فازهای بحرانی، این احتمال در فاز منفی شاخص SOI بیشتر و برابر ۰/۹۲ است. بنابر مطالعات صورت گرفته، رودخانه‌های جوی در حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد در بارش‌های سنگین کشور نقش دارند (Esfandiari and Lashkari, 2021) و با توجه به مطالعات Parhizkar and Ahmadi (2012) و Nazemosadat and Ghasemi (2003)، در شرایط النینو (فاز منفی SOI)، در زمستان، بارش‌های خوب زمستانی وجود دارد که در اینجا نیز همسویی مثبت وقوع رودخانه‌های جوی در فاز منفی SOI یا النینو نشان داده شده است. بررسی آماره‌های جدول توافقی (جدول ۵) در فازهای مختلف شاخص NAO، نشان می‌دهد که نسبت شانس رخداد در فاز بحرانی برابر با ۰/۹۴ و در فاز خنثی برابر با ۱/۰۳ است. در بررسی نسبت شانس در فازهای بحرانی (فاز مثبت و منفی) شاخص NAO، میزان ۱/۳۴ نسبت شانس فاز مثبت این

جدول ۲- درصد فراوانی رودخانه‌های جوی در هریک از

فازهای شاخص‌های SOI و NAO		
تعداد	درصد وقوع	
رودخانه‌های جوی	رودخانه‌های جوی	
فاز مثبت SOI	۱۰۶	۱۷/۶۱
فاز منفی SOI	۱۶۰	۲۶/۵۸
فاز خنثی SOI	۳۳۶	۵۵/۸۱
فاز مثبت NAO	۱۵۷	۲۶/۰۸
فاز منفی NAO	۴۱	۶/۸۱
فاز خنثی NAO	۴۰۴	۶۷/۱۱

در ادامه، تحلیل تعداد رخداد رودخانه‌های جوی در شرایط فازهای مثبت و منفی و خنثی شاخص‌های SOI و NAO، با استفاده از جداول توافقی ۳ و ۴ پرداخته می‌شود. نتایج این جدول‌ها نشان می‌دهد که بیشترین تعداد رودخانه‌های جوی در شرایط خنثی SOI رخ داده‌اند. همچنین بیشترین تعداد رخداد رودخانه‌های جوی نیز در فاز خنثی شاخص NAO اتفاق افتاده است (جدول ۳).

همچنین تعداد رخداد رودخانه‌های جوی در فاز منفی SOI (النینو) بیشتر از فاز مثبت (لانینا) است. در مورد شاخص NAO شرایط برعکس می‌باشد و تعداد وقوع رودخانه‌های جوی در فاز مثبت بیشتر است (جدول ۴).

آماره‌های مختلف جداول توافقی بر اساس رخداد و عدم رخداد رودخانه جوی در فازهای بحرانی و خنثی پدیده‌های SO و NAO در جدول ۵ آورده شده است. براساس داده‌های این جدول نسبت شانس رخداد

جدول ۳- جدول توافقی رخداد و عدم رخداد رودخانه‌های جوی در فازهای بحرانی (مثبت و منفی) و خنثی شاخص‌های SOI و NAO

تعداد ماه	رودخانه‌های جوی		
	رخداد	عدم رخداد	
فاز بحرانی SOI	۱۳۳	۱۱۵	۱۸
فاز خنثی SOI	۱۵۴	۱۳۸	۱۶
فاز بحرانی NAO	۱۰۴	۹۱	۱۳
فاز خنثی NAO	۱۸۳	۱۶۲	۲۱

جدول ۴- جدول توافقی رخداد و عدم رخداد رودخانه‌های جوی در فازهای بحرانی (مثبت و منفی) شاخص‌های SOI و NAO

تعداد ماه	رودخانه‌های جوی		
	رخداد	عدم رخداد	
فاز مثبت SOI	۶۲	۴۹	۱۳
فاز منفی SOI	۷۱	۶۶	۵
فاز مثبت NAO	۷۳	۶۶	۷
فاز منفی NAO	۳۱	۲۵	۶

شاخص نشان از رابطه‌ای همسو در وقوع رودخانه جوی دارد. همچنین احتمال وقوع رودخانه‌های جوی در فاز مثبت این شاخص برابر با ۰/۹ است. Toulabi Nejad et al. (2018) نیز در مطالعات خود به افزایش ترسالی در فاز مثبت شاخص NAO در غرب ایران اشاره کرده‌اند. علاوه بر فراوانی وقوع رودخانه‌های جوی، میانگین شدت ماهانه این پدیده در فازهای مختلف پدیده‌های SO و NAO نیز بررسی و نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. همانطور که نتایج ارائه شده در این جدول نشان می‌دهد، میانگین شدت رودخانه‌های جوی در شرایط النینو (فاز منفی شاخص SOI) و فاز مثبت شاخص NAO بیش از سایر شرایط است که با نتایج حاصل از دیگر مطالعات که فاز منفی SOI و فاز مثبت NAO را مؤثر در بارش‌های ایران دانسته‌اند، همخوانی دارد. مقدار این پارامتر که میزان شدت بخار آب حمل شده با رودخانه‌های جوی را نشان می‌دهد، از عوامل بارش‌های سنگین در کشور است.

جدول ۵- نتایج آماره‌های محاسباتی از جداول توافقی ۳ و ۴

آماره	فاز بحرانی	فاز خنثی	فاز منفی	فاز مثبت
نسبت شانس رخداد پدیده در شاخص SOI	۰/۸۵	۱/۱۵	۲/۰۶	۰/۵۸
نسبت شانس رخداد پدیده در شاخص NAO	۰/۹۴	۱/۰۳	۰/۵۹	۱/۳۴
احتمال وقوع در شاخص SOI	۰/۸۶	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۷۹
احتمال وقوع در شاخص NAO	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۸	۰/۹
نسبت عدم رخداد در شاخص SOI	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۲۱
نسبت عدم رخداد در شاخص NAO	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۲	۰/۱

جدول ۶- میانگین شدت رخدادهای رودخانه جوی در فازهای مختلف شاخص‌های SOI و NAO

تعداد رخداد	میانگین شدت ماهانه	
۱۰۶	۲۴۵/۹۳	فاز مثبت شاخص SOI
۱۶۰	۲۶۳/۴۶	فاز منفی شاخص SOI
۳۳۶	۲۵۸/۳۰	فاز خنثی SOI
۱۵۷	۲۶۳/۰۴	فاز مثبت شاخص NAO
۴۱	۲۵۳/۳۵	فاز منفی شاخص NAO
۴۰۴	۲۵۵/۸۶	فاز خنثی NAO

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر پدیده‌های دورپیوندی بر رخداد رودخانه‌های جوی مؤثر بر بارش ایران بررسی شد. با بررسی تعداد و درصد فراوانی وقوع رودخانه‌های جوی در

فازهای مختلف پدیده‌های دورپیوندی اطللس شمالی (NAO) و نوسانات اقیانوس آرام جنوبی (SO)، مشاهده شد که ۵۵/۸۱ و ۶۷/۱۱ درصد از وقایع رودخانه‌های جوی به‌ترتیب در فاز خنثی شاخص‌های SOI و NAO روی می‌دهند. درصد وقوع رودخانه‌های جوی در فاز مثبت NAO در حدود ۴ برابر و درصد وقوع رودخانه‌های جوی در فاز منفی بحرانی SOI در حدود ۱/۵ برابر درصد وقوع رودخانه‌های جوی در فازهای مخالف این شاخص‌ها است. همچنین نسبت شانس فاز خنثی در شاخص NAO، به میزان ۱/۰۳، استقلال رخداد رودخانه‌ی جوی از این پدیده را نشان می‌دهد. نسبت شانس بالا در فاز منفی شاخص SOI و احتمال وقوع ۰/۹۲ این پدیده و همچنین همسویی نسبت شانس رخداد این پدیده در فاز مثبت

منابع

1. Akbari, T. and Masoudian, S.A.A.F., 2007. An analysis of relationship between monthly temperature of Iran and Northern hemisphere. *Research Bulletin of Isfahan University (Humanities)*, 22(1), pp. 117-132. [In Persian]
2. Ataei, H., Javeri, M. and Fanaei, R., 2015. Detection the role of the North Atlantic Oscillation in the formation of the temperature changes in Isfahan. *Journal of Applied Climatology*, 2(1), pp. 69-88. [In Persian].
3. Azizi, G., Chehreara, T. and Safarrad, T., 2014. Simultaneous effects of NAO and SOI phases on Iran's climate. *Geography and Environmental Sustainability*, 4(3), pp. 43-56. [In Persian]
4. Chandran, A., Basha, G. and Ouarda, T.B.M.J., 2016. Influence of climate oscillations on temperature and precipitation over the United Arab Emirates. *International Journal of Climatology*, 36(1), pp. 225-235.
5. Dezfuli, A., 2020. Rare atmospheric river caused record floods across the middle east. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(4), pp. E394-E400.
6. Esfandiari, N. and Lashkari, H., 2021. The effect of atmospheric rivers on cold-season heavy precipitation events in Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 12(2), pp. 596-611.
7. Esfandiari, N. and Rezaei, M., 2022. Automatic detection, classification, and long-term investigation of temporal-spatial changes of atmospheric rivers in the Middle East. *International Journal of Climatology*, pp. 7730-7750.
8. Esmaeili, Z., Nasr-Esfahani, M.A. and Ghadim, S.E., 2022. The role of the Red Sea in moisture feeding of flood events of Iran with emphasis on atmospheric river concept. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 134(3), p. 46.
9. Ghasemi, A.R. and Khalili, D., 2006. The influence of the Arctic Oscillation on winter temperatures in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 85(3), pp. 149-164.
10. Ghasemi, A.R. and Khalili, D., 2008. The association between regional and global atmospheric patterns and winter precipitation in Iran. *Atmospheric Research*, 88(2), pp. 116-133.
11. Gimeno-Sotelo, L. and Gimeno, L., 2023. Where does the link between atmospheric moisture, transport and extreme precipitation matter? *Weather and Climate Extremes*, 39, p. 100536.
12. Guan, B. and Waliser, D.E., 2015. Detection

NAO، با تأثیر فاز مثبت NAO و همچنین فاز منفی SOI در ایجاد ترسالی‌های کشور با دیگر مطالعات همخوانی دارد. همچنین در بررسی شدت رودخانه‌های جوی در فازهای مختلف شاخص‌های مورد مطالعه (NAO و SOI)، شدت بالای این پدیده در فاز منفی SOI و فاز مثبت NAO نشان از ورود رطوبت بیشتر در این شرایط دارد. با توجه به روش‌های متفاوت در شناسایی رودخانه‌های جوی در ادامه پیشنهاد می‌شود فراوانی و شدت وقوع رودخانه‌های جوی با دیگر روش‌ها نیز در ارتباط با پدیده‌های دورپیوند بررسی و مسیر وقوع رودخانه‌های جوی با توجه به فازهای مشخصی از پدیده‌های دورپیوندی چون نوسانات اطللس شمالی و نوسانات اقیانوس آرام جنوبی نیز مطالعه شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از سازمان هواشناسی و وزارت نیرو به خاطر در اختیار قرار دادن داده و اطلاعات و از دانشگاه شهرکرد که حامی مالی این تحقیق می‌باشد تشکر می‌نمایند.

تضاد منافع نویسندگان

در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافع وجود ندارد و این مسئله مورد تایید همه نویسندگان است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از وزارت نیرو و سازمان هواشناسی دریافت شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، نگارش نسخه اولیه

نویسنده دوم: راهنمایی و بازبینی مقاله، کنترل نتایج

نویسنده سوم: ویرایش و بازبینی متن مقاله

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تایید همه آنها می‌باشد.

- Analysis of intera-annual correlations of weekly precipitation with NAO teleconnection in Iran. *Journal of Climate Research*, 1400(45), pp. 15-24. [In Persian]
24. Southern Oscillation Index (SOI), About the SOI, Available online: <http://www.bom.gov.au> (accessed on 14 Nov.2024)
 25. Tian, Y. Yang, Z., Jianping, L., Bin, C., Lin, D. and Dawei, W., 2024. East Asia atmospheric river forecast with a deep learning method: GAN-UNet. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 129(5), e2023JD039311.
 26. Toulabi Nejad, M., Hejazizadeh, Z., Bosak, A., and Bazmi, N., 2018. The Effects of North Atlantic Oscillation on the atmospheric middle level anomaly and precipitation of Iran. Case study: west of Iran'. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 18(49), pp. 19-35. (In Persian).
 27. Zhou, Y., Travis O'Brien, A., Paul Ullrich, A., William Collins, D., Christina Patricola, M. and Alan Rhoades, M., 2021. Uncertainties in atmospheric river lifecycles by detection algorithms: climatology and variability. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(8), pp. 1-22. <https://doi.org/10.1029/2020JD033711>
 28. Zhou, Y. and Kim, H.M., 2018. Prediction of atmospheric rivers over the North Pacific and its connection to ENSO in the North American multi-model ensemble (NMME). *Climate Dynamics*, 51(5-6), pp. 1623-1637.
 - of atmospheric rivers: Evaluation and application of an algorithm for global studies. *Journal of Geophysical Research*, 12, pp. 514-535.
 13. Hussein, M.W. and Al-Asadi, K.A., 2023. Synchronous impact of the North Atlantic Oscillation (NAO) and Southern Oscillation Index (SOI) Poles on Temperature and Rain Over Iraq. *Israa University Journal for Applied Science*, 7(1), 290-302.
 14. Jolliffe, I.T. and Stephenson, D.B., 2003. *Forecast Verification*, Wiley. 240 p.
 15. Kim, H.M., Zhou, Y. and Alexander, M.A., 2019. Changes in atmospheric rivers and moisture transport over the Northeast Pacific and western North America in response to ENSO diversity. *Climate Dynamics*, 52(12), pp. 7375-7388.
 16. Mahjoobi, E., Bakhshesh Robat, S. and Hosseinpour, M., 2021. A review of studies on the effect of teleconnections on precipitation in Iran from 2004 to 2018. *Nivar*, 45(112-113), pp. 29-45. [In Persian]
 17. Mahmoudi, P., Razmjoo, S. and Amir Jahanshahi, S.M., 2020. Overlap of North Atlantic Oscillation (NAO) periodicities with periodicities of droughts and wet years of Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 14(1), pp. 91-104. [In Persian]
 18. Nasr Esfahani, M.A., Ahmadi-Givi, F. and Mohebalhojeh, A.R., 2010. An energetic study of the relation between NAO and the large-scale tropospheric flow in South West Asia. *Journal of the Earth and Space Physics*, 36(3), pp. 131-149. [In Persian]
 19. Nazemosadat, M.J. and Ghasemi, A.R., 2003. 'Six-cold-month Precipitation over Southwestern and Central Iran and its Relation to E1 Ninio Southern Oscillation. *Journal of Water and Soil Science*, 7(3), pp. 1-12. [In Persian]
 20. Nazemosadat, M.J. and Ghasemi, A.R., 2004. Quantifying the ENSO-related shifts in the intensity and probability of drought and wet periods in Iran. *Journal of Climate*, 17(20), pp. 4005-4018.
 21. Ralph, F., Dettinger, M., Cairns, M., Galameau, T. and Eylander, J., 2018. Defining "Atmospheric river": How the glossary of meteorology helped resolve a debate. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(4), pp. 837-839.
 22. Reid, K.J., King, A., Lane, T. and Short, E., 2020. The sensitivity of atmospheric river identification to integrated water vapor transport threshold, resolution, and regridding method. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(20), pp. 1-15.
 23. SeyyedNezhad Golkhatmi, N., Bazrafshan, J., Ghameshlou, A. and Irannejad P., 2021.

