Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Correlation between the NAO index and the occurrence of ARs in Iran

Mostafa karampour[1]✉ | **Yeganeh khamoshian sahneh**[2] | **Zohreh ebrahimi**[3] | **Hamed heidari**[4]

1. Corresponding author, Assistant Professor of Climatology, Lorestan University, Iran. **E-mail:** mostafa_karampoor@yahoo.com
2 PhD student in meteorology, Lorestan University, Iran. **E-mail:** Ykh_s2010@yahoo.com
3. Master's degree in Climate Hazards (Climatology), Golestan University, Iran. **E-mail:**Zohreh73ebrahimi@gmail.com
4. PhD in Meteorology, Lorestan University, Iran. **E-mail:**h.heidari6341@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2022/04/19
Received in revised
2022/05/23
Accepted
2022/06/12
Published
2022/06/20
Published online
2025/09/23

Keywords:
ARs,
Stream Function,
Jet stream,
Correlation,
Sigma.

ABSTRACT

Atmospheric rivers are one of the atmospheric phenomena that generate heavy rainfall and can lead to significant human and financial losses. Understanding the synoptic mechanisms of water vapor flux and atmospheric river formation in the country's atmosphere, as well as revealing the interaction between the NAO (North Atlantic Oscillation) zonal component and the creation and intensification of this atmospheric phenomenon, can greatly improve the predictability of torrential rainfall events. The main goal of this research is to investigate the atmospheric river phenomenon in the Iranian atmosphere and its relationship with the phases of the NAO phenomenon. In this regard, data on the zonal and meridional components of wind, specific humidity, and NAO anomalies were obtained from the NOAA database during the statistical period of 1944–2019. The results showed that during the study period, atmospheric rivers have shifted in terms of longitude and latitude, moving toward the southern half of Iran. A high correlation was observed between the NAO index and meridional flows at levels above 600 hectopascals. Additionally, a sigma value of 0.2101 indicated a strong correlation with the NAO in the area where atmospheric rivers enter the Iranian atmosphere. High-pressure centers play an important role in directing atmospheric rivers. These rivers cannot pass through high-pressure centers and typically exhibit meridional curvature at the outer borders of these centers in the Northern Hemisphere, resulting in southwest and northeast orientations. The primary moisture source for atmospheric rivers entering Iran is the Atlantic Ocean, which is further enhanced by water bodies such as the Red Sea, the Sea of Oman, the Indian Ocean, and the Persian Gulf.

Cite this article: karampour, Mostafa., khamoshian sahneh, Yeganeh., ebrahimi, Zohreh., & heidari, Hamed. (2025). Correlation between the NAO index and the occurrence of ARs in Iran. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (78), 204-219. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.5

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.5

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Water vapor transport has been a prominent topic in meteorology for several decades and has been extensively studied by researchers . Atmospheric rivers are one of the forms of water vapor transport in the atmosphere. These rivers are recognized as one of the climate-related factors in mid-latitude oceans, acting as a climatic feature that can cause linear convective storms over oceans and subsequent heavy rainfall, particularly orographic rainfall. Heavy and widespread rains, sometimes leading to flooding in agricultural and residential areas—especially along rivers—can significantly increase surface water flow. By understanding the mechanisms of water vapor transport and flux in the Iranian atmosphere, as well as revealing the relationship between heavy rainfall and the presence of atmospheric rivers in these areas, this study aims to investigate atmospheric rivers in Iran and the surrounding regions in terms of their formation sources and their relationship with the NAO (North Atlantic Oscillation) index.

Material and Methods

Atmospheric rivers are one of the phenomena studied in climatology. Most research in this field has focused on the eastern coasts of the Pacific Ocean and North America. However, studying atmospheric rivers entering the Iranian atmosphere is equally important. For this purpose, average daily specific humidity data at the 400 hPa level from 1994 to 2013, with a resolution of 0.25° × 0.25°, were obtained from the ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) center in the Interim-ERA dataset. Daily maps were then prepared using GrADS (Grid Analysis and Display System) software for the 400 hPa level, and atmospheric rivers were identified and extracted for subsequent analysis .To investigate the formation mechanism of this phenomenon, zonal (uwnd) and meridional (vwnd) wind data were obtained from the NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) website and processed in the GrADS software environment to produce jet stream maps for several atmospheric rivers. Additionally, to study the spatial changes of this phenomenon during the study period, the average approximate movement path of atmospheric rivers was plotted annually to determine trends in their latitudinal shifts.

Results and Discussion

In the studies conducted for the years 2018 and 2019, atmospheric rivers were most frequent during the cold seasons, particularly in February. On February 18 and 27, 2019, January 25, 2019, and February 5, 2018, atmospheric rivers with lengths exceeding 10,000 kilometers occurred. These rivers originated from the Atlantic Ocean, traversed Africa, crossed the Red Sea, and eventually reached Iran, particularly the southern regions. The moisture content of these rivers exceeded 1 gram per kilogram of air, which is relatively high for the 400 hPa humidity level .On January 25, 2019, many countries were affected by the atmospheric river as it entered the land from the west coast of Africa, where its moisture content decreased (Figure 1-a). In Figure 1-b, a similar atmospheric river structure followed a comparable route but extended further south toward the Persian Gulf, with a wider width compared to the river observed on February 5, 2018. On January 25, 2019, the river's path was slightly more horizontal, a characteristic likely influenced by the associated jet stream, as discussed later in this study.On February 18, 2019, an atmospheric river exceeding 13,000 kilometers in length extended its influence to Pakistan and Bangladesh. The moisture uniformity in this

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

river was relatively consistent, showing no significant differences compared to other atmospheric rivers (Figure 1-c). In terms of moisture content, the highest levels were observed in the atmospheric river on February 27, 2019, which followed a southwest-northeast route into Iran. This phenomenon originated in the South Atlantic Ocean and affected the entire southern region of Iran.

Conclusion

The results showed that during the study period, the occurrence of atmospheric rivers in terms of latitude did not exhibit regular changes over time. However, it can generally be stated that both their length and lower latitudes were more frequently observed in the southern half of Iran. A strong correlation was found between the NAO index and meridional currents at levels above 600 hPa. Additionally, the movement and formation of atmospheric rivers were influenced by subtropical jet streams. High-pressure centers played a significant role in directing atmospheric rivers and facilitating their expansion. These rivers cannot pass through high-pressure centers and typically exhibit meridional curvature at the outer boundaries of these centers in the Northern Hemisphere, resulting in a southwest-northeast orientation. With a sigma value of 0.2101, the flow performance demonstrated a high correlation with the NAO in the occurrence zone of atmospheric rivers entering the Iranian atmosphere. This indicates that flow function can be used to determine the potential of a region for the occurrence of atmospheric rivers (ARs). The primary source of atmospheric rivers entering Iran and surrounding countries is the Atlantic Ocean, which is further enhanced by water bodies such as the Red Sea, the Sea of Oman, the Indian Ocean, and the Persian Gulf.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

بررسی همبستگی شاخص NAO با رخداد ARs ایران

مصطفی کرمپور [1]✉، یگانه خاموشیان صحنه [2]، زهره ابراهیمی [3]، حامد حیدری [4]

۱. نویسنده مسئول، استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه لرستان، ایران. رایانامه: mostafa_karampoor@yahoo.com
۲. دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه لرستان، ایران. رایانامه: Ykh_s2010@yahoo.com
۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مخاطرات آب‌وهوایی (اقلیم‌شناسی)، دانشگاه گلستان، ایران. رایانامه: Zohreh73ebrahimi@gmail.com
۴. دانش‌آموخته دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه لرستان، ایران. رایانامه: h.heidari6341@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۱/۳۰

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۱/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۳/۲۲

تاریخ انتشار:
۱۴۰۱/۰۳/۳۰

تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
ARs،
Stream Function،
Jet Strea،
همبستگی،
سیگما.

چکیده

رودخانه‌های جوی یکی از پدیده‌های اتمسفری مولد بارش‌های سنگین است می‌تواند منجر به خسارات جانی و مالی قابل‌توجهی شود. آگاهی از سازوکار سینوپتیکی شار بخارآب و تشکیل رودخانه جوی در اتمسفر کشور و نیز آشکارسازی در همکنش بین مؤلفه پیوند از دوری NAO و ایجاد و تشدید این پدیده جوی، می‌تواند تا حد زیادی رخدادهای بارش‌های سیل‌آسا را قابل پیش‌بینی‌تر سازد. هدف اساسی این تحقیق آشکارسازی پدیده رودخانه جوی در اتمسفر ایران و ارتباط آن با فازهای پدیده NAO است. در این راستا از داده‌های مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، رطوبت ویژه و آنومالی‌های پدیده NAO، از پایگاه داده‌های NOAA طی دوره آماری ۱۹۴۴-۲۰۱۹، اخذ شد. نتایج نشان داد که در طول دوره‌ی مطالعه رودخانه‌های اتمسفری ازنظر طول و عرض جغرافیایی جابجایی داشته و به عرضه‌ای پایین‌تر به سمت نیمه‌ی جنوبی ایران کشیده شده‌اند. بین شاخص NAO و جریانات نصف‌النهاری در سطوح بالاتر از ۶۰۰ هکتوپاسکال همبستگی بالایی داشت همچنین سیگمای ۰/۲۱۰۱ نشان داد که همبستگی بالایی باNAO در منطقه‌ی رخداد رودخانه‌های اتمسفری وارد به جو ایران وجود دارد، مراکز پرفشار در جهت‌دهی رودخانه‌های اتمسفری نقش مهمی دارند رودخانه‌های اتمسفری نمی‌توانند از مراکز فشار عبور کنند و معمولاً در مرز بیرونی این مراکز در نیمکره‌ی شمالی انحنای نصف‌النهاری پیدا می‌کنند و سبب جهت‌دهی جنوب غربی و شمال شرقی آن‌ها می‌شوند. منبع رطوبتی اصلی رودخانه‌های اتمسفری وارد به ایران اقیانوس اطلس می‌باشد که از سمت پهنه‌های آبی مانند دریای سرخ، دریای عمان، اقیانوس هند و خلیج‌فارس تقویت می‌شود.

استناد: کرمپور، مصطفی؛ خاموشیان صحنه، یگانه؛ ابراهیمی، زهره؛ و حیدری، حامد (۱۴۰۴). بررسی همبستگی شاخص NAO با رخداد ARs ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۸)، ۲۱۹-۲۰۴.
http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.5

CC BY NC

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.
© نویسندگان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]

مقدمه

حمل‌ونقل بخارآب به‌صورت یک موضوع برجسته در علم آب‌وهواشناسی برای بیش از چند دهه در دست بررسی و تحقیق محققان قرار داشته است. یکی از اشکال حمل‌ونقل بخارآب در اتمسفر، رودخانه‌های اتمسفری[1] هستند. رودخانه‌های اتمسفری به‌عنوان یکی از عوامل مرتبط بین آب‌وهوا در اقیانوس‌های عرض‌های میانی شناخته شده است که به‌عنوان یکی از ویژگی‌های اقلیمی می‌تواند طوفان‌های همرفتی خطی بر روی اقیانوس‌ها و متعاقباً بارش‌های سنگین و مخصوصاً اوروگرافیک را ایجاد کند (Ralph et al,2013). همچنین به‌عنوان بخشی از گردش جهانی، مقدار زیادی از انتقال بخارآب موجود در جو را بر عهده دارد. برآورد اولیه از شار بخارآب کمک می‌کند تا هم نقش بادهای سطح پایین را در حمل و انتقال رطوبت بررسی بکند و هم به برآورد دقیق از همگرایی شار بخارآب را بدهد و اگر بررسی‌ها و برآوردها به اندازه کافی دقیق باشند می‌تواند بسیاری از پارامترهای دشوار و مبهم هیدرولوژیکی را نمایان سازد. علاوه بر این اگر مقدار جریان آب هم در بارش دقیق برآورد شود می‌توان به برآورد مقدار آب‌های سطحی و زیرزمینی دست یافت. در مقیاس جهانی و قاره‌ای، انتقال بخارآب دارای پیامدهای مهمی از نظر تنوع اقلیمی و آب‌شناسی است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به انتقال انرژی، تغییر و تبدیلات انرژی خورشیدی، اثر گلخانه‌ای و عامل موردنیاز در اشکال مختلف هیدرولوژیکی و متعاقباً تأثیرگذار بر تنوع زیستی اشاره کرد. اصطلاح رودخانه‌های اتمسفری در متون پژوهشی متعددی در سال‌های اخیر دیده می‌شود. رودخانه‌های اتمسفری به‌صورت راهروهای باریکی هستند که از رطوبت اشباع می‌باشد. تنها بخش کوچکی از بخارآب موجود در رودخانه‌های اتمسفری به برف و باران تبدیل می‌شوند. در حدود ۲۰ یا ۴۰ درصد از بخارآب موجود در یک رودخانه اتمسفری به سطح زمین رسیده و می‌توانند با تأثیرگذاری بر روی پدیده‌های طبیعی مانند سیل و توفان منجر به شکل‌گیری توفان‌های بزرگی نظیر توفان کاترینا شوند. این پدیده بیشتر مناطق فرونتال را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و معمولاً بارش‌های سنگین و سیل‌آسا را به دنبال دارد که با طولی برابر با ۱۰۰۰ و عرضی برابر با ۵۰۰ و عمقی برابر با ۴۰ کیلومتر، بیش از ۹۰ درصد از حمل‌ونقل‌های نصف‌النهاری بخارآب را به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌دهند این در حالی است که تنها ۱۰ درصد از محیط زمین را به خود اختصاص داده است. رودخانه‌های جوی در واقع شامل یک منطقه باریک می‌شود که بیشتر انتقال بخارآب در این مسیر رخ می‌دهد؛ به این منطقه رودخانه‌های جوی می‌گویند (Lavers & Villarini,2015). در این راستا مطالعاتی صورت گرفته که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. (Lavers & Villarini,2013) در مطالعه‌ای ارتباط بین بیشینه سالانه بارش روزانه و رودخانه‌های جوی را بررسی کردند و نشان دادند که عامل بسیاری از بارش‌های روزانه بیشینه در اروپای غربی رودخانه‌های جوی هستند. این ارتباط به‌ویژه در امتداد ساحل اروپای غربی بسیار مشهود است به‌طوری‌که از ۲۲ بارش بیشینه، هشت مورد به دلیل رودخانه‌های جوی بوده است. (Rutz et al, 2014) به ویژگی‌های اقلیمی‌رودخانه‌های جوی و نفوذ سرزمین آن‌ها در سواحل غربی ایالات‌متحده پرداختند. نتایج نشان داد که کاهش بخارآب بیش از موانع مهم توپوگرافی در نابودی AR نقش دارند و AR نقش مهمی در بارش درون خشکی‌ها ایفا می‌کند و توپوگرافی پایین باعث تشدید نفوذ درون سرزمینی AR ها می‌شود. (champion et al, 2015) به دنبال پاسخی به این سؤال که رودخانه‌ای جوی تا چه حد بر سیل‌های رخ داده در تابستان تأثیر دارد، به بررسی ارتباط بین رودخانه‌های جوی و بارندگی‌های شدید با استفاده از دو مجموعه داده جوی با قدرت تفکیک مختلف پرداختند و نشان دادند که حداقل ۳۵ درصد از رودخانه‌های جوی زمستانی و حداقل ۱۵ درصد رودخانه‌ای جوی تابستانی با یک بارندگی شدید همراه هستند و حداقل ۵۰ درصد بارندگی‌های شدید زمستان و ۲۰ درصد بارندگی شدید تابستان شناسایی شده با یک رودخانه جوی همراه بوده است.

(Ryoo et al, 2015) طبقه‌بندی حوادث رودخانه جوی در سواحل غربی ایالات‌متحده پرداختند. نتایج نشان داد که ARs فقط در مسیرهای حاره‌ای به‌ویژه در شمال غربی ایالات‌متحده دارای بارش شدید هستند. علاوه بر این، الگوهای مختلفی حوادث AR از نزدیک با ناهنجاری‌های بالقوه چرخندگی (PV) سطح بالا مرتبط هستند و ۶۶ درصد از وقایع AR با حوادث شکست آنتی‌سیکلونی امواج راسبی همراه است. (Baggett et al, 2016) به بررسی حضور رودخانه‌های جوی

[1] Atmospheric Rivers(ARs)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]

بر فراز اقیانوس آرام در طی عمر چرخه‌های موج مقیاس سیاره‌ای و نقش آن‌ها در گرمایش قطب شمال پرداختند. نتایج نشان داد کمربندهای حامل گرما مرتبط با امواج، در مقیاس سینوپتیک مسیر رطوبت را از جنب حاره به رودخانه‌های جوی منتقل می‌کنند که در هنگام حرکت به سمت قطب صعود می‌کنند و به قطب شمال نزدیک تنگه برینگ نفوذ می‌کنند. (Debbage et al, 2017) به بررسی اقلیم‌شناسی رودخانه‌های جوی با ساحل جنوب شرقی ایالات‌متحده پرداختند. نتایج نشان داد که AR ها در فصل سرما شایع‌ترند و غالباً در خلیج مکزیک رخ می‌دهند. (Ramos et al, 2018) به تأثیر رودخانه‌های اتمسفری در بارش‌های حدی در مجمع‌الجزایر اروپایی ماکارونزی (جزایر آزور، مادیرا و قناری) پرداختند. نتایج نشان داد که تأثیر رودخانه‌های جوی بر بارش‌های حدی در جزایر آزور نسبت به جزایر مادیرا و قناری بیشتر است. (Salimi et al, 2016) به تأثیر رودخانه‌های اتمسفری بر آب‌وهوای ایران پرداختند نتایج حاصل نشان داد که سالانه به‌طور متوسط دوازده رودخانه اتمسفری تشکیل می‌شود که رطوبت بخشی از بارش‌های ایران را تأمین می‌کنند. (Akbary et al, 2019) بررسی تغییرات زمانی و مکانی رودخانه‌های اتمسفری در منطقه MENA پرداختند. نتایج نشان داد در بیشتر از ۹۰ درصد موارد رودخانه‌های اتمسفری منطقه موردمطالعه، جریان جنوب غربی- شمال شرقی دارند. همچنین رودخانه‌های اتمسفری منطقه MENA در مقصد خود دچار همگرایی می‌شوند و مکش هوایی باعث تمرکز رودخانه‌های اتمسفری در این منطقه شده است لذا با توجه به اهمیت موضوع و همچنین با توجه به نوسانات و سیستم‌های گردشی اقلیمی، جریانات و جبهه‌های هوا در منطقه موردمطالعه ، در این پژوهش به بررسی تغییرات زمانی و مکانی استقرار رودخانه‌های اتمسفری در منطقه و همبستگی آن با شخص NAO پرداخته می‌شود و علاوه بر آن سعی خواهد شد نوع سیستم جوی، شکل سیستم و مقدار حامل‌های رطوبتی این سیستم‌ها شناسایی شوند و از منظر نوع کاربری‌هایی که از عناصر تولیدی این سیستم‌ها (بارش) بکار گرفته می‌شود به تعیین منشأ و مسیر حرکت آن‌ها پرداخته شود به‌ویژه این‌که منطقه موردنظر در سال‌های اخیر با مخاطرات جوی مختلف از جمله توفان‌های گردوغبار، سیل، خشک‌سالی و غیره اشاره کرد. اگرچه مطالعات بسیاری در این زمینه انجام شده است و حاکی از ارتباط بارش‌های شدید و وقوع سیل با رودخانه‌های جوی بوده است که نقش مهمی در منابع آب ایفا می‌کند، اما تاکنون این پژوهش‌ها فقط به مناطقی از اروپا و آمریکا محدود شده است. با توجه به مطالعات می‌توان گفت بیشتر سیل‌های شدید که پیامد بارش‌های سنگین هستند، دارای یک منبع رطوبتی قوی بوده و در بیشتر موارد متأثر از رودخانه‌های جوی بوده‌اند. درباره کشور ایران باید گفت که اگرچه بارش میانگین کشور ایران در مقایسه با دیگر نقاط کره زمین مقدار زیادی نیست، ولی وقوع بارش‌های سنگین و بی‌هنجار نیز به‌ویژه در مناطق غربی و جنوبی کشور دور از انتظار نیست. بنابراین، با توجه به تعریف رودخانه‌های جوی انتظار می‌رود که سازوکار مشابهی برای انتقال رطوبت مناسب به کشور در این‌گونه موارد وجود داشته باشد. لذا در این راستا هدف اساسی این تحقیق آشکارسازی تأثیرپذیری رخدادهای بارش‌های شدید فراگیر کشور از تعامل و درهمکنش دو پدیده NAO و Ars می‌باشد.

روش‌شناسی

داده‌های مورداستفاده

در جدول (۱) داده‌های مورداستفاده در تحقیق ارائه شده است. در این تحقیق از ۳ دسته داده استفاده شده است. ابتدا داده‌های میانگین روزانه رطوبت ویژه سطح ۴۰۰ هکتوپاسکال از ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۹ با دقت فضایی ۰/۲۵ درجه قوسی از پایگاه ECMWF، نسخه ERA-Interim دریافت شد. از این داده‌ها برای آشکارسازی و تحلیل وضعیت شار رطوبت در رخدادهای بارش‌های سنگین استفاده خواهد شد. دسته دوم از داده‌ها، داده‌های مربوط به جریان وزش یا مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد است. این دو مؤلفه یعنی Uwnd و Vwnd، از پایگاه جوی اقیانوسی ایالات‌متحده NOAA، اخذ گردید. از این داده‌ها برای آشکارسازی جت استریم و نیز وزش رطوبت و آشکارسازی رودخانه‌های جوی استفاده شد. در نهایت دسته سوم از داده‌ها، مربوط به مقادیر سری زمانی شاخص نوسان آتلانتیک شمالی (NAO)، است که این داده‌ها در مقیاس سالانه از پایگاه جوی اقیانوسی ایالات‌متحده اخذ گردید.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]

جدول (۱). داده‌های مورداستفاده در تحقیق

نام داده‌ها	منبع اخذ داده‌ها	استفاده
رطوبت ویژه (Shum)	Ear-Interim	آشکارسازی شار رطوبت ویژه در سطح منطقه-
مؤلفه‌های باد، (Uwnd-Vwnd)	NOAA-ESRL	آشکارسازی و استخراج رودخانه جوی
NAO	NOAA-ESRL	آشکارسازی رخداد رودخانه جوی با پدیده تلکنکشن NAO

برای آشکارسازی وضعیت شار رطوبت ویژه در سطح منطقه، اقدام به فراخوانی داده‌های رطوبت ویژه برای تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال در روزهای توأم با رخدادهای بارش حدی گردید. همچنین برای بررسی مکانیسم شکل‌گیری پدیده رودخانه جوی، اقدام به فراخوانی داده‌های Uwnd و Vwnd، برای ترازهای ۸۵۰، ۶۰۰، ۵۰۰ و ۴۰۰ در محیط نرم‌افزار گردس، گردید. همچنین جهت بررسی تغییرات مکانی این پدیده طی دوره موردمطالعه، متوسط مسیر حرکت تقریبی این رخداد به‌صورت سالانه بر روی نقشه ترسیم گردید تا روند تغییرات آن‌ها در عرض‌های مختلف جغرافیایی مشخص گردد. با توجه به تجارب علمی بهترین شاخص مرتبط با رخداد رودخانه‌ی اتمسفری ایران، شاخص NAO می‌باشد به همین جهت همبستگی بین شاخص NAO با بادهای نصف‌النهاری[1] برای سطوح ۸۵۰، ۶۰۰، ۵۰۰ و ۴۰۰ هکتوپاسکال محاسبه شد و خروجی به‌صورت نقشه ارائه گردید همچنین همبستگی بین عملکرد جریان[2] برای سیگمای ۰,۲۱۰۱ با شاخصNAO برای سه سال ۲۰۱۷-۲۰۱۹ به‌صورت خروجی نقشه محاسبه گردید.

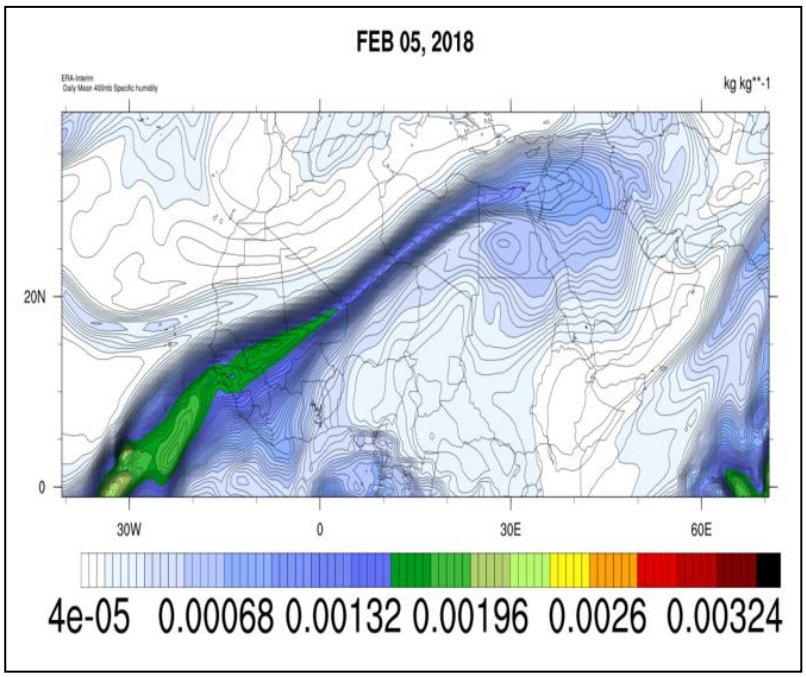
نتایج و بحث

در این پژوهش به بررسی رودخانه‌های اتمسفری در سال‌های ۱۹۹۴-۲۰۱۹ پرداخته شده است که جهت بررسی هر بخش از ساختار و مکانیسم و همبستگی آن‌ها با شاخص‌های پیوند از دور از سال‌های متفاوتی استفاده شده است. همان‌طور که در شکل (۱) دیده می‌شود ایران جزو محدود کشورهایی است که رودخانه‌های اتمسفری بر اتمسفر آن تأثیر می‌گذارند رودخانه‌های اتمسفری مناطق ساحلی دارای ارتفاع کمی هستند و رطوبت خیلی زیادی دارند اما رودخانه‌های اتمسفری وارد شده به مناطق خشک و قاره‌ای به دلیل تأثیرات توپوگرافی سطح زمین در ارتفاعات بالاتر معمولاً ۴۰۰ هکتوپاسکال نمایان می‌شوند (اکبری و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعاتی که در این پژوهش صورت گرفت برای دو سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ بیشترین رودخانه‌های اتمسفری برای فصول سرد سال به‌ویژه ماه فوریه رخ داده است. در تاریخ ۱۸ و ۲۷ فوریه ۲۰۱۹ و ۲۵ ژانویه ۲۰۱۹ و ۵ فوریه ۲۰۱۸ رودخانه‌های اتمسفری با طول بیش از ۱۰ هزار کیلومتر رخ داده‌اند که سرچشمه‌ی همه‌ی آن‌ها از اقیانوس اطلس می‌باشد که وارد افریقا شده و سپس از دریای سرخ عبور کرده و در ادامه به سمت کشور ایران به‌ویژه جنوب این کشور رسیده است. مقدار رطوبت حامل این رودخانه‌ها به بیش از ۱ گرم در هر کیلوگرم هوا رسیده است که برای سطح ۴۰۰ رطوبت نسبتاً خوبی است. در ۲۵ ژانویه کشورهای زیادی تحت تأثیر زبانه‌ی رودخانه‌ی اتمسفری در مقصد این پدیده شده‌اند. به‌مرور که از سمت سواحل غربی افریقا وارد خشکی‌ها شده از مقدار رطوبت آن کاسته شده است شکل (۱-الف). در شکل (۱-ب)، نیز به همین ساختار رودخانه‌ی اتمسفری به وجود آمده است و دارای مسیری مشابه رودخانه‌ی مذکور است ولی به سمت خلیج‌فارس تأثیرات خود را گذاشته و جنوبی‌تر از رودخانه‌ی ۵ فوریه ۲۰۱۸ است و عرض آن نیز بیشتر می‌باشد. در ۲۵ ژانویه ۲۰۱۹ مسیر رودخانه کمی افقی‌تر است که دلیل آن را باید در جت استریم مربوط به آن در ادامه‌ی این پژوهش مشاهده نمود. در ۱۸ فوریه ۲۰۱۹ نیز رودخانه‌ی اتمسفری با طول بیش از ۱۳ هزار کیلومتر با قدرت بالایی تا کشور پاکستان و بنگلادش گسترده شده است یک نواختگی رطوبت در این رودخانه‌ی اتمسفری نسبتاً خوب است و تفاوت چشمگیری مثل دیگر رودخانه‌های اتمسفری ندارد شکل (۱-ج). از نظر مقدار رطوبت، بیشترین مقدار رطوبت متعلق به رودخانه‌ی اتمسفری

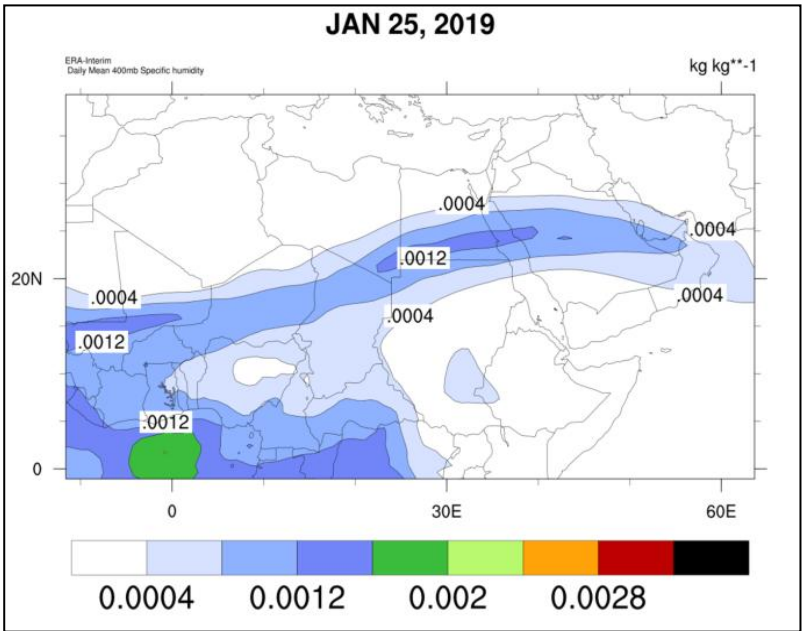
[1]-MERIDONAL WIND
[2]STREAM FUNCTION

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]

۲۷ فوریه ۲۰۱۹ می‌باشد که دارای مسیری جنوب غربی شمال شرقی به ایران است منشأ این پدیده را می‌توان اقیانوس اطلس جنوبی نامید که کل منطقه جنوبی ایران را تحت تأثیر خود قرار داده است.



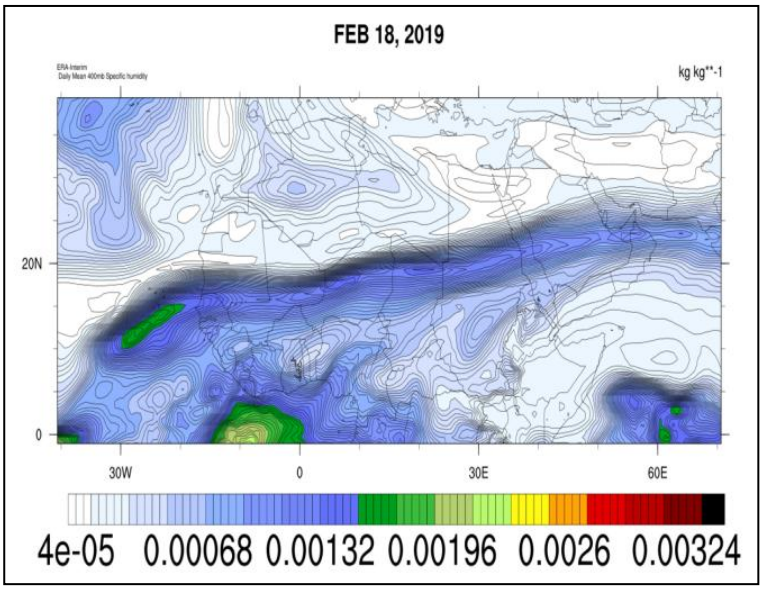
الف: رودخانه‌ی اتمسفری ۵ فوریه ۲۰۱۸



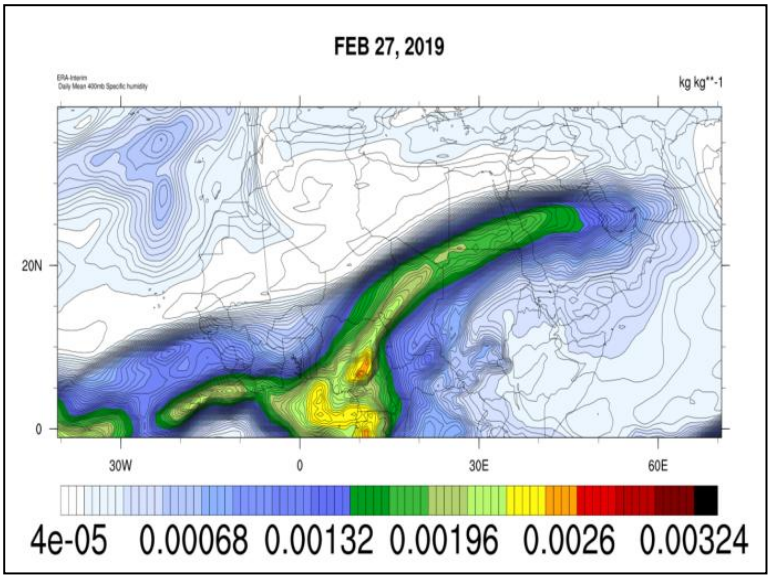
ب: رودخانه‌ی اتمسفری ۲۵ ژانویه ۲۰۱۹

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]



ج: رودخانه‌ی اتمسفری ۱۸ فوریه ۲۰۱۹



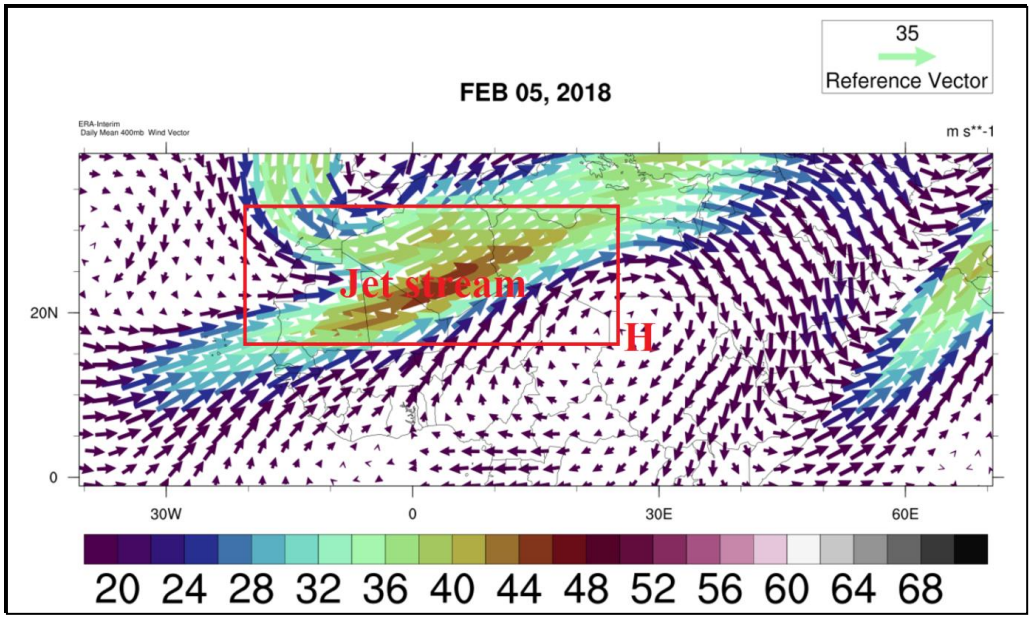
د: رودخانه‌ی اتمسفری ۲۷ فوریه ۲۰۱۹

شکل (۱). نقشه رودخانه‌های اتمسفری مؤثر بر ایران سطح ۴۰۰ هکتوپاسکال

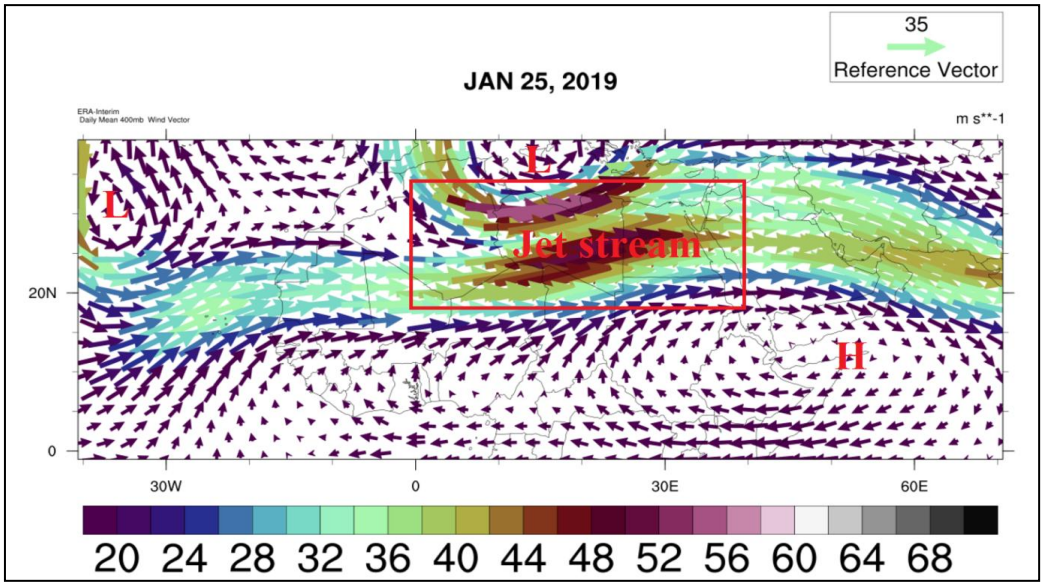
رودخانه‌های اتمسفری توسط پدیده‌ی ثانوی به نام جت استریم تولید و هدایت می‌شوند جت استریم‌های جنب حاره نقش خیلی مهمی در عملکرد رودخانه‌های اتمسفری دارند مکانیسم درون یک جت استریم سبب کشش رطوبت به سطح ۴۰۰ هکتوپاسکال شده و از آنجا که بیشترین سرعت جت استریم در هسته‌ی آن قرار دارد به‌طوری‌که نسبت به اطراف از شدت و سرعت جریان هوا و متعاقباً قدرت مکانیسم آن کاسته شده بنابراین رطوبت نیز بیشتر جذب مرکز جت استریم‌ها می‌شود. در بررسی همه‌ی روزهای همراه با رخداد رودخانه‌ی اتمسفری، جت استریمی همراه با آن در همان سطح رخداد رودخانه‌ی اتمسفری یا بالاتر از آن مشاهده می‌شود در شکل (۲) تعدادی از آن‌ها آورده شده است در همه‌ی موارد جت استریم به‌صورت تکی یا جفت عمل می‌کنند. مراکز فشار نیز نقش بسزایی دارند این مراکز در هدایت و انتقال و گسترش رودخانه‌های اتمسفری نقش مهمی داشته و به جت استریم ها کمک می‌کنند. در شکل (۲-ج) می‌توان مشاهده کنید که چرا رودخانه‌ی اتمسفری رخداده در این تاریخ به‌صورت افقی است دلیل آن را می‌توان در افقی بودن جت استریم دانست. در همه‌ی حالات هسته‌ی جت استریم‌ها به سرعت ۵۰-۶۰ متر بر ثانیه رسیده‌اند که سرعتی حدود دو برابر سرعت لازم برای

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]

شکل‌گیری جت استریم می‌باشد. در شکل (۲-الف) می‌توان مشاهده نمود یک جت استریم شمالی نیز به جت استریم اصلی پیوسته است در این حالت می‌توان برای (شکل ۱-الف) مشاهده نمود که رودخانه‌ی اتمسفری ضعیفی در این حالت شروع به شکل‌گیری کرده است. پس جت استریم دوگانه می‌تواند رودخانه‌ی اتمسفری دوگانه رو به وجود بیاورد. رودخانه‌ی اتمسفری ۲۷ فوریه حالت نصف‌النهاری پیدا کرده است و جت استریم در جذب و تولید رطوبت و ایجاد رودخانه‌ی اتمسفری نقش اصلی را دارد اما وجود هسته‌ی پرفشار در جلوی مسیر یک رودخانه‌ی اتمسفری سبب انحراف آن به‌دوراز زبانه‌ی فشار شده و به رودخانه‌ی اتمسفری رخداده در این روز، انحنای شمالی و حالت نصف‌النهاری را سبب شده است. منبع رطوبتی اصلی جت استریم‌های منطقه‌ی ایران اقیانوس اطلس می‌باشد اگر جت استریم در طول جغرافیایی ۶۰ درجه شرقی قرار گیرد سبب افزایش طول رودخانه‌ها به بیش از ۱۲ هزار کیلومتر می‌رسد و به کشورهای شرقی ایران نیز منتقل می‌شود البته مراکز فشار نیز در این گسترش نقش مهمی دارند شکل (۱-ج)، شکل (۲-ج).



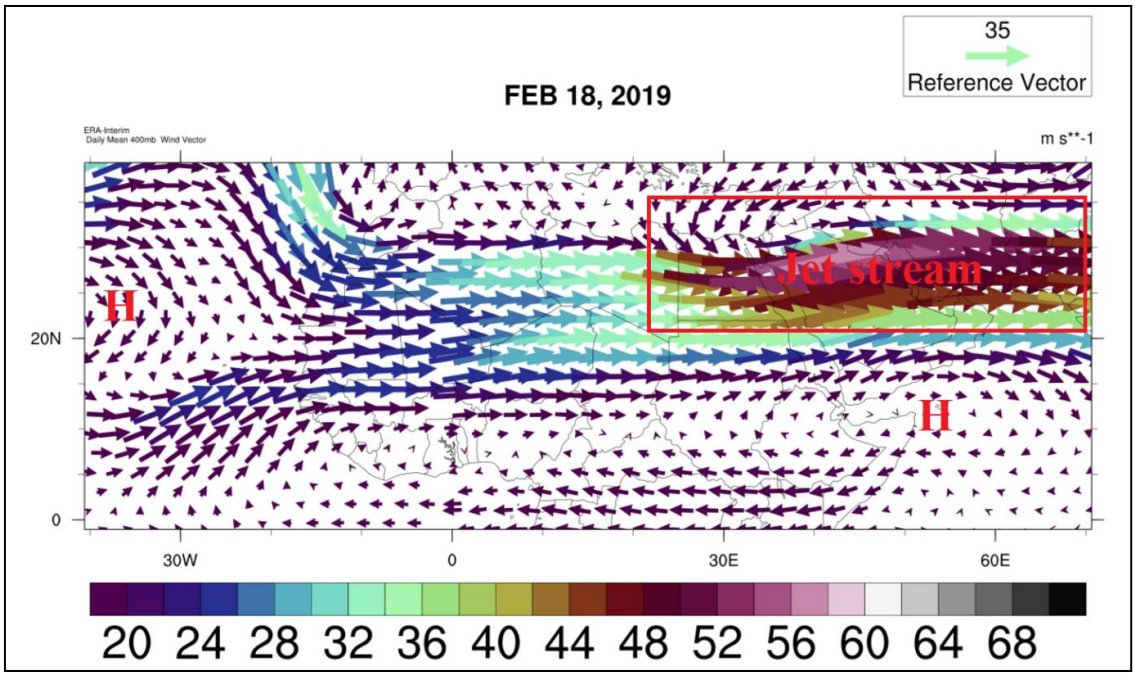
الف:wind vector و jet stream ۵ فوریه ۲۰۱۸ سطح ۴۰۰ HP



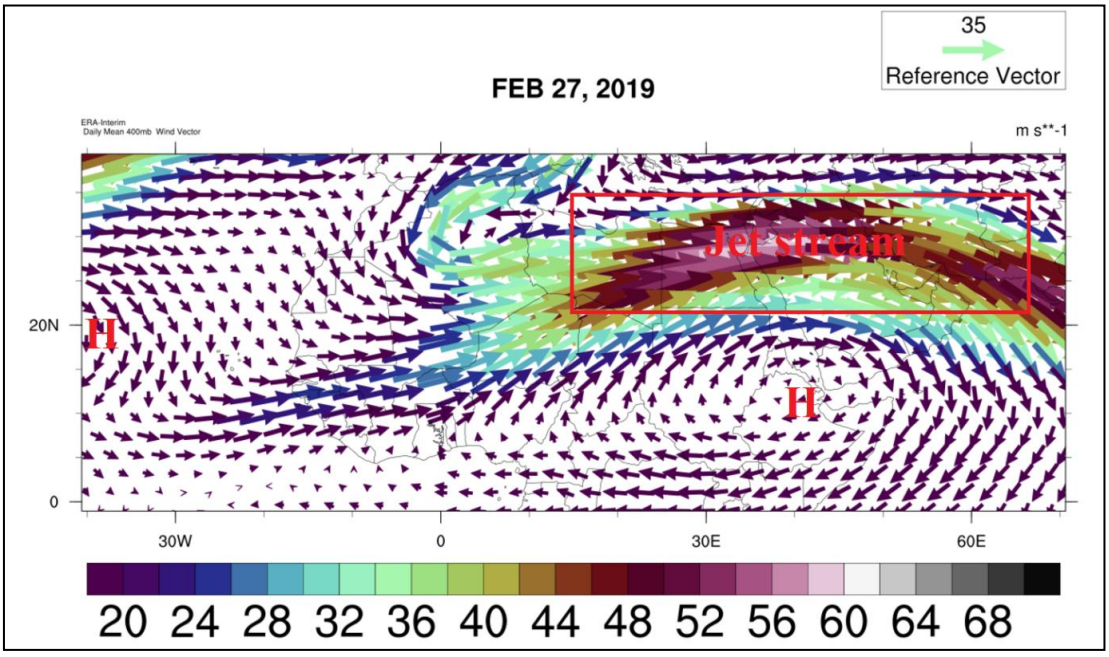
ب: wind vector و jet stream ۲۵ ژانویه ۲۰۱۹ سطح HP۴۰۰

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]



ج:wind vector و jet stream ۱۸ فوریه ۲۰۱۹ در سطح HP ۴۰۰



د:wind vector و jet stream ۲۷ فوریه ۲۰۱۹ در سطح HP۴۰۰

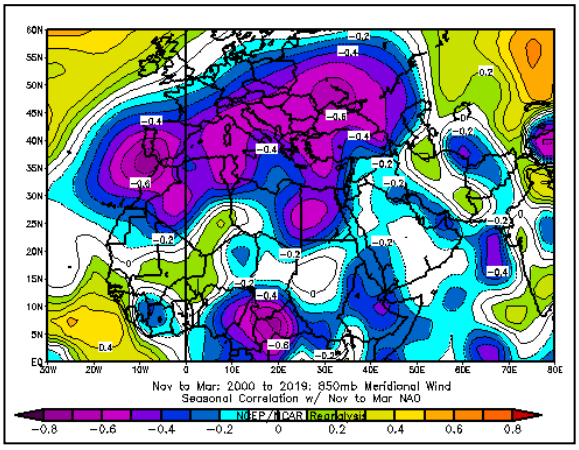
شکل (۲). نقشه جت استریم و بردار باد سطح ۴۰۰ هکتوپاسکال

با توجه به مطالعاتی که سلیمی و همکاران انجام داده‌اند بیشتر رودخانه‌های اتمسفری حاکم بر ایران دارای مسیری جنوب غربی و شمال شرقی هستند بر همین اساس به بررسی همبستگی شاخص NAO با جریانات نصف‌النهاری برای سطوح ۵۰۰، ۶۰۰، ۸۵۰ و ۴۰۰ هکتوپاسکالی برای مسیر عمومی رخداد رودخانه‌ی اتمسفری منطقه موردمطالعه پرداخته شد. در سطح ۸۵۰ متأسفانه همبستگی منفی وجود دارد که دلیل آن را شاید به تأثیرات توپوگرافیکی سطح زمین نسبت داد که باید در این مورد مطالعه شود. در سطح ۶۰۰ همبستگی به حالت مثبت گرایش پیدا کرده است و به‌طوری‌که به سطوح بالاتر که سطح ۵۰۰ و ۴۰۰ می‌باشد مقدار همبستگی مثبت و گسترده‌تر شده است این خیلی جالب است که در مورد رودخانه‌های

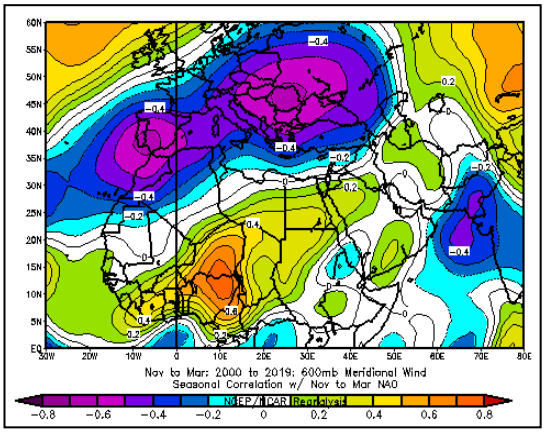
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]

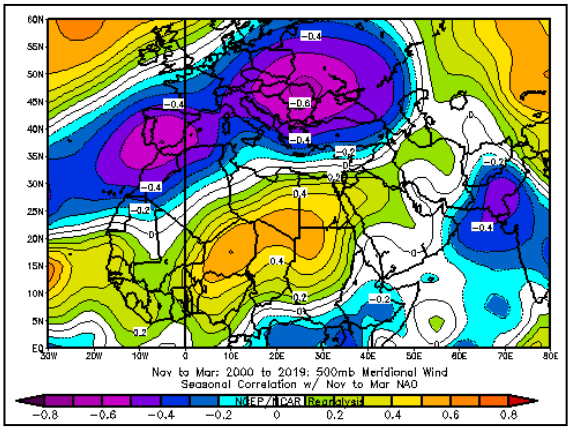
اتمسفری منطقه‌ی موردمطالعه در این پژوهش، مهم‌ترین نوع شاخص پیوند از دور، شاخص اقیانوس اطلس شمالی است که جهت بررسی همبستگی آن با Meridonal wind یا جریانات نصف‌النهاری برای میانگین ماهانه نوامبر تا مارس دوره‌ی بیست‌ساله ۲۰۰۰-۲۰۱۹ نقشه‌های زیر تولید گردید؛ و با توجه به آن بهترین سطح مطالعه‌ی رخداد رودخانه‌ی اتمسفری سطح ۴۰۰ است زیرا بیشترین همبستگی در این سطح وجود دارد و چون منشأ جریانات اقیانوس اطلس می‌باشد پس این سطح، سطح غالب رخداد ARs می‌باشد شکل (۳).



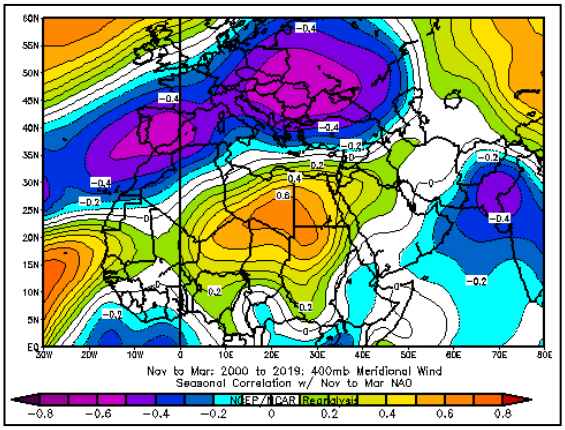
الف: نقشه همبستگی شاخص NAO با جریانات نصف‌النهاری در سطح ۸۵۰ HP



ب: نقشه همبستگی شاخص NAO با جریانات نصف‌النهاری در سطح ۶۰۰ HP



ج: نقشه همبستگی شاخص NAO با جریانات نصف‌النهاری در سطح HP۵۰۰



د: نقشه همبستگی شاخص NAO با جریانات نصف‌النهاری در سطح HP۴۰۰

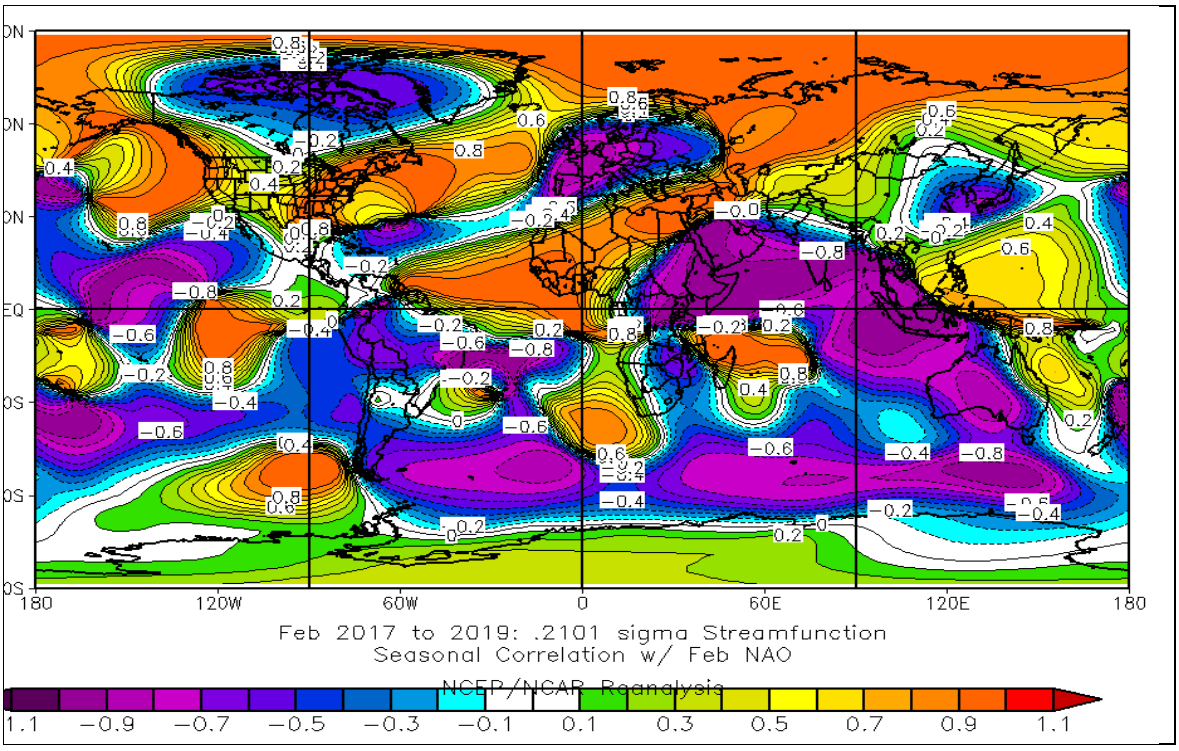
شکل (۳). نقشه همبستگی شاخصNAO با جریان نصف‌النهاری برای سطح ۴۰۰-۸۵۰ در دوره‌ی ۲۰ ساله ۲۰۰۰-۲۰۱۹

از عملکرد جریان می‌توان برای ترسیم خطوط جریان استفاده کرد که نشان دهنده مسیر حرکت ذرات در یک جریان ثابت است. دو نوع عملکرد جریان وجود دارد. عملکرد جریان دوبعدی Lagrange توسط جوزف لوئیس لاگرانژ در سال ۱۷۸۱ معرفی شد (Lagrange, 1781). عملکرد جریان استوکس برای جریان سه‌بعدی بدون محور است و به نام جورج گابریل استوکس نام‌گذاری شده است (Stokes, 1842). چون در جریانات اتمسفری رودخانه‌های اتمسفری ذره بخارآب هم وجود دارد عملکرد جریان را موردبررسی قرار دادیم و در آن از سطوح سیگما استفاده می‌شود سطوح سیگما متفاوت از سطوح فشار است بدین‌صورت که مختصات سیگما اغلب در مدل‌های گردش عمومی جو ترجیح داده می‌شوند زیرا با پیروی از تغییرات توپوگرافی سطح زمین، شرایط لایه مرز پایین را ساده می‌کند. سیگما مختصات عمودی است. به‌عنوان نسبت فشار در یک نقطه معین از جو به فشار سطح زمین در زیر آن تعریف می‌شود. sigma = 1 در سطح زمین است. sigma

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]

0.87 = یک سطح از جو را نشان می‌دهد که در آن فشار ۰/۸۷ برابر فشار سطح است. میانگین فشار سطح دریا ۱۰۱۳hPa است، بنابراین sigma = 0.87 (به‌طور متوسط) با فشار حدود ۸۸۰hPa مطابقت دارد.

با توجه به وجود داده برای سه سال ۲۰۱۷-۲۰۱۹ به بررسی همبستگی بین NAO با عملکرد جریان پرداخته شد و سیگمای ۰/۲۱۰۱ انتخاب گردید نقشه‌ی (شکل ۴) نشان می‌دهد که در ماه فوریه که ماه رخداد رودخانه‌های اتمسفری برای منطقه موردمطالعه است دارای همبستگی بسیار خوب و کامل در منطقه‌ی رخداد مسیر رخداد رودخانه‌های اتمسفری این منطقه است. در پی نتایج این مطالعه می‌توان غیر از مطالعه‌ی جت استریم برای مسیریابی رخداد رودخانه‌های اتمسفری، می‌توان از مطالعه‌ی همبستگی نزدیک‌ترین شاخص پیوند از دور مناطق رطوبتی با عملکرد جریان در سیگمای ۰/۲۱۰۱ استفاده کرد و منطقه‌ی ایده ال برای رخداد رودخانه‌های اتمسفری را شناسایی کرد شکل (۴).

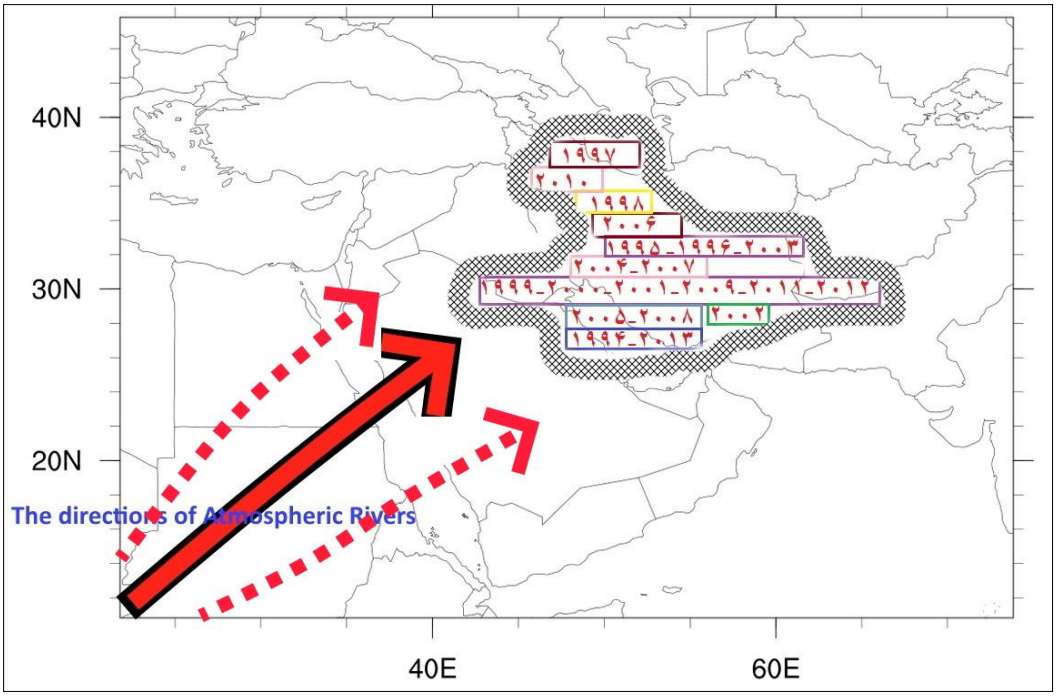


شکل (۴). نقشه‌ی همبستگی عملکرد جریان با شاخص NAO در سطح سیگما ۰,۲۱۰۱ برای ماه نوامبر ۲۰۱۹-۲۰۱۷

در این پژوهش جهت مطالعه‌ی ساختار رودخانه‌های اتمسفری از نمونه داده‌های سال‌های اخیر ۲۰۱۷-۲۰۱۹ استفاده شده است اما جهت بررسی. مطالعه‌ی تغییرات سالانه طی دوره ۲۰ ساله ۱۹۹۴-۲۰۱۳ از این دوره‌ی بلندمدت استفاده شد؛ و در (شکل ۵) نقشه‌ی گرافیکی آن آورده شده است باتوجه به این خروجی می‌توان مشاهده کرد که تغییرات منظمی را نمی‌توان در طول این بیست سال مشاهده نمود و سالانه مقصد این رودخانه‌های اتمسفری در مناطق مختلف، متفاوت بوده است ولی در حالت کلی می‌توان گفت که از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۳ مسیر رودخانه‌های اتمسفری تا حدودی جنوبی‌تر شده‌اند و نیمه‌ی جنوبی ایران را تحت تأثیر خود قرار داده‌اند شکل (۵).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]



شکل (۵). نقشه‌ی تغییرات عرض جغرافیایی رخداد رودخانه‌ی اتمسفری در بازی زمانی ۲۰ ساله ۲۰۱۳-۱۹۹۴

نتیجه‌گیری

اهمیت رطوبت در جو بستگی به موقعیت‌های جغرافیایی در کره‌ی زمین متفاوت است مناطق ساحلی عمدتاً حساسیت بالایی به مقدار رطوبت جو ندارند و بارش‌ها به‌ویژه به‌صورت اوروگرافیک بسیار چشمگیر است. در مناطق قاره‌ای به‌ویژه خاورمیانه و ایران رطوبت از اهمیت بالایی برخوردار است (اکبری و همکاران.۲۰۱۹). جهت بررسی رطوبت در سطح ۴۰۰ که با توجه به مطالعات اکبری و همکاران، سطح رخداد و انتقال رودخانه‌های اتمسفری به ایران است جهت بررسی آن‌ها از داده‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۹ عناصر مختلف اقلیمی همچون داده‌های Vwind,,Function wind, NAO,,wind vector,Shum,Meridonal wind استفاده شد. نقشه‌های لازم تولید گردید نتایج نشان داد که در طول دوره‌ی مطالعه رخداد رودخانه‌های اتمسفری از نظر عرض جغرافیایی در بازه‌ی زمانی دارای تغییرات منظمی نیست ولی به‌طورکلی می‌توان گفت که هم طول آن‌ها بیشتر شده و هم در عرض‌های پایین‌تر به سمت نیمه‌ی جنوبی ایران بیشتر مشاهده می‌شوند. ارتباط بین شاخص NAO و جریانات نصف‌النهاری در سطوح بالاتر از ۶۰۰ هکتوپاسکال دارای همبستگی خوبی است و همچنین مسیر حرکت و ایجاد رودخانه‌های اتمسفری تحت تأثیر جت استریم‌های جنب‌حاره‌ای است. مراکز پرفشار نیز در جهت‌دهی رودخانه‌های اتمسفری نقش بالایی دارند و به گسترش آن‌ها کمک می‌کند. رودخانه‌های اتمسفری نمی‌توانند از مراکز فشار عبور کنند و معمولاً در مرز بیرونی این مراکز در نیمکره‌ی شمالی انحنای نصف‌النهاری پیدا می‌کنند و سبب جهت‌دهی جنوب غربی و شمال شرقی می‌شوند. می‌توان با سیگمای ۰,۲۱۰۱ از عملکرد جریان نشان داد که همبستگی بالایی با NAO در منطقه‌ی رخداد رودخانه‌های اتمسفری وارد به جو ایران وجود دارد، به‌طوری‌که می‌توان از عملکرد جریان برای مشخص نمودن پتانسیل یک منطقه برای رخداد ARs استفاده نمود. منبع رطوبتی اصلی رودخانه‌های اتمسفری وارد به ایران و کشورهای اطراف، اقیانوس اطلس می‌باشد که از سمت پهنه‌های آبی مانند دریای سرخ، دریای عمان، اقیانوس هند و خلیج‌فارس تقویت می‌شود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]

References

Akbary, M., Salimi, S., Hosseini, SA., and Hosseini M. (2019). Spatio-temporal changes of atmospheric rivers in the Middle East and North Africa region, Int J Climatol,1–11. https://doi.org/10.1002/joc.6052.

Baggett, C., Sukyoung Lee, S., and Feldstein, S. (2016). An Investigation of the Presence of Atmospheric Rivers over the North Pacific during Planetary-Scale Wave Life Cycles and Their Role in Arctic Warming, Journal of the Atmospheric Sciences,73(11):4329-4347. https://doi.org/10.1175/JAS-D-16-0033.1.

Champion, A.J., Allan, R.P., and Lavers D.A. (2015). Atmospheric rivers do not explain UK summer extreme rainfall, Geophysical Research: Atmospheres, 120: 6731-6741.

Debbage, N., Miller, P., Poore, S., Morano, K., Mote, T., and Sheppard, JM. (2017). A climatology of atmospheric river interactions with the southeastern United States coastline, Climatol,37:4077–4091. https://doi.org/10.1002/joc.5000

Dettinger, M. (2013). Atmospheric Rivers as Drought Busters on the U.S. West Coast, Hydrometeor, 14, 1721–1732. https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-02.1.

Gimeno, L., Dominguez, F., Nieto, R., Trigo, R. M., Drumond, A., Reason, C., and Marengo, J. (2016). Major Mechanisms of Atmospheric Moisture Transport and Their Role in Extreme Precipitation Events, Annu. Rev. Env. Resour, 41, 117–141. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085558.

Kerr, R.A. (2006). Rivers in the sky are flooding the world with tropical waters,Science, 313(5786), 435. https://doi.org/10.1126/science.313.5786.435.

Lavers, D.A., and Villarini G. (2015). The contribution of atmospheric rivers to precipitation in Europe and the United States. Hydrology, 522: 382– 390.

Lavers, D.A., Allan, R., Villarini, G., Lloyd-Hughes, B., Brayshaw D., and Wade A. (2013). Future changes in atmospheric rivers and their implications for winter flooding in Britain, Environmental Research Letters, 8:1-8.

Lagrange, J.-L. (1868). Mémoire sur la théorie du mouvement des fluides (in: Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Berlin, année 1781. Oevres de Lagrange, Tome IV, pp. 695–748.

National Research Council. (1991). Opportunities in Hydrologic Sciences, National Academy Press. 348 p.

National Research Council. (1999). The GEWEX Global Water Vapor Project (GVaP), USA.

Neiman, P.J., Ralph, F.M.,, and Wick, G.A., (2008)., Meteorological characteristics and overland precipitation impacts of ARS affecting the west coast of North America based on eight years of SSM/I satellite observations, Journal of Hydrometeorology, 9(1), 22–47. https://doi.org/10.1175/2007JHM855.1.

Newell, R.E., Newell, N.E., Zhu, Y., and Scott, C. (1992). Tropospheric rivers? a pilot study, Geophysical Research Letters, 19(24), 2401–2404. https://doi.org/10.1029/92GL02916.

Ralph, F.M., Coleman, T., Neiman, P.J., Zamora R.J., and Dettinger M.D.(2013). Observed impacts of duration and seasonality of atmosphericriver landfalls on soilmoisture and runoff in coastal northern California, Hydrometeorology, 14: 443–459.

Ralph, F. M., Dettinger, M. D., Cairns, M. M., Galarneau, T. J., and Eylander, J. (2018). Defining atmospheric river: How the Glossary of Meteorology helped resolve a debate, Bull. Amer. Meteor. Soc, 99, 837–839, https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0157.1

Ralph, F. M., Rutz, J. J., Cordeira, J. M., Dettinger, M., Anderson, M. D., Reynolds, M., Schick, and C. Smallcomb, L. J. (2019). A Scale to Characterize the Strength and Impacts of Atmospheric Rivers, Bull. Amer. Meteor, Soc, 100, 269–289, https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0023.1.

Ralph, F.M., Neiman, P.J., Wick, G.A., Gutman, S.I., Dettinger, M.D., Cayan, D.R., and White, A.B. (2006). Flooding on California's Russian River: role of atmospheric rivers, Geophysical Research Letters, 33(13), L13801.https://doi.org/10.1029/2006GL026689.

Ramos, AM., Trigo, RM., Tomé, R., and Liberato MLR. (2018). Impacts of Atmospheric Rivers in Extreme Precipitation on the European Macaronesian Islands, Atmosphere, 9(8):325. https://doi.org/10.3390/atmos9080325

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]

Rutz, J J., Steenburgh, W J., Ralph, F M. (2014). Climatological Characteristics of Atmospheric Rivers and Their Inland Penetration over the Western United States, Monthly Weather Review, 142(2):905-921.DOI: 10.1175/MWR-D-13-00168.1.

Ryoo, J M., Duane, E., Waliser, D E., Sun Wong, S., Eric, J., Fetzer, E J., and Fung, I. (2015). Classification of atmospheric river events on the U.S. West Coast using a trajectory model, JGR Atmospheres, 120(8): 3007-3028. https://doi.org/10.1002/2014JD022023.

Salimi, S., Salighe, M. (2016). The effects of atmospheric rivers on Iran climate, Physical Geography Research Quarterly, 48(2), 247–264. Doi: 10.22059/JPHGR.2016.59366.

Smith, B L., Yuter, S E. (2010). Water Vapor Fluxes and Orographic Precipitation over Northern California Associated with a Landfalling Atmospheric River, Monthly Weather Review, 138(1): 74-100. https://doi.org/10.1175/2009MWR2939.1.

Stohl, A., Forster, C., and Sodermann, H. (2008). Remote sources of water vapor forming precipitation on the Norwegian west coast at 60°N–a tale of hurricanes and an atmospheric river, Geophysical Research, 113, 1-13. https://doi.org/10.1029/2007JD009006.

Stokes, G.G. (1842). On the steady motion of incompressible fluids, Transactions of the Cambridge Philosophical Society, 7: 439–453, Bibcode:1848TCaPS...7..439S Stokes, G.G. (1880). Mathematical and Physical Papers, Volume I, Cambridge University Press, pp. 1–16

White, A.B., Gottas, D.J., Henkel, A.F., Neiman, P.J., Ralph, F.M., and Gutman, S.I. (2010). Developing a performance measure for snow-level forecasts. Journal of Hydrometeorology, 11, 739-753.

Zhu, Y., and Newell, R.E. (1994). ARS and bombs, Geophysical Research Letters, 21(18), 1999–2002. https://doi.org/10.1029/94GL01710.

Zhu, Y., and Newell, R.E. (1998). A proposed algorithm for moisture fluxes from atmospheric rivers, Monthly Weather Review, 126(3), 725–735. https://doi.org/10.1175/1520-0493(1998)126<0725:APAFMF>2.0.CO;2

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.5]