




The Frequency and Strength of Atmospheric Rivers and Their Relationship to Precipitation in Iran

Pazhouhesh, F.¹  | Nasr Esfahani, M. A.²  | Ghasemi, A. R.³ 

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

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

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

Corresponding Author E-mail: mnasr@sku.ac.ir

(Received: 03 Agu 2025, Revise: 03 Nov 2025, Accepted: 04 Nov 2025, Published online: 21 Mar 2026)

Abstract

The combination of global warming and increasing water demand in recent years has posed significant challenges to water resource management. In particular, increasing the probability of extreme precipitation due to global warming has made it difficult to supply and use rainfall. Identifying the measure and severity of hydrometeorological phenomena could help improve water resources management, especially in droughts, and dried regions such as Iran. Also, these phenomena investigation could be beneficial in flood management. One such phenomenon that is known as a significant one in heavy precipitation and catastrophic floods is the Atmospheric River (AR). Atmospheric rivers are long and narrow filaments that transport water vapor across the Earth's middle latitudes, originating from tropical moisture sources, play a significant role in local and global hydrology. In this study, ARs were identified over Iran during a seven-month period (November to May) from 1983 to 2020. The identification was based on Integrated Vapor Transport (IVT) which obtained from the ERA5 reanalysis dataset provided by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). The IVT values was integrated from the ground surface to 300 hPa, and the 90th percentile of IVT values for each grid point during 1980–2020 was used as the threshold (IVT₀) to notice the locality of ARs. Additional geometric criteria—such as a length exceeding 2000 km and a length-to-width ratio greater than 2—were also applied. These conditions helped distinguish ARs from other forms of moisture transport. The results show that Atmospheric Rivers (ARs) occur most frequently in March, whereas May and November have the lowest frequencies. To further characterize the ARs, the average Integrated Vapor Transport (IVT) within the AR region is calculated to determine their strength and intensity. These ARs are then classified into categories based on the quartiles of the intensity data, using a localized intensity calculation within a defined region.

The most intense ARs – which are in the first quartile- were observed in January, February, and March, with an average intensity of 269 kg·m⁻¹·s⁻¹. The weakest ARs' frequently occurred in May and November. Precipitation analysis showed that the highest amount of precipitation due to ARs occurs in December and some other characteristics, except intensity, such as AR duration (ranging from 1 to 5 days), and the frequency of this phenomenon also play an effective role in the amount of precipitation of each month. These results suggest that longer and more frequent AR events contribute significantly to water input during the cold season. Further more, the AR behavior was assessed across dry, normal, and wet years using the Nietzsche index classification. In classifying the surveyed years, due to the Nietzsche index, the highest intensity ARs happened in wet years. The wet years received all of their ARs in strong and extreme categories, about 40 and 60 percent of occurrences, respectively. In dry years, the ARs occurred in all four categories of intensity and most of them (40 percent) happened in median intensity, the normal years, experience about 75 % of ARs in the strong category. These findings underscore the pivotal role of ARs in seasonal precipitation patterns and water resource dynamics in Iran. Understanding their characteristics, variability, and intensity across different hydrological regimes offers a valuable tool for improving flood forecasting. further research into ARs across this region could significantly contribute to more adaptive and informed water management strategies, especially in flood forecasting.

Keywords: Atmospheric River, climate change, Drought, Wet years, Iran, Integrated Vapor Transport (IVT)

Cite this article: Pazhoohesh, F., Nasr-Esfahani, M. A. and Ghasemi, A. R. (2026). The Frequency and Strength of Atmospheric Rivers and Their Relationship to Precipitation in Iran. *Nivar*, 50(132-133), 106-124. doi: 10.30467/nivar.2025.538684.1348

E-mail: (1) Pazhoohesh@stu.sku.ac.ir (3) ar-ghasemi@sku.ac.ir



فراوانی و شدت رودخانه‌های جوی و ارتباط آنها با بارش در ایران

فائمه پژوهش^۱ | محمد علی نصر اصفهانی^۲ | احمد رضا قاسمی^۳

۱. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۲. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۳. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: mnasr@sku.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۲، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۲، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۳، انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱)

چکیده

تغییرات اقلیمی و افزایش دمای جهانی سبب تشدید پدیده‌های حدی نظیر بارش‌های سنگین و خشکسالی‌های شدید شده است. به صورتی که افزایش احتمال رخداد این پدیده‌ها، چالش‌های شدیدی برای مدیریت آنها ایجاد کرده است. رودخانه‌های جوی به‌عنوان یکی از عوامل اصلی در بارش‌های شدید و وقوع سیلاب‌ها شناخته می‌شوند که نقش مهمی در هیدرولوژی محلی و جهانی دارند و به شکل رشته‌های باریک و بلند بخار آب را از منابع مرطوب گرمسیری به عرض‌های میانی انتقال می‌دهند. در این مطالعه، رودخانه‌های جوی بر اساس حمل و نقل بخار یکپارچه (IVT) با بهره‌گیری از داده‌های بازتحلیل ERA5، طی هفت ماه از سال (نوامبر تا می) در بازه زمانی ۱۹۸۳ تا ۲۰۲۰ با اعمال مقدار آستانه و معیارهای هندسی شناسایی شد و سپس تأثیر این پدیده در شدت‌های مختلف به صورت ماهانه بر بارش کشور بررسی گردید. در ادامه تغییرات فراوانی این پدیده در دوره‌های ترسالی و خشکسالی نیز مطالعه شد. نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی وقوع این پدیده در ماه مارس و کمترین آن در ماه می سپس در ماه نوامبر رخ می‌دهد. همچنین، شدیدترین رودخانه‌های جوی در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس رخ داده‌اند، در حالی که ضعیف‌ترین آن‌ها عمدتاً در می و نوامبر ظاهر شدند. تحلیل بارش ناشی از رودخانه‌های جوی نیز حاکی از آن است که بیشترین تأثیر رودخانه‌های جوی بر بارش در ماه دسامبر اتفاق می‌افتد و ویژگی‌هایی مانند طول دوره رخداد (بین ۱ تا ۵ روز) و فراوانی وقوع نیز نقش مؤثری در میزان بارش ماهانه دارند. تحلیل رودخانه‌های جوی در سال‌های مختلف بر اساس شاخص نیچه نشان داد که در سال‌های تر، تمامی رخدادها در دسته‌های شدید و خیلی شدید قرار دارند (به ترتیب ۴۰ و ۶۰ درصد). در سال‌های نرمال، حدود ۷۵٪ رخدادها در گروه شدید بوده و در سال‌های خشک، بیشترین رخدادها (۴۰٪) در دسته با شدت متوسط قرار گرفته‌اند. این نتایج اهمیت رودخانه‌های جوی را در الگوهای فصلی بارش و مدیریت منابع آب در ایران نشان می‌دهد و در پیش‌بینی و مدیریت سیلاب نقش مؤثری ایفا می‌کند.

کلمات کلیدی: انتقال بخار آب یکپارچه، ترسالی، تغییر اقلیم، خشکسالی، رودخانه جوی.

۱. مقدمه

جغرافیایی میانی (کمتر از حدود ۱۰٪ محیط زمین) وجود دارد که انتقال حدود ۹۰٪ بخار آب جوی در این محدوده متمرکز شده است که رودخانه‌های جوی نامیده شدند. رالف و همکاران (۲۰۱۷) نیز انتقال افقی بخار آب در جو کره زمین در عرض‌های میانی و جنب حاره‌ای در مسیری نسبتاً باریک را به‌عنوان مفهوم رودخانه‌های جوی بیان می‌کنند که

وجود پدیده‌هایی که موجب بارش‌های شدید و یا سیلاب‌های مخرب می‌شوند یکی از مباحث مهم در موضوع مدیریت منابع آب و مدیریت پدیده‌های مخرب آب و هوایی مانند سیلاب می‌باشند. لاورز و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که در هر زمان چهار یا پنج ناحیه باریک در عرض‌های

علاوه بر رطوبت محلی مدیترانه در بارش موردی در ابتدای اکتبر در شمال ایتالیا بررسی نمودند. ماهاتو و همکاران (۲۰۲۳)، تاثیر رودخانه‌های جوی بر بارش‌های شدید و سیلاب‌های هند را بررسی کردند. آنها بارش‌های تحت وقوع رودخانه‌های جوی را شناسایی و حدود ۶۵ درصد رودخانه‌های جوی را در سیل‌های سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۲۰ موثر دانستند.

تأثیر رودخانه‌های جوی محدود به مناطق همجوار اقیانوس-های کره زمین نیست. مطالعاتی جهت شناسایی رودخانه‌های جوی و اثرات آنها در خاورمیانه و ایران نیز در چند سال اخیر صورت گرفته است. سلیمی و سلیقه (۱۳۹۵)، با مطالعه رودخانه‌های جوی نفوذی به فلات ایران، به طور میانگین سالانه ۱۲ رودخانه جوی را بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ شناسایی کردند. ایشان رطوبت آنها را در بارش‌های رخ داده موثر دانستند و نتیجه گرفتند رودخانه‌های جوی وارد شده از جنوب و جنوب غرب حامل بیشترین رطوبت هستند. شادمانی و همکاران (۱۳۹۷)، به حضور رودخانه‌های جوی در بارش‌های سیل آسای ۶ تا ۹ در آبان ۱۳۹۴ در غرب ایران و ۱۹ تا ۲۱ آبان ۱۳۹۴ در جنوب ایران اشاره نمودند و دریای سرخ و عرب را به عنوان منبع اصلی تامین رطوبت و خلیج فارس را موثر در تغذیه رودخانه‌های جوی دانستند. لشکری و اسفندیاری (۱۴۰۰) به شناسایی رودخانه‌های جوی و بارش‌های سنگین رخ داده به هنگام حضور رودخانه‌های جوی از نوامبر تا آوریل (۲۰۰۷-۲۰۱۸) پرداختند و نشان دادند ۱۰۷ روز رخداد بارش سنگین روزانه در حضور رودخانه‌های جوی واقع شده است و سامانه چرخندی سودان و مدیترانه را موثرترین سامانه‌ها در ایجاد این رودخانه‌ها معرفی نمودند. اکبری و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای در منطقه شمال آفریقا و خاورمیانه طولانی‌ترین مسیرهای انتقال رطوبت با طول چند هزار کیلومتر برخاسته از اقیانوس اطلس را در منطقه شناسایی نمودند. دزفولی (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای تاثیر رودخانه‌ی جوی در بارش‌ها و سیلاب‌های ۲۴ تا ۲۵ مارس ۲۰۱۹ در استان لرستان را بررسی نمود و به اثر وجود

به طور معمول به تعداد ۳ تا ۵ عدد در هر نیمکره وجود دارند و هریک حدود یک چهارم از بخار آب جهانی در عرض‌های میانی را انتقال می‌دهند. رودخانه‌های جوی مسیرهای باریک و طولانی‌جت‌هایی از بخار آب هستند که نقش مهمی در چرخه جهانی آب و هوا و هیدرولوژی منطقه‌ای بازی می‌کنند (گوان و ولایزر، ۲۰۱۵). انتقال حجم بالایی از رطوبت بوسیله این مسیرها منجر به بارندگی شدید و جاری شدن سیل در هنگام فرود رودخانه‌های جوی می‌گردد به ویژه اگر این هوای مرطوب در مسیر خود در ورود به خشکی‌ها به کوه برخورد کند و در مسیر کوهستان اوج بگیرد (دیتینجر، ۲۰۱۱؛ لاورز و ولارینی، ۲۰۱۳؛ روتز و همکاران، ۲۰۱۴).

وقوع بارش‌های سنگین و سیل آسا که به سبب وجود رودخانه‌ی جوی صورت گرفته‌اند در مطالعات بسیاری به خصوص در اروپا و امریکا مورد بررسی قرار گرفته‌است (گالیا و همکاران، ۲۰۲۳؛ گوان و همکاران، ۲۰۱۰؛ لاورز و همکاران، ۲۰۱۱؛ نیمن و همکاران، ۲۰۱۳؛ رالف و همکاران، ۲۰۰۶، ۲۰۱۳؛ روتز و استینبرگ، ۲۰۱۲) که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌گردد.

راموس و همکاران (۲۰۱۵)، در مطالعه‌ای به ارتباط رودخانه‌های جوی با روزهایی با بارش شدید در شبه جزیره ایبری پرداختند. آنها نقش رودخانه‌های جوی در روزهایی با بارش شدید را به وضوح موثر دانستند هرچند عوامل جوی دیگری را نیز عنوان نمودند. میلر و همکاران (۲۰۱۸)، در حوضه رودخانه پیچن و گرشانوو و همکاران (۲۰۱۹)، نیز در بررسی بارش‌های کالیفرنیا، به اثرات رودخانه‌های جوی اشاره نمودند. رید و همکاران (۲۰۲۱)، تاثیر رودخانه‌های جوی در وقوع سیل‌های مخرب در نیوزلند را به‌عنوان یک عامل مهم عنوان نمودند. شو و همکاران (۲۰۲۱)، نیز به تعیین سهم رودخانه‌های جوی در مجموع بارندگی سالانه، فصلی و بارندگی شدید بین سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۸ در سراسر نیوزلند پرداختند. نتایج این تحقیق نقش مهم رودخانه‌های جوی در منابع آب این منطقه را نشان داد. داولیو و همکاران (۲۰۲۳) نیز تاثیر یک ساختار رشته‌ای شکل بلند و باریک از رطوبت از سوی مناطق استوایی و اقیانوس اطلس شمالی را

بررسی مطالعات گذشته حاکی از تأثیر قطعی رودخانه‌های جوی بر بارش کشور است ولی با توجه به موقعیت جغرافیایی، وسعت و تنوع اقلیمی و پراکندگی پهنه‌های آبی در اطراف ایران نمی‌توان تحلیل یکسانی از نحوه اثرگذاری این پدیده در طول فصل بارشی کشور داشت. این مهم در پژوهش‌های گذشته مورد توجه قرار نگرفته است و تنها به چند مطالعه موردی پرداخته شده است. از این رو در این مطالعه، به بررسی و دسته‌بندی رودخانه‌های جوی از منظر شدت و بارش متأثر از آن و تغییرات ماهانه آنها پرداخته شده است. همچنین برای شناسایی نقش رودخانه‌ها جوی در وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی در طی سال‌های ۱۹۸۳-۲۰۲۰ میزان شدت رودخانه‌های جوی و بارش در این دوره‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

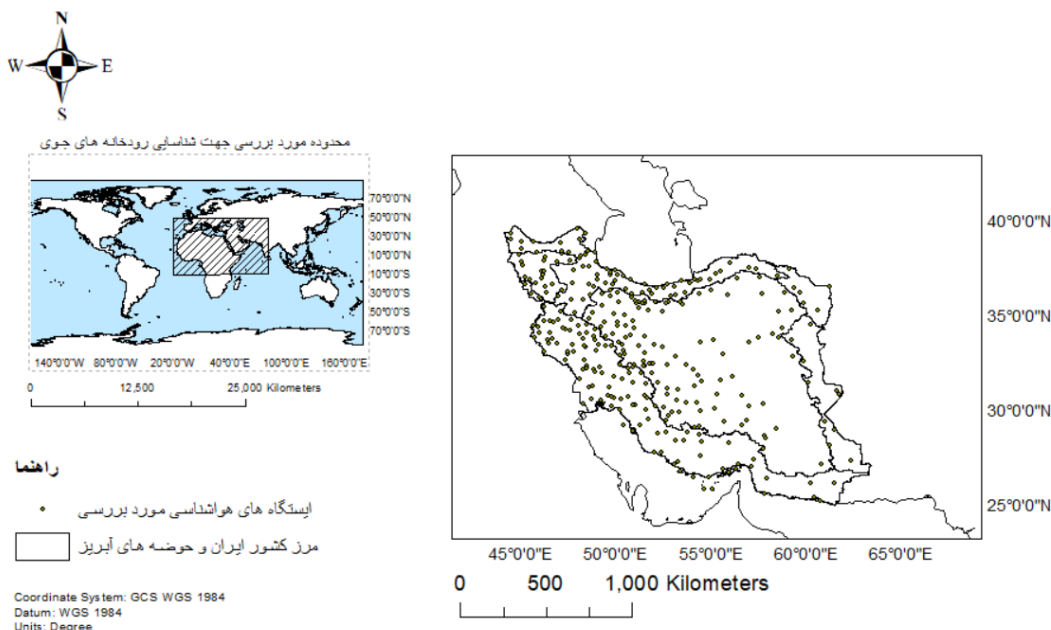
۲. داده‌ها و روش پژوهش

این مطالعه، در محدوده‌ی جغرافیایی ۲۰ درجه غربی تا ۸۰ درجه شرقی و ۱۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی و جهت شناسایی رودخانه‌های جوی در طی ۷ ماه از سال (نوامبر- دسامبر- ژانویه- فوریه- مارس- آوریل- می) در طول دوره آماری ۱۹۸۳ تا ۲۰۲۰ انجام شد. به منظور شناسایی رودخانه‌های جوی داده‌های بازتحلیل (نسل پنجم)، ERA5، با قدرت تفکیک یک درجه (با توجه به توصیه رید و همکاران (۲۰۲۰)) و با گام زمانی ۶ ساعته مورد استفاده قرار گرفت و شار بخار آب تجمعی (Integrated Vapor Transport, IVT) که برای تعیین محدوده رودخانه‌های جوی کاربرد دارد، محاسبه گردید. برای بررسی بارش نیز از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی ایران استفاده شده است (شکل ۱).

کوهستان در مناطق غربی ایران و شباهت آن با رخداد سیل در مناطق غربی ایالات متحده اشاره کرد.

میزان شدت و تاثیرگذاری رودخانه‌های جوی بر مقدار بارش نیز موضوعی بوده است که توسط پژوهشگران بررسی شده است.

رالف و همکاران (۲۰۱۹) به دسته‌بندی رودخانه‌های جوی با توجه به میزان شدت و طول دوره این پدیده در ایالات متحده آمریکا پرداختند و رودخانه‌های جوی آن منطقه را براساس شدت دسته‌بندی کردند. اسفندیاری و لشکری (۲۰۲۱)، تاثیر رودخانه‌های جوی در بارش‌های سنگین در ایران در ماه‌های آبان تا فروردین به مدت ۱۱ سال (۲۰۰۷-۲۰۱۸) را بررسی کردند و نشان دادند که ۲۰ تا ۵۰ درصد از کل بارش‌های سنگین ماهانه کشور متأثر از رودخانه‌های جوی است. در ادامه اسفندیاری و رضایی (۲۰۲۲) رودخانه‌های جوی خاورمیانه را از لحاظ شدت و طول دوره زمانی مورد بررسی و با تغییراتی در دسته‌بندی رالف و همکاران (۲۰۱۹) یک حدود دسته‌بندی متفاوتی برای رودخانه‌های جوی منطقه خاور میانه ارائه دادند. شکیبا و اسفندیاری (۱۴۰۳) به بررسی توزیع مکانی بارش ماهانه در ماه‌های سرد سال در اثر رودخانه‌های جوی در طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۰ پرداختند. ایشان در این تحقیق بارش ایران را از ۶ تا ۶۹ درصد تحت تاثیر رودخانه‌های جوی دانسته و سواحل جنوبی و دامنه‌های غربی را به شدت تحت تاثیر رودخانه‌های جوی معرفی نمودند. در مطالعات خاورمیانه و ایران، اقیانوس اطلس به عنوان یک منبع اصلی در پدیدار شدن رودخانه‌های جوی شناسایی شده است و در کنار آن منابع دیگری چون اقیانوس هند، دریای سرخ، خلیج عدن، دریای عرب به عنوان منابع رطوبتی در پیدایش این پدیده در ایران معرفی شده‌اند (اکبری و همکاران، ۲۰۱۹؛ اسفندیاری و رضایی، ۲۰۲۲؛ سلیمی و سلیقه، ۲۰۱۶؛ شادمانی و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

که در آن، q ، رطوبت ویژه برحسب kg/kg ، u و v ، به ترتیب مولفه‌های مداری و نصف النهاری باد برحسب ms^{-1} ، g ، شتاب گرانش بر حسب ms^{-2} و dp اختلاف فشار بین دو سطح فشار می‌باشد.

مقدار آستانه برای پارامتر IVT ، نیز یکی از موضوعات مهم در شناسایی رودخانه‌های جوی می‌باشد. در این تحقیق، در هر نقطه از شبکه، صدک ۹۰ام مقادیر IVT محاسبه شده در همه گام‌های زمانی (طول دوره مورد مطالعه) به عنوان مقدار آستانه استفاده شد. در مرحله بعد، شروط هندسی به محدوده‌های شناسایی شده اعمال گردید و محدوده‌هایی از شبکه مورد مطالعه که این شرایط را داشتند به عنوان محدوده رودخانه جوی در نظر گرفته شد. رید و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از برازش بیضی بر محدوده شناسایی شده با استفاده از شرط اولیه‌ی آستانه، به تعیین مواردی چون مرکز بیضی، میانگین IVT بر روی بیضی، بیشینه مقدار IVT ، طول محور اصلی، فرعی و جهت پرداختند و شرایط هندسی مورد نیاز برای وقوع رودخانه جوی را به صورت زیر تعریف نمودند:

(۱) طول محور اصلی AR بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر باشد، (۲) نسبت طول به عرض این پدیده بیشتر از ۲ باشد و (۳) جهت زاویه محور اصلی رودخانه جوی نسبت به خطوط مدارات یا خطوط عرض جغرافیایی بیش از ده درجه باشد. در این

در بیشتر مطالعات برای شناسایی رودخانه‌های جوی از انتگرال قائم شار افقی بخار آب (IVT) استفاده می‌شود (رابطه ۱) که به دلیل ارتباط مستقیم با بارش کوهساری متغیر مطلوب‌تری در تشخیص رودخانه‌ی جوی است (گون و ولایزر، ۲۰۱۵). اسفندیاری و رضایی (۲۰۲۲)، نیز پارامتر IVT یا شار بخار آب انباشته در ستون جو، را مبنای مناسبی جهت تحقیقات در خاورمیانه معرفی نمودند. محدوده انتگرال گیری در محاسبه IVT در اکثر مطالعات، از تراز ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال به عنوان بالاترین لایه‌ای که احتمالاً رطوبت در آن وجود دارد، می‌باشد. این محدوده بر روی اقیانوس‌ها و دریاها که تقریباً با تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال معادل هستند، مشکلی ایجاد نمی‌کند. اما بر روی خشکی‌ها که عمدتاً فشار سطح زمین کمتر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال است، می‌تواند اطلاعات غیر واقعی به نتایج وارد کند. در این پژوهش همسان با مطالعات اسماعیلی و همکاران (۲۰۲۲) و تیان و همکاران (۲۰۲۴) در حد پایین انتگرال به جای فشار تراز دریا از فشار سطح زمین استفاده شده است:

(۱)

$$IVT = \sqrt{\left(\frac{1}{g} \int_{sfc}^{300} qu dp\right)^2 + \left(\frac{1}{g} \int_{sfc}^{300} qv dp\right)^2}$$

فلات ایران در ناحیه ۴۰ تا ۶۴ درجه شرقی و ۱۵ تا ۴۰ درجه شمالی (شکل ۴ (پ) و شکل ۵ (پ)) تعریف شده است. با اعمال شاخص چارک بر میانگین ماهانه IVT بر رودخانه‌های جوی شناسایی شده در هر ماه، تاثیر شدت ماهانه رودخانه‌های جوی بر میزان بارش بررسی گردید. بارش حاصل از رودخانه‌های جوی، به صورت میانگین روزانه (بارش تجمعی حاصل از تمام رخدادهای رودخانه جوی تقسیم بر تعداد روزهای رخداد) در نظر گرفته شده است. چارک بندی شدت (IVT) براساس میانگین ماهانه مقادیر IVT در رخدادهای رودخانه جوی در جدول ۱ آورده شده است. این پدیده در ماه‌هایی که شدت‌های کمتر از چارک اول به عنوان دسته یک (رودخانه‌جوی ضعیف)، شدت‌های بین چارک اول و دوم به عنوان دسته دو (رودخانه‌جوی متوسط)، شدت بین چارک دوم و سوم، دسته سوم (رودخانه‌جوی شدید) و شدت‌های بیشتر از چارک سوم به عنوان دسته چهارم (رودخانه‌جوی خیلی شدید) در نظر گرفته شد.

پژوهش به منظور اطمینان بیشتر به منبع رطوبت منتقل شده از نواحی حاره‌ای، حداکثر عرض جغرافیایی ۲۷ درجه شمالی برای نقطه شروع محور اصلی بیضی به شروط فوق افزوده شده است. در انتها و با هدف محاسبه میزان بارش حاصل از رودخانه‌های جوی، به شناسایی نقاط ایستگاهی تحت تاثیر رودخانه‌های جوی پرداخته شد و ایستگاه‌های هواشناسی که در محدوده‌ی این پدیده قرار گرفته‌اند، مشخص گردید. برای هر ماه (نوامبر تا می) به صورت جداگانه در طول سال-های مورد مطالعه (۱۹۸۳-۲۰۲۰) بارش میانگین همزمان با رودخانه جوی، شدت و تعداد رخداد رودخانه جوی و تعداد روزهای همراه با رودخانه جوی محاسبه و تحلیل شده است. برای بررسی اثر رودخانه جوی بر بارش ایستگاه، میانگین بارش روزانه در همه ایستگاه‌های تحت تاثیر رودخانه جوی (در ناحیه‌ای با مقدار IVT بیش از مقدار آستانه) در شدت-های مختلف این پدیده به تفکیک ماه مقایسه شده است. شدت رودخانه جوی نیز برابر با میانگین IVT در محدوده

جدول ۱: حدود دسته بندی شدت رودخانه‌های جوی (IVT) با استفاده از داده‌های شدت ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$) در بازه ماهانه

نام دسته	چارک اول	چارک دوم	چارک سوم	چارک چهارم
رودخانه‌های جوی	ضعیف	متوسط	شدید	خیلی شدید
حد پایین	۱۹۵/۲	۲۴۲/۲	۲۵۹/۴	۲۷۳/۷
حد بالا	۲۴۲/۲	۲۵۹/۴	۲۷۳/۷	۳۳۴/۵

سازمان هواشناسی کشور، میانگین بارش تجمعی سالانه محاسبه شد و شرایط ترسالی، خشکسالی و نرمال هر سال براساس مقیاس سنجش خشکسالی نیچه تعیین گردید. روابط و حدود طبقه‌بندی نیچه در جدول ۲ ارائه شده است:

در انتها با استفاده از رابطه نیچه سال‌های تر، خشک و نرمال با استفاده از داده‌های دوره ۷ ماه مورد مطالعه شناسایی شدند (منظور از سالانه دوره ۷ ماه مورد استفاده در این مطالعه می-باشد). برای این منظور با استفاده از داده‌های بارش دریافتی از

جدول ۲: طبقه‌بندی بارش بر اساس رابطه نیچه

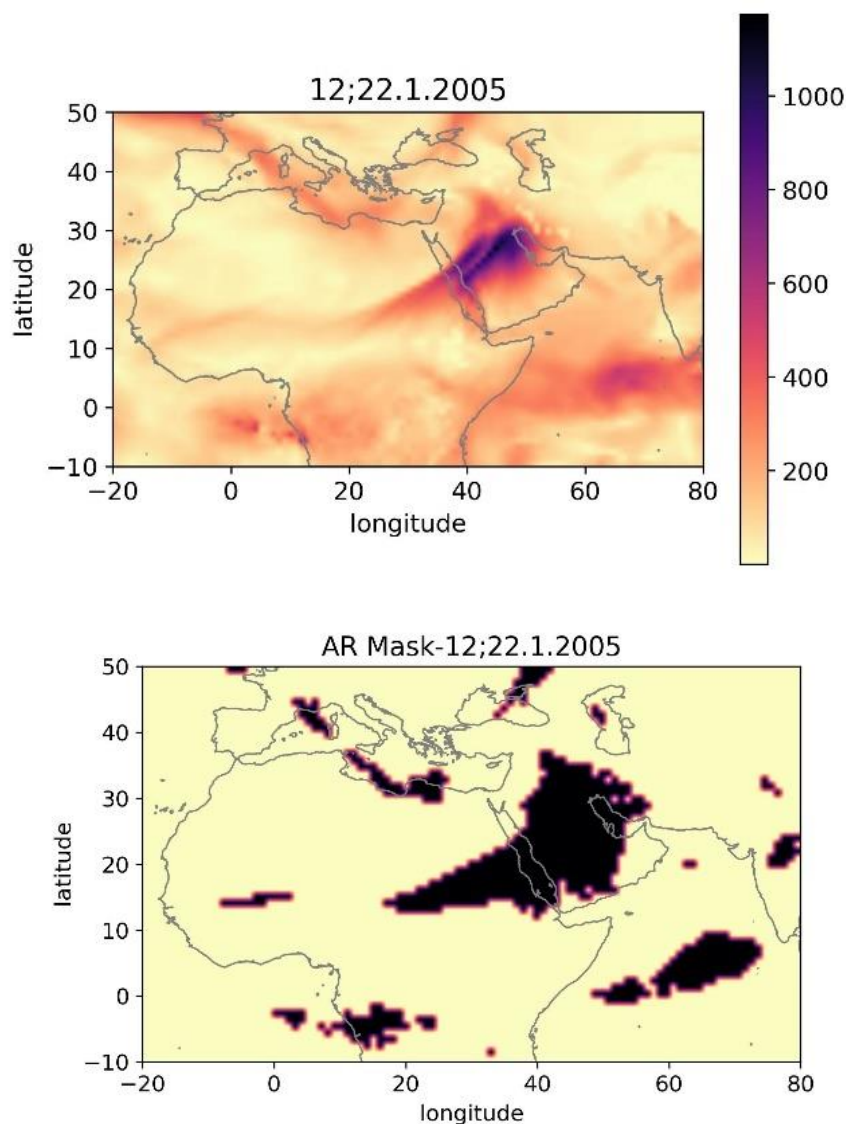
شاخص نیچه	$\bar{p} - SD \leq p_i \leq \bar{p} + SD$	$p_i \geq \bar{p} + SD$	$p_i \leq \bar{p} - SD$
طبقه بندی	سال نرمال	ترسالی	خشکسالی

که در آن \bar{p} میانگین بارش بلند مدت در دوره آماری، SD انحراف معیار آن دوره و p_i میزان بارش تجمعی سال نام می‌باشد (غفاری و همکاران، ۲۰۱۴).

۳. بحث و نتایج

میانگین $382/2 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ می باشد و بیشینه مقدار IVT این رودخانه‌ی جوی به میزان $1173/6 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ در موقعیت جغرافیایی ۴۵ درجه شرقی و ۲۷ درجه شمالی اتفاق افتاده است.

شکل ۲ شدیدترین رودخانه جوی شناسایی شده با استفاده از این روش را که در محدوده فلات ایران رخ داده است، نمایش می دهد. این مورد در تاریخ ۲۲ ژانویه ۲۰۰۵ به وقوع پیوسته است و در مطالعه اسفندیاری و رضایی (۲۰۲۲) نیز به آن اشاره شده است. شدت این رودخانه جوی به صورت

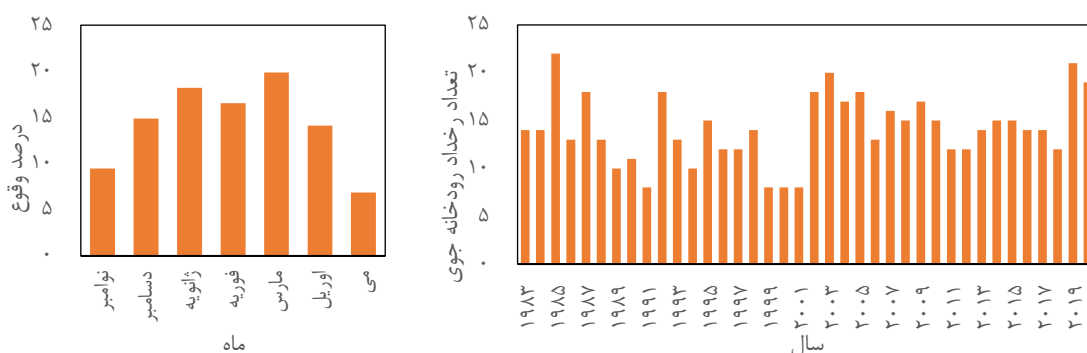


شکل ۲- شدیدترین رودخانه جوی شناسایی شده در این مطالعه (الف) نمایش مقادیر IVT محاسبه شده در روز ۲۲ ژانویه ۲۰۰۵ ساعت ۱۲:۰۰ گرینویچ (ب) محدوده شناسایی شده‌ی رودخانه‌ی جوی با مقدار بیش از حد آستانه و شرایط هندسی رودخانه

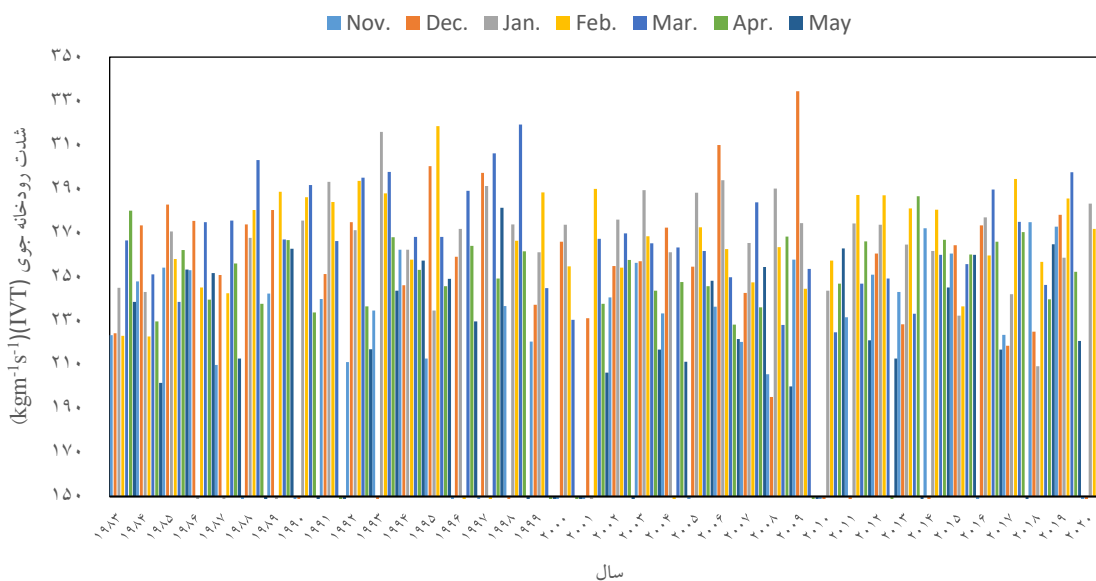
اسفندیاری و رضایی (۲۰۲۲) نیز در پژوهشی که ماه-های نوامبر تا آوریل را بررسی کرده‌اند، ماه‌های مارس و نوامبر را به عنوان ماه‌های با وقوع بالای رودخانه‌های جوی در ایران معرفی نمودند. با توجه به تعریف رودخانه-های جوی، برای انتقال رطوبت ناشی از این پدیده وجود علاوه بر رطوبت هوا، جریان مداری قوی لازم و ضروری است. در ماه مارس همزمان با نفوذ توده- هوای گرمسیری و مرطوب به عرض-های شمالی تر جریان جتی جنب حاره در منطقه خاورمیانه تقویت شده و شرایط مساعد برای این امر مهیا می-شود. از این رو در این ماه بیشترین درصد وقوع رودخانه جوی رخ داده است. اما در ماه-های پاییز به دلیل سیطره پراتفاح جنب حاره در این منطقه شرایط تشکیل این پدیده بسیار مشکل بوده و جز در شرایط خاص کمتر مورد انتظار است.

مقدار میانگین روزانه شدت در رخدادهای منتخب رودخانه‌ی جوی در محدوده 118-418 kgm-1s-1 متغیر می‌باشد. با استفاده از داده‌های روزانه، میانگین شدت انتقال بخار آب یا شار بخار آب تجمعی (IVT) در هر ماه در طول دوره مورد مطالعه نیز محاسبه گردید که در شکل ۴ نشان داده شده است. براساس این شکل مقدار ماهانه IVT در محدوده kgm-1s-1 195 تا ۳۳۴ متغیر می‌باشد.

شکل ۳-الف تعداد رخداد رودخانه‌های جوی در هر سال و شکل ۳-ب درصد وقوع آنها را در ماه-های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل ۳-الف نشان داده شده است، تعداد وقوع این پدیده در سال‌های مورد بررسی (۱۹۸۳-۲۰۲۰)، بین ۸ تا ۲۲ رخداد متغیر می‌باشد و در طی دوره ۷ ماهه مورد بررسی از سال-های ۱۹۸۲-۲۰۲۰، در ماه-های نوامبر ۱۹۸۲، ژانویه ۱۹۸۶، ژانویه ۱۹۸۷، می ۱۹۸۸، نوامبر ۱۹۸۸، می ۱۹۹۰، نوامبر و دسامبر ۱۹۹۰، آوریل و می ۱۹۹۱، دسامبر ۱۹۹۳، فوریه و نوامبر ۱۹۹۶، فوریه و نوامبر ۱۹۹۷، می و دسامبر ۱۹۹۸، آوریل و می ۱۹۹۹، ژانویه ۲۰۰۱، می ۲۰۰۲، فوریه ۲۰۰۴، نوامبر ۲۰۰۵، نوامبر و دسامبر ۲۰۱۰، دسامبر ۲۰۱۱، آوریل ۲۰۱۲، می ۲۰۱۳، دسامبر ۲۰۱۴، نوامبر ۲۰۱۶ و می ۲۰۱۷ رودخانه جوی مشاهده نشده است. میانگین سالانه رخداد رودخانه-های جوی در این مطالعه ۱۵ رودخانه جوی می‌باشد که سلیمی و سلیقه (۲۰۱۶) نیز در مطالعه‌ای در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ میانگین سالانه رخداد این پدیده در ایران را ۱۲ رودخانه‌ی جوی گزارش نمودند و اسفندیاری و لشکری (۲۰۲۰) در دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۱۸، ۳۶۴ رودخانه جوی را شناسایی نمودند. درصد وقوع این رخداد در هر ماه (شکل ۳-ب) نشان می‌دهد که بیشترین رخداد در ماه مارس به میزان ۱۹ درصد و کمترین رخداد در ماه-های می و نوامبر به ترتیب به میزان ۷ و ۹ درصد می‌باشد.



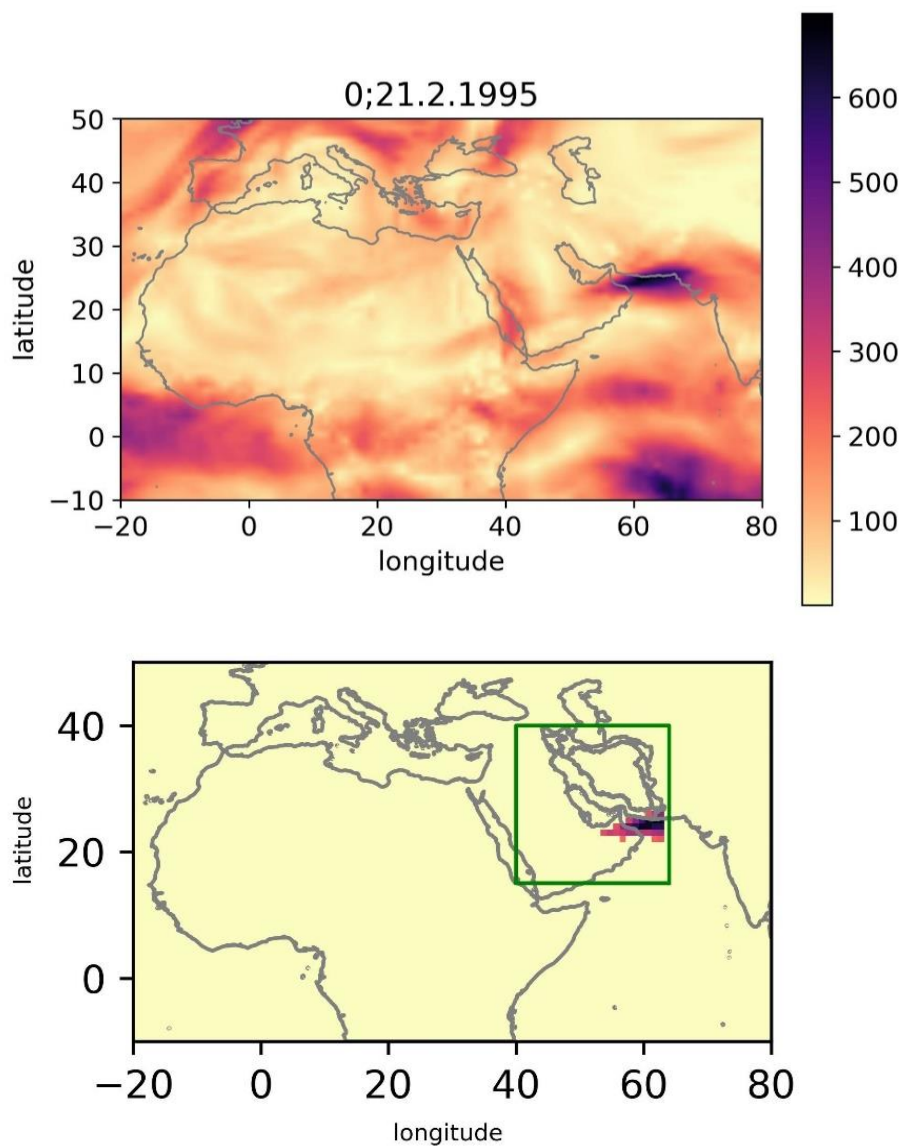
شکل ۳-الف) تعداد رخداد رودخانه‌های جوی در هر سال و (ب) درصد وقوع رودخانه‌های جوی در ماه‌های مورد مطالعه



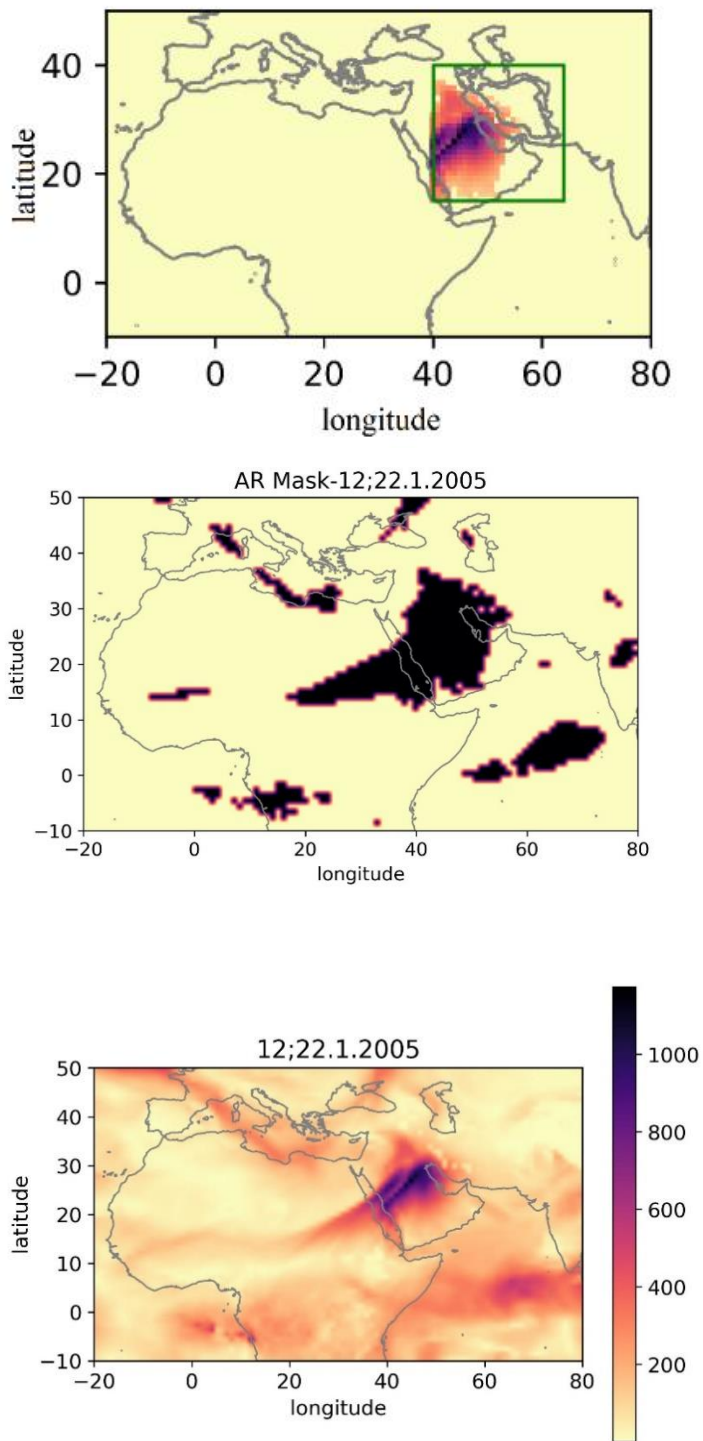
شکل ۴- شدت رودخانه‌های جوی (شار بخار آب یکپارچه، IVT) در هر ماه در طی سال‌های ۱۹۸۳ الی ۲۰۲۰

تعریف شده یکسان است زیرا کل ناحیه شناسایی شده در محدوده تعیین شده قرار گرفته است. شکل ۶، دومین رودخانه جوی مؤثر بر کشور از دیدگاه شدت IVT را نشان می‌دهد که مقدار آن برای کل ناحیه شناسایی شده $2/382 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ و برای محدوده تعریف شده $3/414 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ می‌باشد و در تاریخ ۲۲ ژانویه ۲۰۰۵ رخ داده است. مسیر حرکت این رودخانه‌ی جوی نیز بر روی خلیج فارس واقع شده است.

مقدار میانگین IVT برای شدیدترین رودخانه‌های جوی رخ داده در ایران (شامل مناطق خشکی و مرزهای آبی) در بررسی روزانه با استفاده از شار بخار آب تجمعی (IVT) برابر با $6/418 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ می‌باشد که در تاریخ ۲۱ فوریه ۱۹۹۵ در مرز آبی جنوب ایران و در حاشیه دریای عمان اتفاق افتاده است و در شکل ۵ نمایش آن ارائه شده است. در این مورد خاص این مقدار برای کل ناحیه شناسایی شده و هم محدوده



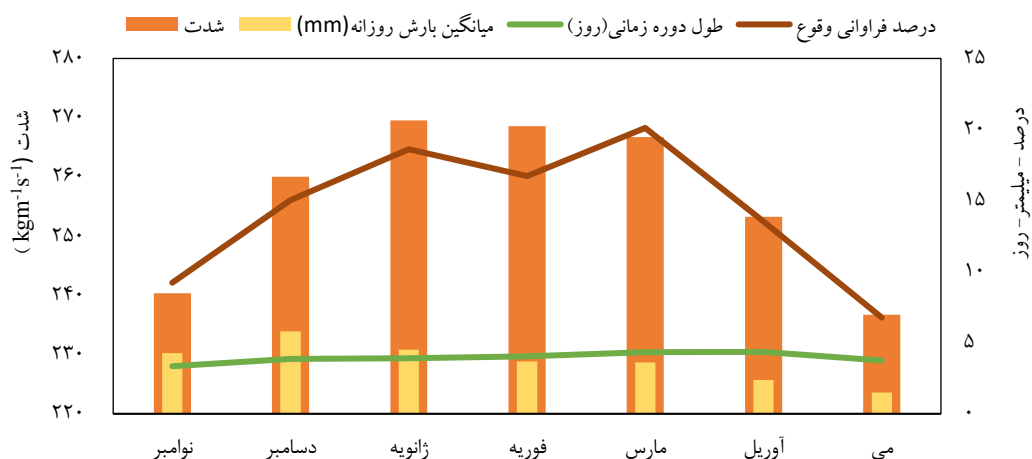
شکل ۵- نمایش (الف) مقادیر IVT در زمان ۰۰:۰۰ گرینویچ در تاریخ ۲۱ فوریه ۱۹۹۵ (ب) نمایش محدوده رودخانه‌ی جوی شناسایی شده جهت محاسبه شدت



شکل ۶- نمایش (الف) نمایش محدوده رودخانه‌ی جوی شناسایی شده جهت محاسبه شدت میانگین کل محدوده (ب) مقادیر IVT در زمان ۰۰:۰۰ گرینویچ در تاریخ ۲۲ ژانویه ۲۰۰۵ (پ) محدوده محاسبه شدت رودخانه‌ی جوی در ایران در بازه طول جغرافیایی ۴۰ تا ۶۴ درجه و عرض جغرافیایی ۱۸ تا ۴۰ درجه

می‌دهد که اسفندیاری و لشکری (۲۰۲۱) نیز بیشترین درصد بارش‌های حدی تحت تاثیر رودخانه‌های جوی را در ماه دسامبر گزارش نموده‌اند، همچنین روستا و همکاران (۲۰۱۶) ماه دسامبر را از نظر میزان بارش در رده دوم پس از آوریل در بررسی بارش‌های حدی در منطقه مرکزی ایران نشان دادند. طول دوره زمانی رودخانه‌های جوی در ماه‌های مورد مطالعه به طور میانگین بین ۳/۳ تا ۴/۴ روز متغیر است در حالیکه در بررسی‌های روزانه بین ۱ تا ۵ روز متغیر است که در مطالعه اسفندیاری و رضایی (۲۰۲۲) نیز به طول دوره حدود ۱ تا ۳ روز برای حدود ۶۵ درصد از رودخانه‌های جوی اشاره شده است.

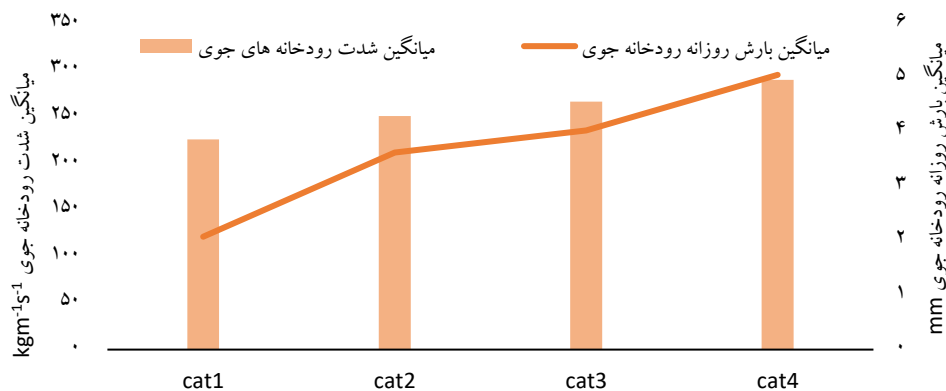
با استفاده از میزان شدت روزانه رودخانه‌های جوی (IVT)، میانگین بارش روزانه ایستگاه‌های تحت تاثیر رودخانه‌های جوی نیز محاسبه گردید که در محدوده‌ی 0-17 mm می‌باشند. از این رو می‌توان گفت تمامی رودخانه‌های جوی با بارش همراه نبوده‌اند و در کنار آن باید الگوهای جوی نیز مساعد باشند (معنوی پور و همکاران، ۱۴۰۳). میانگین ماهانه بارش‌های تحت تاثیر رودخانه‌های جوی و شدت رودخانه‌های جوی در طی سال‌های ۱۹۸۳ تا ۲۰۲۰ در شکل ۷ نمایش داده شده است. براساس این شکل ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس، رودخانه‌های جوی با شدت بیشتر و در حدود $269 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ راتجربه نموده‌اند. بیشترین میزان بارش همزمان با وقوع رودخانه‌های جوی در ماه دسامبر رخ



شکل ۷ - میانگین شدت و درصد وقوع رودخانه‌های جوی و میانگین بارش در هر ماه در دوره آماری ۱۹۸۳ تا ۲۰۲۰

شده است (شکل ۸). با توجه به شکل، با افزایش میزان شدت میزان بارش نیز در هر دسته افزایش یافته است که رالف و همکاران (۲۰۱۹) نیز به تاثیر شدت و مدت زمان رودخانه‌ی جوی در تعیین اثرات هیدرولوژیک نیز اشاره کرده‌اند.

به منظور بررسی تاثیر شدت رودخانه‌ی جوی بر میزان بارش، شدت روزانه رودخانه‌های جوی چارک بندی شده و بارش متناظر آن برای هر یک از ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می در سال‌های مورد مطالعه بررسی



شکل ۸- شدت رودخانه‌های جوی و بارش متناظر آنها بر اساس گروه‌بندی داده‌های شدت (IVT)

رودخانه‌های جوی ضعیف و متوسط دارند که با نتایج اسفندیاری و رضایی (۲۰۲۲) همخوانی دارد.

مقایسه بارش متناظر این ماه‌ها نشان می‌دهد که در ماه‌های نوامبر و می بیشترین بارش‌ها مربوط به وقوع رودخانه‌های جوی با شدت متوسط (دسته دوم) است، به عبارت دیگر با اینکه بیشترین تعداد رودخانه‌های جوی در این دو ماه از نوع ضعیف بوده‌اند (دسته اول)، رودخانه‌های جوی با شدت متوسط (دسته دوم) بارش بیشتری ایجاد کرده‌اند که نشان می‌دهد شدت رودخانه‌های جوی در مقایسه با تعداد وقوع، می‌تواند نقش بیشتری در میزان بارش منطقه داشته باشد. قابل ذکر است درصد وقوع رودخانه‌های جوی و طول دوره آنها در ماه نوامبر در دسته اول به ترتیب ۲۰ و ۵ درصد بیشتر از دسته دوم است با اینحال بارش در دسته دوم به میزان ۲/۸ درصد بیشتر می‌باشد. در ماه می نیز درصد وقوع رودخانه‌های جوی و طول دوره آنها در دسته اول به ترتیب ۳۱ و ۲۰ درصد بیشتر از دسته دوم است ولی مقدار بارش رودخانه‌های جوی دسته دوم، ۱۲ درصد بیشتر از دسته اول است. این مقایسه نقش بیشتر شدت رودخانه‌های جوی در ایجاد بارش، نسبت به فراوانی وقوع و یا زمان تداوم آنها را نشان می‌دهد.

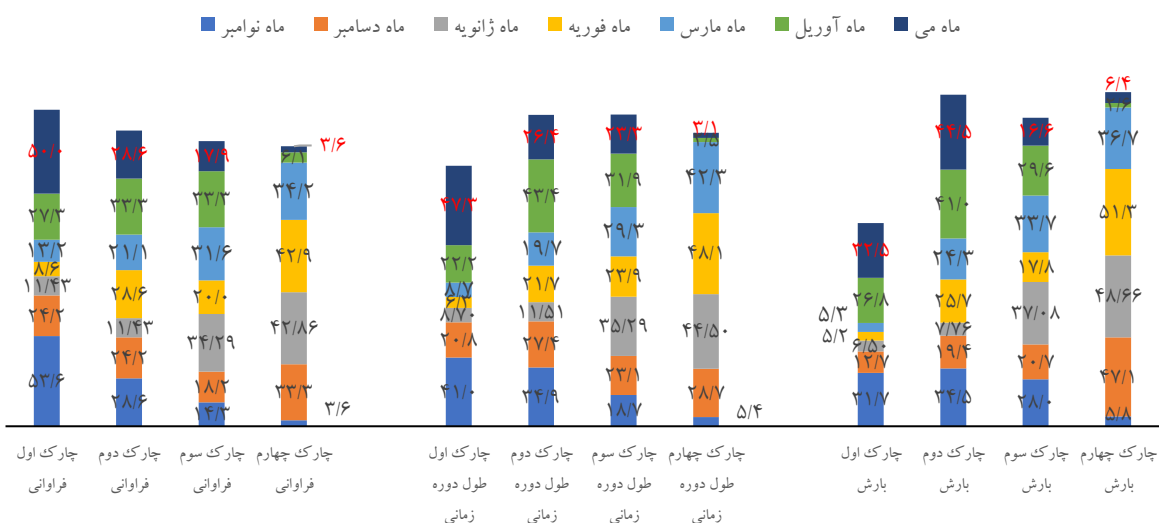
در ماه دسامبر با توجه به یکسان بودن درصد وقوع رودخانه‌های جوی در چارک اول و دوم (در حدود ۲۴ درصد) و با وجود طول دوره زمانی بیشتر در چارک دوم نسبت به چارک اول (در حدود ۷ درصد) و همچنین شدت بیشتر در چارک دوم، بارش میانگین بیشتر در چارک دوم

با وجود تاثیر شدت رودخانه‌های جوی بر میزان بارش (شکل ۸) و همچنین متغیر بودن میزان بارش با توجه به شدت در هر ماه (شکل ۷)، جهت بررسی دقیق‌تر تاثیر عواملی چون درصد وقوع این پدیده و طول دوره زمانی (تداوم رودخانه جوی) در میزان بارش هر ماه، میزان این عوامل در شدت‌های مختلف رودخانه‌های جوی (IVT) نیز مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۹). بیشترین درصد وقوع رودخانه‌های جوی در ماه‌های نوامبر و می در چارک اول (مقادیر کمتر از چارک اول) یا رودخانه‌های جوی ضعیف (شدتی در حدود $225 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$) مشاهده می‌شود. در مطالعه اسفندیاری و رضایی (۲۰۲۲) نیز به بیشترین فراوانی وقوع رودخانه‌های جوی ضعیف در ماه نوامبر اشاره شده است.

در مقابل در ماه‌های فوریه، ژانویه، مارس و سپس دسامبر بیشترین درصد وقوع رودخانه‌های جوی در دسته چهارم یا رودخانه‌های جوی خیلی شدید (شدتی در حدود $\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ ۲۹۰) ثبت شده است و بیشترین درصد مربوط به ماه‌های ژانویه و فوریه می‌باشد که در مطالعه اسفندیاری و رضایی (۲۰۲۲) نیز بیشترین فراوانی رودخانه‌های جوی شدید در ماه فوریه اشاره شده است. ماه آوریل دارای فراوانی وقوع یکسان رخداد رودخانه‌های جوی در دسته متوسط و شدید (دسته دوم و سوم) می‌باشد. بنا به نتایج این مطالعه ماه‌های نوامبر، آوریل و می کمترین فراوانی را در چارک چهارم و یا رودخانه‌های جوی شدید تجربه می‌نمایند و بیشترین درصد فراوانی و بارش حاصل از رودخانه‌های جوی را در دسته

فراوانی می باشد. در دسته رودخانه‌های جوی شدید با کاهش درصد فراوانی و افزایش طول دوره زمانی میزان بارش کمتر از میزان بارش در دسته رودخانه‌های متوسط می باشد. با این حال باید توجه داشت که بارندگی در ایران، به دلیل پیچیدگی توپوگرافی منطقه و منابع متفاوت رطوبتی، یک پدیده پیچیده است که از سالی به سال دیگر و از منطقه‌ای به منطقه دیگر دارای نوسانات غیرقابل پیش‌بینی می‌باشد (مدرس، ۲۰۰۶) و جغرافیای ایران سبب ایجاد توزیع زمانی- مکانی غیریکنواخت بارش در سراسر کشور شده است (خام چین مقدم و همکاران، ۲۰۱۰).

نسبت به چارک اول مشاهده می‌شود. چارک سوم نیز با درصد وقوع کمتر، شدت بیشتر و طول دوره زمانی بیشتر نسبت به چارک اول، میزان بارش بیشتری را نشان می‌دهد و در مقایسه با چارک دوم، با کمتر شدن درصد وقوع و طول دوره زمانی، مقدار بارش اندکی افزایش یافته است که می‌تواند نشان دهنده تاثیر شدت باشد. در ماه‌های ژانویه و مارس شاهد همسو بودن روابط شدت، رخداد بیشتر، طول دوره زمانی بلندتر و افزایش میزان بارش در شدت‌های بیشتر دیده می‌شود. به بیان دیگر رودخانه‌های جوی هر چارک با درصد فراوانی و طول دوره زمانی بیشتر، بارش بیشتری نیز ایجاد کرده است. بارش ماه فوریه بیشتر تحت تاثیر شدت و درصد



شکل ۹- درصد فراوانی وقوع و طول دوره زمانی (تداوم) رودخانه جوی در هر ماه در هر دسته (اعداد نمایش داده شده درصد می‌باشند)

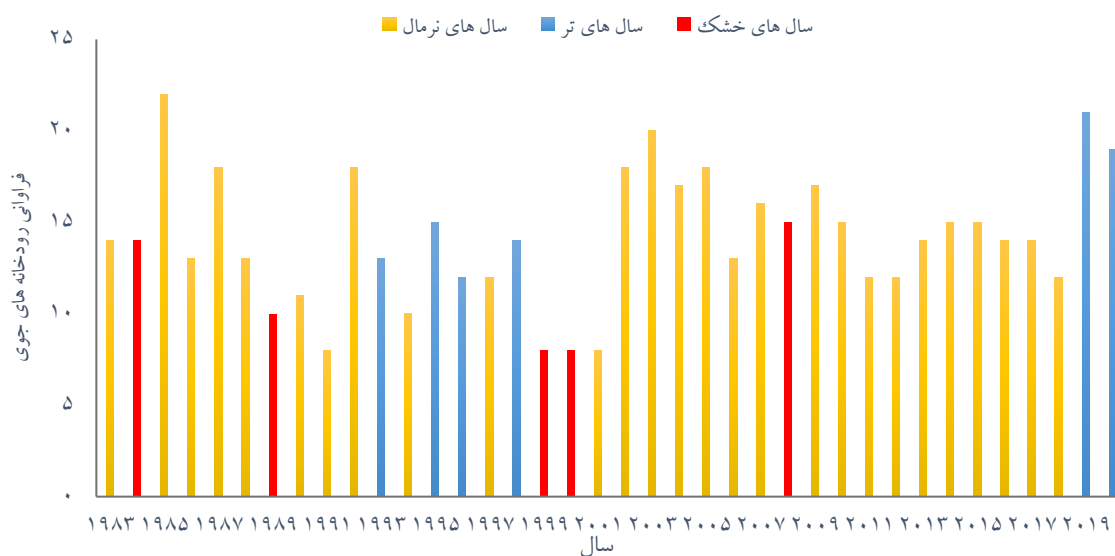
خشک شناسایی شده می‌باشند. در مطالعه جوانمرد و همکاران (۲۰۱۷) بر اساس مقیاس‌های زمانی متفاوت شاخص SPI، سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۸، ۱۹۹۹، ۲۰۰۰ را در دسته سال‌های خشکسالی شدید و خیلی شدید گزارش نموده‌اند و در این مطالعه نیز کاهش فراوانی وقوع رودخانه‌های جوی در این سال‌ها نمایان شده است و فقط در سال ۱۹۹۸ تفاوت وجود دارد. همچنین اسفندیاری و رضایی (۲۰۲۲) به وقوع ۸ رودخانه جوی در سال ۲۰۰۰ اشاره

در نهایت به بررسی همزمانی وقوع سال‌های تر، خشک و نرمال براساس روش نیچه با فراوانی وقوع رودخانه‌های جوی (شکل ۱۰) و در چارک‌های مختلف شدتی پرداخته می‌شود (شکل ۱۱). همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود فراوانی وقوع رودخانه‌های جوی در سال‌های خشک شناسایی شده نسبت به سال‌های قبل و بعد، کمتر می‌باشد. سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ کمترین فراوانی رودخانه‌های جوی را دریافت نموده اند که از سال‌های

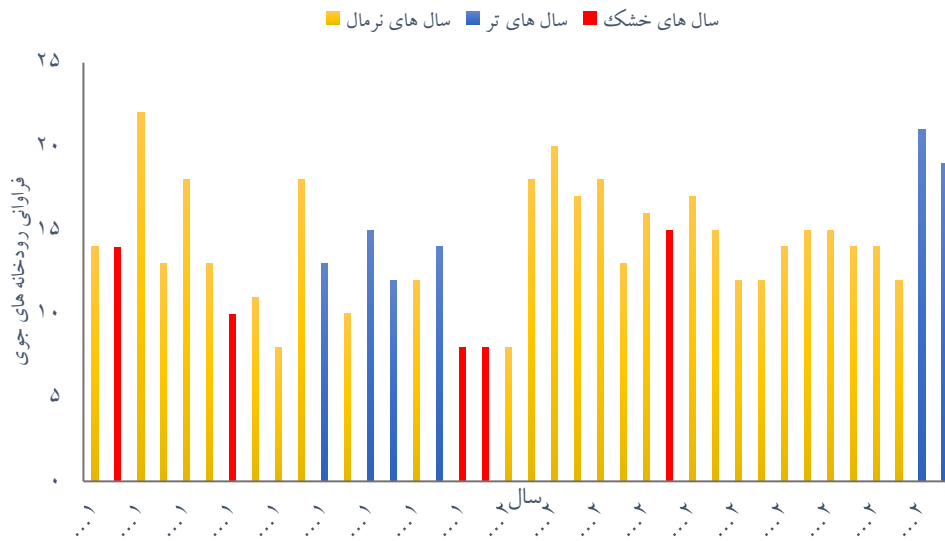
متفاوت اتفاق افتاده است که می تواند نشان دهنده تنوع منابع رطوبتی در بارش در ایران باشد.

اما بیشترین فراوانی وقوع رودخانه-های جوی در سال-های خشک در دسته رودخانه-های جوی متوسط با ۴۰ درصد و سپس رودخانه-های شدید و سایر چارک-ها هر کدام ۲۰ درصد از وقایع را به خود اختصاص داده-اند. همچنین در سال-های نرمال حدود ۷۵ درصد از رودخانه-های جوی در دسته رودخانه-های جوی شدید (چارک سوم) اتفاق افتاده است و رودخانه-ها جوی ضعیف در سال-های نرمال مشاهده نمی-شود. اما بدون در نظر گرفتن دوره-های تر و خشک و نرمال، با در نظر گرفتن شدت میانگین اکثر رودخانه-های جوی شناسایی شده در ایران دارای شدتی در حدود چارک سوم می باشند و در دسته رودخانه-ها شدید قرار می-گیرند.

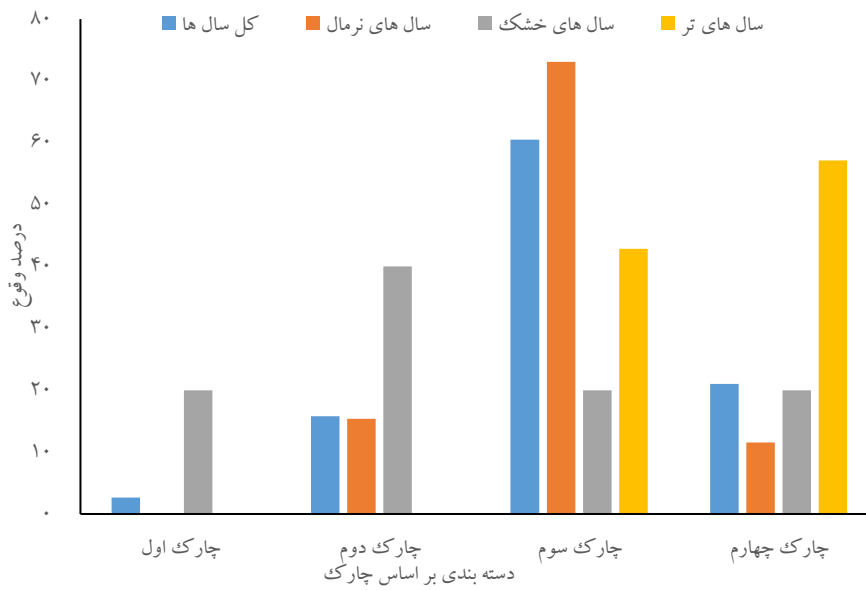
نموده-اند با این حال باید توجه داشت روش-های متفاوتی در شناسایی رودخانه-های جوی به کار برده شده است. برای بررسی همزمانی وقوع سال-های تر، خشک و نرمال بر اساس روش نیچه با رخداد رودخانه-های جوی، از میانگین شدت رودخانه-های جوی در طول سال استفاده گردید و رودخانه-های جوی در چهار چارک براساس میانگین شدت سالانه دسته بندی شدند (شکل ۱۱). همانگونه که در شکل ۱۱ نشان داده شده است در سال-های تر در طول دوره زمانی مورد مطالعه، بیشترین درصد وقوع رودخانه-های جوی به دسته خیلی شدید با ۵۷.۱ درصد تعلق دارد و سایر رخدادها به دسته شدید با درصد ۴۲.۹ تعلق دارند. در این سال-ها رودخانه جوی با متوسط و ضعیف رخ نداده است. این در حالی است که در سال-های خشکسالی رودخانه-های جوی با شدت-های



شکل ۱۰- فراوانی وقوع رودخانه-های جوی در سال-های تر، خشک، نرمال



شکل ۱۱- فراوانی وقوع رودخانه‌های جوی در سال‌های تر، خشک، نرمال



شکل ۱۲- درصد وقوع رودخانه‌های جوی در سال‌های مورد مطالعه، سال‌های تر، خشک و نرمال

۴. نتیجه گیری

دسته های شدید اشاره شده است. هرچند این موضوع برای همه ماه های مورد مطالعه صدق نمی کند. بررسی این مطالعه در سال های تر، خشک و نرمال نشان داد که در سال های خشک تعداد رودخانه های جوی نسبت به سال تر و یا نرمال قبل یا پس از آن در اکثر موارد کاهش را نشان می دهد. رودخانه های جوی خیلی شدید (دسته چهارم) در سال های تر ۶۰ درصد از وقایع رودخانه های جوی را در برمی گیرد در حالی که در سال های خشک وقوع رودخانه های جوی در دسته دوم (رودخانه های جوی با شدت متوسط) بیشترین فراوانی را دارد. در سال های نرمال نیز حدود ۷۵ درصد وقایع در دسته سوم (رودخانه های جوی شدید) اتفاق می افتد.

منابع

1. Akbary, M., Salimi, S., Hosseini, S. A., & Hosseini, M. (2019). Spatio-temporal changes of atmospheric rivers in the Middle East and North Africa region. *International Journal of Climatology*, 39(10), 3976–3986. <https://doi.org/10.1002/joc.6052>
2. Davolio, S., Vercellino, M., Miglietta, M. M., Drago Pitura, L., Laviola, S., & Levizzani, V. (2023). The influence of an atmospheric river on a heavy precipitation event over the western Alps. *Weather and Climate Extremes*, 39, 100542. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100542>
3. Dettinger, M. (2011). Climate change, atmospheric rivers, and floods in California: A multimodel analysis of storm frequency and magnitude changes. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 47(3), 514–523. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2011.00546.x>
4. Dezfuli, A. K. (2020). Rare atmospheric river caused record floods across the Middle East. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(4), E394–E400. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0247.1>
5. Esfandiari, N., & Lashkari, H. (2020). Identifying atmospheric river events and their paths into Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 140(3–4), 1125–1137. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03148-w>

پژوهش حاضر به بررسی اثر درون سالی رخداد رودخانه های جوی بر بارش کشور پرداخته است. به این منظور از داده های ERA5 با قدرت تفکیک یک درجه در راستاهای طول و عرض جغرافیایی در دوره ۱۹۸۳-۲۰۲۰ برای محاسبه مقدار تجمعی شار بخار افقی در ستون جو استفاده شده است. براساس نتایج مشخص شد که در ماه مارس بیشترین رخداد رودخانه جوی اتفاق افتاده است که همزمان با حرکت پرارتفاع جنب حاره به عرض های شمالی می باشد. در واقع یکی از عوامل واداشتی که انتقال رطوبت را در بستر رودخانه جوی تسریع می کند تقویت جریان جتی جنب حاره در اوایل فصل بهار است که در مطالعه دزفولی (۲۰۲۰) هم به آن اشاره شده است. ضعیف ترین رودخانه های جوی در دو ماه نوامبر و می رخ داده اند که با توجه به غلبه پرارتفاع جنب حاره و تضعیف جریانات مرطوب جنب حاره دور از انتظار نمی باشد. در ماه های ژانویه، فوریه و مارس پر قدرت ترین رودخانه های جوی مشاهده می شوند.

به طور کلی می توان گفت که شدت رودخانه های جوی می تواند بر میزان بارش تاثیر گذار باشد، با این حال علاوه بر شدت میتوان طول دوره زمانی رودخانه های جوی و فراوانی وقوع رودخانه های جوی را هم در نظر آورد.

به دلیل شرایط نه چندان مساعد برای رخداد بارش در ماه های می و نوامبر رخداد رودخانه جوی می تواند شرایط بارشی را بهبود قابل ملاحظه ای ببخشد که در این مطالعه مشخص شد در ماه می و نوامبر شدت رودخانه های جوی تاثیر بیشتری در میزان بارش حاصل از رودخانه های جوی دارد.

ماه آوریل شاهد تاثیر بیشتر طول دوره زمانی رودخانه جوی در میزان بارش مشاهده می شود. در ماه های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس که رودخانه های جوی شدید بیشترین فراوانی را دارند، بیشترین بارش و بیشترین طول دوره زمانی در دسته رودخانه های شدید است که رطوبت را در طی مدت طولانی تری دریافت میدارند البته در مطالعه اسفندیاری و رضایی (۲۰۲۲) نیز به بیشترین تداوم رودخانه های جوی در

- Iran. Journal of Water and Soil Science, 24(1), 97–106. [In Persian]
15. Lashkari, H., & Esfandiari, N. (2021). Synoptic and thermodynamic patterns of atmospheric rivers leading to heavy cold-season precipitation in Iran. *Natural Hazards Research*, 10(29), 125–144. [In Persian]
 16. Lavers, D. A., Allan, R. P., Wood, E. F., Villarini, G., Brayshaw, D. J., & Wade, A. J. (2011). Winter floods in Britain are connected to atmospheric rivers. *Geophysical Research Letters*, 38(23), 1–8. <https://doi.org/10.1029/2011GL049783>
 17. Lavers, D. A., & Villarini, G. (2013). Atmospheric rivers and flooding over the central United States. *Journal of Climate*, 26(20), 7829–7836. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00212.1>
 18. Mahto, S. S., Nayak, M. A., Lettenmaier, D. P., & Mishra, V. (2023). Atmospheric rivers that make landfall in India are associated with flooding. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 120. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00775-9>
 19. Maanavi-Pour, K., Zeinali, B., & Salahi, B. (2024). Investigation of the relationship between heavy precipitation in western Iran and atmospheric rivers. *Environmental Science Studies*, 2, 8322–8332. [In Persian]
 20. Modarres, R. (2006). Regional precipitation climates of Iran. *Journal of Hydrology (New Zealand)*, 45(1), 13–27.
 21. Neiman, P. J., Ralph, F. M., Moore, B. J., Hughes, M., Mahoney, K. M., Cordeira, J. M., & Dettinger, M. D. (2013). The landfall and inland penetration of a flood-producing atmospheric river in Arizona. Part I. *Journal of Hydrometeorology*, 14(2), 460–484. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0101.1>
 22. Ralph, F. M., Coleman, T., Neiman, P. J., Zamora, R. J., & Dettinger, M. D. (2013). Observed impacts of duration and seasonality of atmospheric-river landfalls on soil moisture and runoff in coastal Northern California. *Journal of Hydrometeorology*, 14(2), 443–459. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-076.1>
 23. Ralph, F. M., Iacobellis, S. F., Neiman, P. J., Cordeira, J. M., Spackman, J. R., Waliser, D. E., Wick, G. A., White, A. B., & Fairall, C. (2017). Dropsonde observations of total integrated water vapor transport within North Pacific atmospheric rivers. *Journal of*
 6. Esfandiari, N., & Lashkari, H. (2021). The effect of atmospheric rivers on cold-season heavy precipitation events in Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 12(2), 596–611. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.259>
 7. Esfandiari, N., & 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*, 42(15), 7730–7750. <https://doi.org/10.1002/joc.7674>
 8. Esmaeili, Z., Nasr-Esfahani, M. A., & Ghadim, S. E. (2022). The role of the Red Sea in moisture feeding of flood events of Iran with emphasis on the atmospheric river concept. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 134(3), 46. <https://doi.org/10.1007/s00703-022-00865-x>
 9. Galea, D., Ma, H.-Y., Wu, W.-Y., & Kobayashi, D. (2023). Deep learning image segmentation for atmospheric rivers. *Artificial Intelligence for the Earth Systems*, 3(1). <https://doi.org/10.1175/aies-d-23-0048.1>
 10. Ghafari, S., Rezaie, R., & Jahantab, E. (2014). Index of drought and wet years using the percentage of normal (PNPI) in Semnan. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 6, 124–130.
 11. Guan, B., Molotch, N. P., Waliser, D. E., Fetzer, E. J., & Neiman, P. J. (2010). Extreme snowfall events linked to atmospheric rivers and surface air temperature via satellite measurements. *Geophysical Research Letters*, 37(20), 1–7. <https://doi.org/10.1029/2010GL044696>
 12. Guan, B., & Waliser, D. E. (2015). Detection of atmospheric rivers: Evaluation and application of an algorithm for global studies. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(24), 12514–12535. <https://doi.org/10.1002/2015JD024257>
 13. Javanmard, S., Emamhadi, M., BodaghJamali, H., & Didehvarasl, A. (2017). Spatial-temporal analysis of drought in Iran using SPI during a long-term period. *Earth Sciences*, 6(2), 15. <https://doi.org/10.11648/j.earth.20170602.12>
 14. Khamchin Moghaddam, M., Sedghi, H., Kaveh, F., & Mansouri, M. (2010). Spatial zoning of maximum daily precipitation in

- Hydrometeorology, 18(9), 2577-2596.
<https://doi.org/10.1175/JHM-D-17-0036.1>
24. Ralph, F. M., Neiman, P. J., Wick, G. A., Gutman, S. I., Dettinger, M. D., Cayan, D. R., & White, A. B. (2006). Flooding on California's Russian River: Role of atmospheric rivers. *Geophysical Research Letters*, 33(13), 1-7.
<https://doi.org/10.1029/2006GL026689>
25. Ralph, F. M., Rutz, J. J., Cordeira, J. M., Dettinger, M., Anderson, M., Reynolds, D., Schick, L. J., & Smallcomb, C. (2019). A scale to characterize the strength and impacts of atmospheric rivers. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(2), 269-289.
<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0023.1>