دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست و چهارم، شماره‌ی ۸۵
صفحات ۷۱-۴۷ بهار ۱۴۰۳

*علیرضا شکیبا[۱]

ندا اسفندیاری[۲]

# تحلیل آماری-مکانی سهم و توزیع بارش ناشی از رودخانه‌های جوی در ایران طی دوره سرد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳

## چکیده

رودخانه‌های جوی به‌عنوان مسیرهای یکپارچه و متمرکز از رطوبت می‌توانند تأثیر متفاوتی بر بارش مناطق مختلف کشور بگذارند. این پژوهش باهدف کمی سازی پراکندگی مکانی رودخانه‌های جوی مرتبط با ۱۴۷ ایستگاه همدیدی ایران به همراه سهم بارش مرتبط با آن‌ها و نحوه ارتباطشان با مجموع بارش ماهانه برای ۶ ماه سرد سال طی بازه ۲۵ ساله (۲۰۲۰-۱۹۹۵) انجام‌شده است. در این راستا رودخانه‌های جوی بر اساس موقعیت جغرافیایی هر ایستگاه و مشخصات بارشی آن شناسایی و سپس جهت تعیین سهم بارشی و نحوه توزیع مکانی آن‌ها از تحلیل‌های آماری استفاده شد. نتایج نشان داد ازنظر زمانی به‌طور متوسط در کل کشور ۸ درصد از تمام زمان‌های موردمطالعه همراه با رودخانه‌های جوی است. به‌طور میانگین حدود ۵۱ درصد رخدادهای شناسایی‌شده منجر به بارش شده‌اند. ازنظر مکانی در اغلب ایستگاه‌های دامنه‌های غربی زاگرس و برخی ایستگاه‌های ساحلی جنوب تمام این رخدادها بارشی بوده‌اند. درمجموع این پدیده بین ۶ تا ۶۹ درصد مجموع بارش‌های کشور را طی ۶ ماهه سرد تأمین کرده است. حداکثر آن متعلق به نواحی جنوبی کشور بوده و با افزایش عرض جغرافیایی این سهم کاهش‌یافته است. علاوه بر این، افزایش بارش حاصل از رودخانه‌های جوی به‌طور متوسط موجب افزایش مجموع بارش ماهانه در ۸۴ درصد ایستگاه‌های موردمطالعه شده است. همچنین بارش متأثر از پدیده در زمان‌های مختلف دارای نابرابری مکانی است.

کلیدواژه: رودخانه جوی، بارش دوره سرد، توزیع مکانی، تحلیل آماری، ایران

*[۱]مرکز مطالعات سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه شهید بهشتی.(نویسنده مسئول). E-mail: mypauk28@gmail.com

[۲] پژوهشگر پسا دکتری مرکز مطالعات سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه شهید بهشتی. E-mail: neda_esfandiari@sbu.ac.ir

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

**مقدمه**

رودخانه‌های جوی[3] پدیده‌ای جهانی و در مقیاس همدیدی هستند که عمدتاً در عرض‌های میانی شکل می‌گیرند. آن‌ها در مسیرهایی باریک و طولانی عهده‌دار انتقال متمرکز بخارآب به‌صورت افقی در جو می‌باشند. تمرکز آن‌ها به‌صورت قائم از سطح زمین تا سطوحی از جو که حاوی رطوبت هستند را شامل می‌شود (Ralph et al., 2004; Rutz et al., 2014; Cordeira et al., 2017; Ralph, 2017). این پدیده در مناطق مختلف جهان با منشأ حاره‌ای و گاه جنب‌حاره‌ای تشکیل‌شده و مقادیر عظیمی از رطوبت و گرما را از عرض‌های جنوبی به عرض‌های میانه و شمالی فرا رفت می‌کنند (Zhu & Newell, 1998; Bao et al., 2006; Ralph & Dettinger, 2011). همچنین اغلب با سیکلون‌های برون‌حاره‌ای و جبهه‌ها به‌عنوان مکانیسم‌های اصلی بارش مرتبط هستند (Shu et al., 2021). براین اساس رودخانه‌های جوی نقش مهمی در رخدادهای بارش داشته و اثرات هیدرولوژیکی قابل‌توجهی در نواحی خشک به دنبال دارند. به‌عبارت‌دیگر به دلیل ارتباطشان با ذخایر آبی می‌توانند به‌عنوان یک فرصت و به دلیل اثرات تخریبی ناشی از سیلاب‌ها و زمین‌لغزه‌ها به‌عنوان یک تهدید محسوب شوند (Dettinger et al., 2011). هر دو نقش به اهمیت مطالعه آن در بخش‌های مختلف علمی می‌افزاید.

اثر رودخانه‌های جوی بر بارش در مقیاس جهانی، منطقه‌ای یا محلی مطالعه شده است: در مقیاس جهانی بر اساس مطالعه Guan & Waliser (2015) آن‌ها مسئول ۸۴ درصد مجموع شار رطوبت نصف‌النهاری و ۸ درصد گردش مداری در نیمکره شمالی می‌باشند. فراوانی رخداد رودخانه‌های جوی در حوضه‌های اقیانوسی عرض‌های میانی نسبت به خشکی‌ها و سایر عرض‌ها بیشتر بوده است. آن‌ها همچنین نشان دادند که بارش رودخانه‌های اتمسفری بیشتر در مناطقی از کره زمین رخ می‌دهد که ازنظر علمی کمترین توجه را نسبت به این پدیده دارند. Waliser & Guan (2017) حدود ۴۰ تا ۷۵ درصد رخداد بادها و بارش‌های فرین را در بیش از ۴۰ درصد نواحی ساحلی جهان به رودخانه‌های جوی بارشی نسبت دادند. Shearer et al (2020) نشان دادند بین ۵۰ تا ۶۵ درصد بارش در نواحی خشکی و اقیانوس جهان متأثر از رودخانه‌های جوی است و این تأثیرگذاری با توجه به تغییر اقلیم در سطح جهانی در حال افزایش است. از سایر پژوهش‌های جهانی در این رابطه می‌توان به این موارد نیز اشاره کرد: (Algarra et al., 2020; Arabzadeh et al., 2020; Kim et al., 2022; Paltan et al., 2017; Ramseyer & Teale, 2021)

در مقیاس منطقه‌ای رودخانه‌های جوی بیش از ۵۰ درصد مجموع بارش سالانه یا فصلی را در مناطق غربی آمریکای شمالی، مرکز ایالات‌متحده، غرب اروپا و جنوب آفریقا به‌ویژه در دوره سرد تشکیل می‌دهند (Blamey et al., 2018; Dettinger et al., 2011; Lavers & Villarini, 2015; Rutz & Steenburgh, 2012)

اثر این پدیده در نواحی مختلف کوهستانی و ساحلی جهان و بر مجموع بارش آن‌ها به‌صورت زیر بوده است: Rutz et al (2014) با بررسی ویژگی‌های اقلیمی رودخانه‌های اتمسفری و نفوذ آن‌ها به خشکی‌های غرب ایالات‌متحده برای ۲۳ فصل سرد (نوامبر و آوریل) نشان دادند بیشترین فراوانی و مدت این رودخانه‌ها در سواحل واشنگتن و دامنه‌های غربی نوادا است، درحالی‌که کمترین آن‌ها به نواحی مرتفع دامنه‌های شرقی مربوط می‌شود. آن‌ها رخداد

[3] Atmospheric Rivers (ARs)

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

بارش‌های فصل سرد و همین‌طور بارش‌های ۲٤ ساعته را به رودخانه‌های اتمسفری در دامنه‌های غربی و بخش‌هایی از دامنه‌های شرقی با الگوها و جهات متفاوت سینوپتیکی نسبت دادند. Khouakhi & Villarini (2016) ارتباط این پدیده را بر مجموع بارش سواحل شمال غربی آفریقا تا ۵۰ درصد در مناطق خشک جنوبی و در امتداد ساحل شمالی اقیانوس اطلس و ارتفاعات اطلس برآورد کردند. همچنین مشارکت رودخانه‌های جوی در سواحل جنوبی آمریکای جنوبی (شیلی) تا ۸۰ درصد به‌طور سالانه هست (Viale et al., 2018). این پدیده نقش اساسی در منابع آب منطقه‌ای نیوزلند ایفا می‌کند و مسئول بسیاری از رویدادهای بارندگی شدید در سمت غربی مناطق کوهستانی و شمال نیوزیلند هست. در این مناطق، بسته به فصل، ٤۰ تا ۸٦ درصد از کل بارندگی و ۵۰ تا ۹۸ درصد از رویدادهای شدید بارندگی مرتبط با رودخانه‌های جوی است (Reid et al., 2021; Shu et al., 2021). در سواحل غربی نروژ تا ۸۰ درصد ارتباط با بارش‌های زمستانی یافت شده است (Whan et al., 2020). Li et al (2021) در مطالعه‌ای نشان دادند که علیرغم فراوانی وقوع کم رودخانه‌های جوی، این پدیده حدود ۱٤ تا ٤٤ درصد از کل بارندگی و ۲۰ تا ۹۰ درصد از رویدادهای باران‌های شدید در طول بهار، تابستان و پاییز را به‌ویژه در دامنه‌های غربی-جنوب شرقی بر روی شبه‌جزیره کره و ژاپن تشکیل می‌دهند. طی سال‌های اخیر رودخانه‌های جوی به‌عنوان منبع مهمی از بارندگی به‌طور مشخص در نپال، بیتیش کلمبیا ، شرق آسیا، جنوب کره و سواحل هند نیز موردبررسی و تائید قرارگرفته است (Ahn & Ahmad Nayak, 2022; Dhana Laskhmi & Satyanarayana, 2020; Pan & Lu, 2020; Sharma & Déry, 2020; Thapa et al., 2018).

پدیده فوق ازنظر شکل بارش نیز موردمطالعه قرارگرفته است: Gorodetskaya et al., (2014; Guan et al., 2010; Henn et al., 2020; Lettenmaier, 2019; McGowan et al., 2021; Neff et al., 2014). Guan et al. (2013) ۳۰ تا ٤۰ درصد مجموع آب معادل برف را در رشته‌کوه‌های نوادا مرتبط با رودخانه‌های جوی دانسته‌اند. علیرغم این‌که حمل‌ونقل شدید بخار مرتبط با آن‌ها رویدادهای نسبتاً نادری در مناطق ساحلی قطب جنوب (حدود ۳ روز در سال) هستند، تأثیر قابل‌توجهی بر روی اقلیم‌شناسی بارش داشته و مسئول حداقل ۱۰٪ از کل بارش برف انباشته‌شده در سراسر قطب جنوب شرقی (مناطق محلی به ۲۰٪ می‌رسد) و اکثر رویدادهای بارش شدید هستند(Wille et al., 2021).

با در نظر گرفتن موارد فوق تأثیر این پدیده در همه نواحی جهان یکسان نبوده است. به‌طور مثال Papineau & Holloway (2012) به مطالعه رودخانه‌های اتمسفری که نسبتاً در ماه‌های گرم سال در آلاسکا شایع هستند پرداخته و به این نتیجه رسیدند که علی‌رغم وجود مقدار زیادی از رطوبت در این رودخانه‌ها همه‌ی آن‌ها مقدار زیادی بارش تولید نمی‌کنند.

باوجود اهمیت این پدیده و تأثیرات آن مطالعات محدودتری نسبت به سطح جهانی بر روی رودخانه‌های جوی و به‌ویژه ارتباط آن‌ها با بارش در ایران صورت گرفته است. درحالی‌که با توجه به موقعیت جغرافیایی، ایران محل قابل‌تأملی برای بررسی این شریان‌های رطوبتی است. با در نظر گرفتن وضـعیت بحـران شدید آب، ثابت بودن منابع آبی، افزایش جمعیت، تشدید شرایط نامطلوب منابع آبـی کشور تحت تأثیر عوامل متعددی ازجمله گرمایش جهانی بارش‌های

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

متأثر از رودخانه‌های جوی (Mohammad Jani & Yazdanian, 2014) می تواند هم فرصتی برای تأمین بخشی از منابع آبی کشور به‌عنوان منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک باشد و هم اثرات تهدیدکننده هیدرولوژیکی به همراه داشته باشد. شناسایی، طبقه‌بندی، مسیریابی، تغییرات زمانی مکانی رودخانه‌های جوی صرف‌نظر از وضعیت بارشی آن‌ها در مطالعات Esfandiari & Lashkari (2020) و Click or tap here to enter text.Esfandiari & Rezaei (2022) طی بازه‌های زمانی و روش‌های شناسایی متفاوت در منطقه خاورمیانه انجام‌شده است.

ارتباط رودخانه‌های جوی با بارش تا حدودی در مطالعات زیر صورت گرفته است: Salimi & Saligheh (2016) به بررسی حمل و انتقال بخارآب از طریق رودخانه‌های اتمسفری برای دوره سه‌ساله (۲۰۱۳-۲۰۱۱) پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان داد رودخانه‌های اتمسفری رطوبت بخشی از بارش‌های ایران را تأمین می‌کند. ( Shademani (2016) با استفاده از یک الگوریتم، وجود یا عدم وجود رودخانه‌های جوی را بر ۲ مورد بارندگی شدید منجر به سیل در غرب و جنوب ایران بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مسیرهای به‌دست‌آمده در امتداد مسیر رودخانه‌های جوی هستند. Massoud et al (2020) در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا ارتباط بارش با رودخانه‌های جوی را تحت پروژه تغییر اقلیم پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج مطالعه ایشان نشان داده است که باوجود نیمه‌خشک و خشک بودن اقلیم این منطقه بخش‌هایی از آن از رودخانه‌های جوی بسیار قوی تأثیر می‌پذیرد، به‌ویژه در مناطقی مانند مناطق مرتفع ایران و ترکیه که سهم زیادی از بارش سالانه خود را از این پدیده دریافت می‌کنند. Dezfuli (2020) با بررسی وضعیت جوی مرتبط با سیلاب‌های فراگیر فروردین ۱۳۹۸ در خاورمیانه دلیل این مخاطره را حضور یک رودخانه جوی نادر عنوان کرد. Lashkari & Esfandiari (2020) با شناسایی ده مورد از رودخانه‌های جوی مرتبط با بالاترین بارش‌های ایستگاهی ایران (۹۰ میلی‌متر معادل صدک ۹۵ ام حداکثر بارش‌های مرتبط با این پدیده) وضعیت همدیدی مربوط به آن‌ها را تحلیل کردند. Sadeghi et al. (2021) تأثیر شرایط رودخانه جوی بر ایران و ارتباط احتمالی آن با تشدید بارش‌های سنگین را برای ماه فروردین ایران (برابر ۲۱ مارس تا ۲۰ آوریل) موردبررسی قراردادند. Omidvar et al (2022) ارتباط میان بارش‌های سنگین جنوب و جنوب غرب ایران با رودخانه‌های جوی را برای دو نمونه رخداد بررسی کردند و با در نظر گرفتن شرایط اولیه برای شناسایی این پدیده نشان دادند که رخدادهای فوق (منطبق با ماه نوامبر و مارس) در حضور رودخانه جوی به وقوع پیوسته بودند.

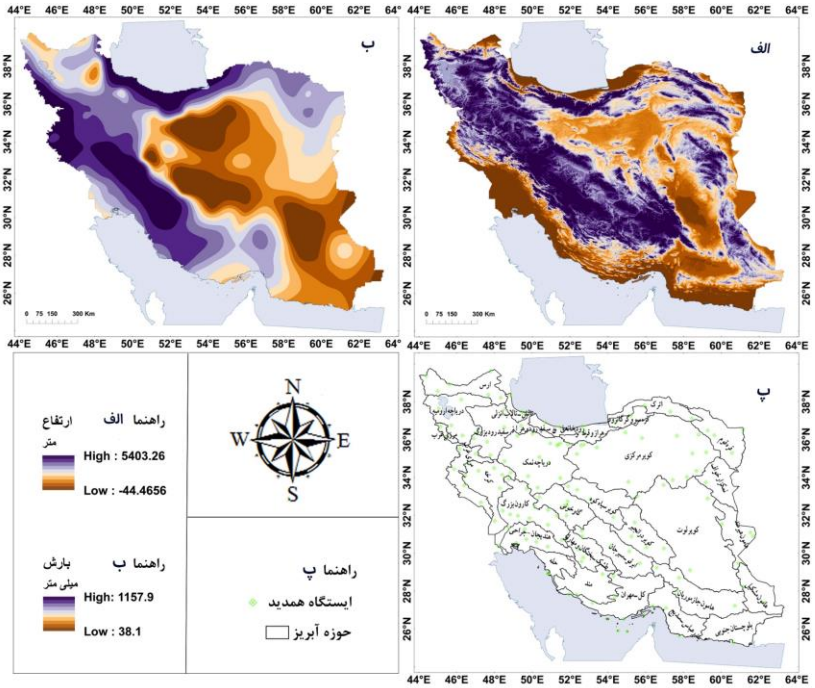
در مطالعه‌ای نزدیک‌تر با پژوهش حاضر Esfandiari & Lashkari (2021) بامطالعه تأثیر رودخانه‌های جوی بر بارش‌های سنگین ایران (صدک ۹۰ ام بارش) در دوره سرد به این نتیجه رسیدند که به‌طور متوسط در هر شش ماه ۱۱ روز از بارش‌های سنگین ایران مرتبط با رودخانه‌های جوی بوده است. همین‌طور رودخانه‌های جوی به‌طور ماهانه بین ۲۰ تا ۵۰ درصد درمجموع بارش‌های سنگین کشور ایران نقش داشته‌اند. نتایج این پژوهش مشخص کرد اگرچه بیشتر رودخانه‌های جوی از مسیر ساحلی جنوب وارد کشور می‌شوند اما بیشترین نواحی متأثر از رودخانه جوی درمجموع بارش‌های سنگین مربوط به غرب ایران به‌ویژه نواحی مرتفع و غربی زاگرس بوده است.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

آنچه در خصوص ارتباط رودخانه‌های جوی و بارش در ایران انجام‌شده به‌صورت نمونه موردی در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت با روش‌های شناسایی متفاوت بوده و یا مقادیر آستانه‌ای بارش مثل بارش‌های سنگین یا سیل‌آسا بعضاً با رویکرد محیطی به گردشی هدف موردمطالعه بوده است؛ بنابراین، نگاه کمتر جامع و دقیقی از نحوه توزیع رودخانه‌های جوی در مناطق مختلف کشور در مقایسه با میزان بارشی بودن آن‌ها و تأثیر این بارش بر مقدار بارش ایستگاهی کشور وجود دارد. این مطالعه در راستای خلأ موجود تلاش دارد تا تأثیر رودخانه‌های جوی بر میزان بارندگی مرتبط با هریک از ایستگاه‌های همدیدی کشور را کمی سازی کند و ارتباط بارش‌های ناشی از رودخانه جوی را با تغییرات مجموع بارش ماهانه هر ایستگاه ارائه دهد.

**منطقه موردمطالعه**

سرزمین ایران به‌عنوان یکی از کشورهای منطقه آسیا در محدوده ۲۵ تا ٤٠ درجه عرض شمالی و ٤٤ تا ٦٣ درجه طول شرقی واقع‌شده است. ازنظر زمین ساختی در قلمرویی ناپایدار و ازنظر اقلیمی در شرایط خشک قرار دارد (Alaee Taleghani, 2009). به‌طورکلی شصت درصد ایران کوهستانی است و بخش مرکزی کشور از دشت‌های وسیع خشک کویر و لوت تشکیل‌شده است. رشته‌کوه البرز در شمال، در جهت شرق به غرب با حداکثر ارتفاع حدود ۵۰۰۰ متر امتداد دارد. رشته‌کوه‌های زاگرس در غرب با جهت شمال غربی به جنوب شرقی قرارگرفته‌اند و حداکثر ارتفاع آن به حدود ۳۵۰۰ متر می‌رسد (شکل ۱ الف).




**شکل ۱: محدوده موردمطالعه، الف) نقشه ارتفاعی ب) نقشه میانگین مجموع بارش ٦ ماهه سرد (۱۹۹۵-۲۰۲۰) پ) نقشه حوزه‌های آبریز درجه ۲ و ایستگاه‌های همدیدی موردمطالعه**

**Figure 1: The studied area, a) height map, b) The total average of precipitation in 6 cold months (1995-2020) and c) Map of the catchment areas and synoptic station**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

این دو منطقه کوهستانی نقش مهمی در تعیین میزان و توزیع مکانی و زمانی غیریکنواخت بارش در سراسر کشور دارند (Javanmard et al., 2010). بیشتر دامنه‌های داخلی رشته‌کوه‌های زاگرس با بارندگی سالانه بسیار کمتر از دامنه‌های غربی خود، اثر سایه باران را تجربه می‌کنند. بیش از نیمی از کشور کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر بارندگی دریافت می‌کند و برخی مناطق سالانه کمتر از ۵۰ میلی‌متر بارندگی دارند(Balling et al., 2016) .

علاوه بر این، ۹۰ درصد کل بارش‌ها در فصول سرد و مرطوب در نواحی شمالی و غربی کشور و تنها ۱۰ درصد در فصول گرم و خشک در مناطق مرکزی، جنوبی و شرقی رخ می‌دهد (Javanmard, 2017). شکل ۱ (ب) متوسط بارش ایران طی شش ماه سرد (نوامبر–آوریل) در یک بازه بلندمدت ۲۵ ساله را نشان می‌دهد. بخش مهمی از این بارش‌ها می‌تواند متأثر از رودخانه‌های جوی باشد. با توجه به این‌که فصلی بودن ویژگی‌های گردش جهانی جو به‌شدت بر فصلی بودن بارندگی در منطقه تأثیر می‌گذارد و رودخانه‌های جوی به‌طورمعمول با سیکلون‌های جنب حاره در مقیاس سینوپتیک در ارتباط هستند؛ از منظر اقلیم‌شناسی در نیمه سرد سال با توجه به گسترش سیکلون‌های جنب حاره و تقویت این ارتباط تعداد رودخانه‌های جوی نیز بیشتر می‌شود (Zhu & Newell, 1998). بنابراین بازه زمانی موردمطالعه در این پژوهش دوره سرد هست.

**مواد و روشها**

موارد

به‌منظور دستیابی به اهداف، در این پژوهش از داده‌های مختلفی استفاده‌شده است. در بخش اول جهت شناسایی رودخانه‌های جوی از شار بخارآب به‌طور قائم یکپارچه‌شده جوی[4](IVT) استفاده‌شده است که بخارآب را با در نظر گرفتن مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد (سرعت و جهت) نشان می‌دهد. به همین دلیل وابستگی کمتری به وضعیت ناهمواری‌های سطح زمین و همبستگی بیشتری با بارش دارند (Junker et al., 2008; Oakley et al., 2017; Rutz et al., 2015). امروزه این داده‌ها با دقت مناسبی با استفاده از مدل‌های عددی پیش‌بینی‌شده (Lavers et al., 2016) و در شناسایی رودخانه‌های جوی مورداستفاده قرار می‌گیرند.

شار قائم یکپارچه‌شده بخارآب جو از سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال تا جایی که رطوبت در جو موجود می‌باشد (عموماً ۳۰۰ هکتوپاسکالی) در نظر گرفته می‌شود و خود شامل پارامترهایی چون نم ویژه، باد مداری و نصف‌النهاری هست که در دستگاه اویلری به‌صورت زیر قابل‌محاسبه هستند:

معادله ۱) $$IVT = \sqrt{IVT_u^2 + IVT_V^2}$$

معادله ۲) $$IVT_u = \frac{1}{g}\int_{1000\ hpa}^{300\ hpa} qudp$$

معادله ۳) $$IVT_v = \frac{1}{g}\int_{1000\ hpa}^{300\ hpa} qvdp$$

[4] Integrated Water Vapor Transport

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

در معادلات فوق q نشان‌دهنده نم ویژه، u و v مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، g شتاب گرانی و dp اختلاف فشار میان دو سطح هست (Lavers et al., 2012; Ramos et al., 2015). معادله ۲ شار بخارآب شرق سو و معادله ۳ شار بخارآب شمال سو را نشان می‌دهد، درحالی‌که معادله ۱ مجذور جمع مربع این دو داده است و نتیجه آن بزرگی[5] شار قائم بخارآب را ارائه می‌دهد. برای داشتن اولین ورودی‌ها جهت شناسایی رودخانه‌های جوی، محاسبه معادله ۱ لازم می‌باشد.

به‌منظور محاسبه بزرگی شار از داده‌های بازنگری شده شار قائم بخارآب شرق سو و شمال سو در پایگاه پیش‌بینی میان‌مدت آب‌وهوای اروپا[6] با تفکیک مکانی ۰/۲۵* ۰/۲۵ درجه قوسی به‌صورت شش‌ساعته استفاده گردید.

جهت تحلیل وضعیت بارش، از داده‌های روزانه بارش ۱۴۷ ایستگاه همدیدی در سراسر ایران استفاده شد. این داده‌ها از سازمان هواشناسی کشور در بازه زمانی ۲۵ ساله ۱۹۹۵-۲۰۲۰ مشخصاً برای شش ماه سرد (نوامبر تا آوریل) اخذشده است.

روش‌شناسی

برای تعریف رودخانه‌های جوی مانند سایر پدیده‌های قابل‌اندازه‌گیری آستانه‌هایی کمی در نظر گرفته می‌شود تا قابل‌شناسایی و قیاس باشد. اکثر روش‌های موجود معیارهایی را برای تبدیل یک پدیده کیفی به کمی پیشنهاد می‌کند. این معیارها عموماً بر روی شدت شار، مشخصات فیزیکی (شامل طول، عرض یا نسبت این دو) و زمان اعمال می‌شود. روش‌های معرفی‌شده در این زمینه در مقاله (Rutz et al., 2019) موجود است و با در نظر گرفتن هدف مطالعه و منطقه موردبررسی این معیارها متفاوت است. در این پژوهش رودخانه‌های جوی طبق خروجی‌های الگوریتم پیاده‌سازی شده توسط (Esfandiari & Rezaei, 2022) به‌دست‌آمده است و روش مورداستفاده در آن‌که با جستجوی خودکار محور پدیده (شبکه‌های به‌هم‌پیوسته از حداکثر شار موجود در طول یا عرض جغرافیایی) آغاز می‌شود به‌طور خلاصه شامل شروط اصلی[7] زیر است:

۱- مشخصه‌های شدت شار به‌طور قائم یکپارچه‌شده بخارآب: استفاده از آستانه نسبی به این معنی که تمام شبکه‌های جغرافیایی بررسی‌شده از صدک هشتاد و پنجم شار بخارآب بلندمدت منطقه بالاتر باشد (Lavers et al., 2012).

۲) مشخصات فیزیکی: الف) طول: حداقل سه‌چهارم شبکه‌های شمارش‌شده بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر گستردگی داشته باشند (بخشی از این مسافت می‌تواند در طول جغرافیایی و بخشی در عرض جغرافیایی به‌طور متوالی گسترش‌یافته باشد). ب) حداقل نیمی از محور شناسایی‌شده دارای مؤلفه شمال سو باشد. این شرط، جهت غالب حرکت رودخانه جوی احتمالی را در نظر می‌گیرد. ج) نسبت طول به عرض رودخانه جوی فرضی بیش از ۲ برابر باشد (مطابق Guan

[5] Magnitude

[6] The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

[7] جزئیات بیشتر از الگوریتم و چرایی استفاده از شروط فوق در اسفندیاری و رضایی (۲۰۲۲) قابل مشاهده می باشد.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

& Waliser, 2015). درروش حاضر از محدودیت زمانی (تعداد گام‌های مشخص) حین شناسایی رودخانه‌های جوی استفاده‌نشده است.

به دلیل بزرگی ابعاد یک رودخانه جوی حداقل از منظر طولی، لازم است تا محدوده مورد شناسایی گسترده‌تر در نظر گرفته شود. ازآنجایی‌که رخدادهای شناسایی‌شده توسط الگوریتم نواحی فراتر از مرزهای ایران را نیز پوشش می‌داد (۲۵ تا ۸۰ درجه شرقی –۱۵ تا ٤٥ درجه شمالی)؛ بنابراین با در نظر گرفتن اهداف این پژوهش و لزوم انطباق رخدادها بر ایستگاه‌های همدیدی موردبررسی، خروجی‌های فوق پالایه شدند. در این بخش نقشه تمام گام‌هایی که به‌عنوان یک رودخانه جوی شناسایی شدند ترسیم گردید تا تنها رخدادهایی که حداقل یک ایستگاه همدیدی را پوشش دادند انتخاب شود. در مرحله بعد هریک از گام‌های شناسایی‌شده به‌عنوان رخداد رودخانه‌ی جوی با موقعیت ایستگاه‌های همدیدی موردبررسی قرار گرفت. در این مرحله حضور حداقل یک گام شش ساعته رودخانه جوی در هر موقعیت مکانی به کل آن روز تعمیم یافت و ارتباط یا عدم ارتباط این رخداد با هریک از ایستگاه‌های همدیدی به صورت روزانه مشخص شد.

یافته‌های این بخش به‌صورت فراوانی رخداد رودخانه‌های جوی برای ایستگاه‌های کل کشور با تکنیک وزن دهی معکوس فاصله درون‌یابی شد. درصد این فراوانی نسبت به‌کل زمان موردبررسی به تفکیک هرماه و همین‌طور مجموع شش‌ماهه محاسبه‌شده و به‌صورت مکانی ترسیم گردید. در بخش دوم مقادیر بارش هر ایستگاه به هنگام حضور رودخانه جوی در آن ایستگاه موردبررسی قرارگرفته و درصد رودخانه‌های جوی مرتبط با بارش یک میلی‌متر و بالاتر به عنوان معیاری برای یک روز مرطوب (Polade et al., 2014; Schär et al., 2016; McErlich et al., 2023) محاسبه و به‌صورت مکانی ارائه شدند. در بخش سوم کسر یا نرخ مکانی[8]بارش‌های مرتبط با رودخانه‌های جوی در یک موقعیت مکانی به وزن کلی بارش در آن موقعیت محاسبه و برای همه ایستگاه‌ها به تفکیک هر ماه تحلیل شد (معادله ٤).

معادله ٤)

$$\text{ضریب مکانی بارش متأثر از رودخانه جوی} = \frac{\text{مقدار بارش رودخانه جوی در ایستگاه الف / مقدار بارش رودخانه جوی در مجموع ایستگاه ها}}{\text{مقدار بارش در ایستگاه الف / مقدار بارش در مجموع ایستگاه ها}}$$

علاوه بر این، از ضریب جینی نیز به‌عنوان شاخص آشکارکننده عدم تجانس مکانی میان بارش رودخانه‌های جوی و بارش پایه یا مجموع کشور در هرماه استفاده شد. این شاخص معیاری از پراکندگی آماری است که میزان نابرابری توزیع فراوانی یک متغیر را اندازه گیری می کند(Jalali, 2008). به طور مثال در علم اقتصاد از این ضریب جهت بررسی توزیع ثروت مردم یک جامعه استفاده می شود و بالا بودن این ضریب در سطح مکانی (مثلا یک کشور) نشان دهنده اختلاف طبقاتی و نابرابری درآمدی در آن کشورمی باشد(Gini, 1936). بنابراین این امکان وجود دارد تا با استفاده از شاخص جینی مشخص کنیم که آیا نابرابری در حال افزایش یا کاهش است. اگرچه ضریب جینی

[8] Location quotients

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

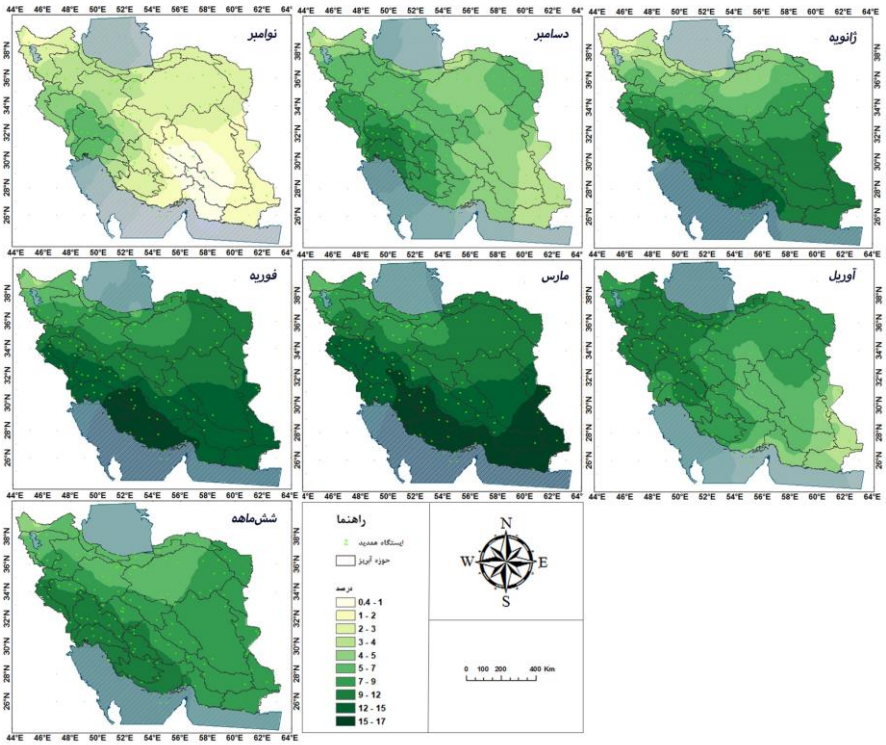
بیشترین محبوبیت را در اقتصاد دارد، اما از نظر تئوری می‌تواند در هر رشته‌ای از علم که توزیعی را مطالعه می‌کند، استفاده شود (Wittebolle et al., 2009). در پژوهش حاضر استفاده از این شاخص کمک کرد تا اختلاف یا درجه نابرابری بارش های دریافتی از رودخانه ها جوی نسبت به مجموع بارش میان تمام ایستگاه های کشور در هر ماه مشخص گردد و درنتیجه کاهش یا افزایش میزان اختلاف مکانی تاثیر رودخانه جوی بر بارش طی یک چرخه ماهانه کمی شود.

درنهایت جهت بررسی چگونگی ارتباط بارش‌های رودخانه جوی با مجموع بارش هرماه ازنظر نوع و شدت، در پاسخ به این سؤال که آیا لزوماً افزایش بارش‌های مرتبط با رودخانه جوی منجر به افزایش مجموع بارش ماهانه ایستگاه موردنظر شده است؟ از ضریب همبستگی پیرسون در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد برای هر ایستگاه استفاده شد. مقیاس مکانی مورداستفاده در این پژوهش به تفکیک زیر لایه حوزه‌های آبریز درجه ۲ بوده است.

**یافته‌ها و بحث**

توزیع مکانی و زمانی فراوانی رودخانه جوی نسبت به زمان

در این بخش پراکنش مکانی رودخانه‌های جوی نسبت به تمام زمان‌های موردمطالعه (برحسب روز) در هرماه ارائه‌شده است. درصد فراوانی در طول زمان (۲۵ سال) به تفکیک هرماه در شکل ۲ نشان داده‌شده است.




**شکل ۲: نقشه‌های درصد فراوانی رودخانه‌های جوی نسبت به واحد زمان (روز)**

**Figure 2: The frequency percent of ARs over time (scale: daily)**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

نقشه‌های توزیع فراوانی، آشکارکننده تفاوت مکانی در گسترش رودخانه‌های جوی طی هرماه از دوره سرد هست. مناطقی از کشور به‌طور ثابتی فراوانی بیشتری از حضور رودخانه‌های جوی دارند. این فراوانی بیشتر، می‌تواند به دلیل تعداد رخداد بیشتر یا تأثیر دوام بالاتر رودخانه‌های جوی در این مناطق باشد.

در ماه نوامبر (۱۰ آبان تا ۹ آذر در تقویم شمسی) که با شروع تدریجی بادهای گسترده غربی در کشور ایران همراه است (Rousta et al., 2017) حداکثر ۷ درصد زمان از یک بازه ۲۵ ساله (۷۵۰ روز) با پدیده رودخانه جوی همراه بوده است. این میزان فراوانی تنها به مناطق جنوب غربی کشور (شامل حوزه‌های آبریز کارون بزرگ، بخش‌های شرقی کرخه و نیمه غربی هندیجان–جراحی) محدود می‌شود و به‌طور تدریجی با دور شدن از این منطقه در تمام جهات (از سمت جنوب غرب) به سمت عرض‌های بالاتر از درصد آن در این ماه کاسته می‌شود. به‌طوری‌که در حوزه‌های شرق هندیجان جراحی، جنوب دریاچه نمک، شمال کرخه، حوزه مرزی غرب به حداکثر ۵ درصد می‌رسد. به سمت عرض‌های بالاتر در حوزه‌های حله، شمال غرب مهارلو، گاوخونی، دریاچه نمک، سفیدرود بزرگ و جنوب ارومیه میزان فراوانی به حداکثر ٤ درصد می‌رسد. این فراوانی در برخی حوزه‌های جنوبی مانند بندرعباس–سدیج، غرب هامون، جازموریان، جنوب شرق دشت لوت و جنوب شرق ابرقو–سیرجان به کمترین مقدار یعنی حداکثر یک درصد رسیده است.

در ماه دسامبر درصد فراوانی رخداد نسبت به ماه قبل افزایش‌یافته و تا حداکثر ۹/۵ درصد رسیده است. همانند نوامبر توزیع فراوانی رودخانه‌های جوی با جهت‌گیری جنوب غربی–شمال شرقی از مرکز بیشینه هندیجان–جراحی به سمت عرض‌های بالاتر و در اطراف شرق و غرب آن به‌تدریج کاسته می‌شود و تا حداکثر ۲ درصد در ایستگاه جلفا در حوزه ارس در شمال شرق، ۳/۷ درصد در حوزه غربی اترک و گرگان رود در شمال و ۳/۳ درصد در حوزه‌های استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرق می‌رسد. بااین‌حال بخشی از نواحی شمال شرقی کشور خارج از این محدوده با درصد فراوانی بالاتری نسبت به اطراف خود (۵/۵ درصد) قرارگرفته است.

در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس جهت‌گیری پراکنش درصد فراوانی حضور رودخانه‌های جوی تغییر کرده است و مراکز بیشینه به سمت جنوب جابجا شده‌اند. درعین‌حال فراوانی سایر مناطق همچنان با دور شدن از این مراکز بیشینه در جهت جنوبی–شمالی کاهش می‌یابند. این وضعیت نشانگر افزایش فعالیت سامانه‌هایی است که در این ماه‌ها از جنوب وارد کشور می‌شوند(Esfandiari & Lashkari, 2020). رودخانه‌های جوی در این سه ماه تا حداکثر ۱۷ درصد از مجموع زمان‌های موردبررسی هرماه را پوشش داده‌اند. این مراکز بیشینه در ماه ژانویه کاملاً بر روی حوزه‌های جنوبی قرارگرفته‌اند و تا ماه مارس حوزه‌های جنوب شرقی ایران را نیز در برمی‌گیرند. در هر سه ماه نیز کمترین فراوانی به سمت حوزه‌های شمالی در سمت شمال غرب قرار دارد. این نواحی بین ۳ تا ٤ درصد مجموع زمان‌ها در ماه ژانویه و بین ۷ تا ۹ درصد زمان‌ها در ماه مارس را شامل شده‌اند. بااین‌وجود این مناطق نسبت به ماه‌های قبل افزایش تقریباً ۷ درصدی حضور رخداد رودخانه جوی را داشته‌اند.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

در ماه آوریل علاوه بر کاهش فراوانی رخداد رودخانه جوی در کشور مراکز بیشینه و جهت‌گیری توزیع آن نیز به‌طورکلی تغییر می‌یابد. درصد فراوانی بین ۳ تا ۱۲ هست و جهت‌گیری پراکنش مکانی آن از سمت جنوب شرق به شمال غرب است. به این صورت که کمترین فراوانی در حوزه‌های جنوب شرقی کشور (شرقی‌ترین نقاط سیستان و بلوچستان) هست و به سمت عرض‌های بالاتر در تمام جهات به مقدار فراوانی رخداد افزوده می‌شود. تا حدی که حداکثر آن بر حوزه‌های غربی-شمالی و تا حدودی شمالی-غربی کشور قرار می‌گیرد؛ بنابراین تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها در ذیل دامنه بالاترین فراوانی رخداد در ماه آوریل قرارمی گیرند. اگرچه ایستگاه‌های حوزه‌های ارس و نیمه شمالی ارومیه در این ماه مشمول دامنه حداکثر رخداد نمی‌شوند.

درمجموع، بالاترین حضور رودخانه‌های جوی در مقیاس روزانه به ترتیب متعلق به ماه مارس در حوزه‌های جنوبی و جنوب شرقی، ماه فوریه و ژانویه در حوزه‌های جنوبی (شامل مند-حله و کل-مهران) است. کمترین آن در ماه نوامبر مرتبط با بخشی از حوزه‌های جنوب میانی و کویری و سپس شمال غرب و نوار شمالی کشور بوده است. تفاوت قابل ملاحظه حضور رودخانه‌های جوی در منطقه جنوب شرقی کشور طی دو ماه پیاپی مارس و آوریل نشان از تفاوت موقعیت سامانه‌های مؤثر بر این نواحی و اهمیت توجه به توزیع مکانی این پدیده در مقیاس زمانی کوتاه هست (khoshakhlagh et al., 2012). نقشه درصد فراوانی مجموع شش‌ماهه نشان می‌دهد رودخانه‌های جوی تا حداکثر ۱۱ درصد از زمان موردبررسی (۹۰۰ روز= ۲۵ سال * مجموع روزهای ٦ ماه) در حوزه‌های جنوب غربی، غربی و برخی حوزه‌های جنوبی قرار داشتند. شمال غرب کشور با کمترین فراوانی بین ۳/۵ تا ٦/۵ درصد و سایر نواحی دارای فراوانی بین ۵ تا ۹ درصد تمام زمان‌ها در دوره سرد بوده‌اند.

توزیع مکانی و زمانی فراوانی رودخانه‌های جوی بارشی

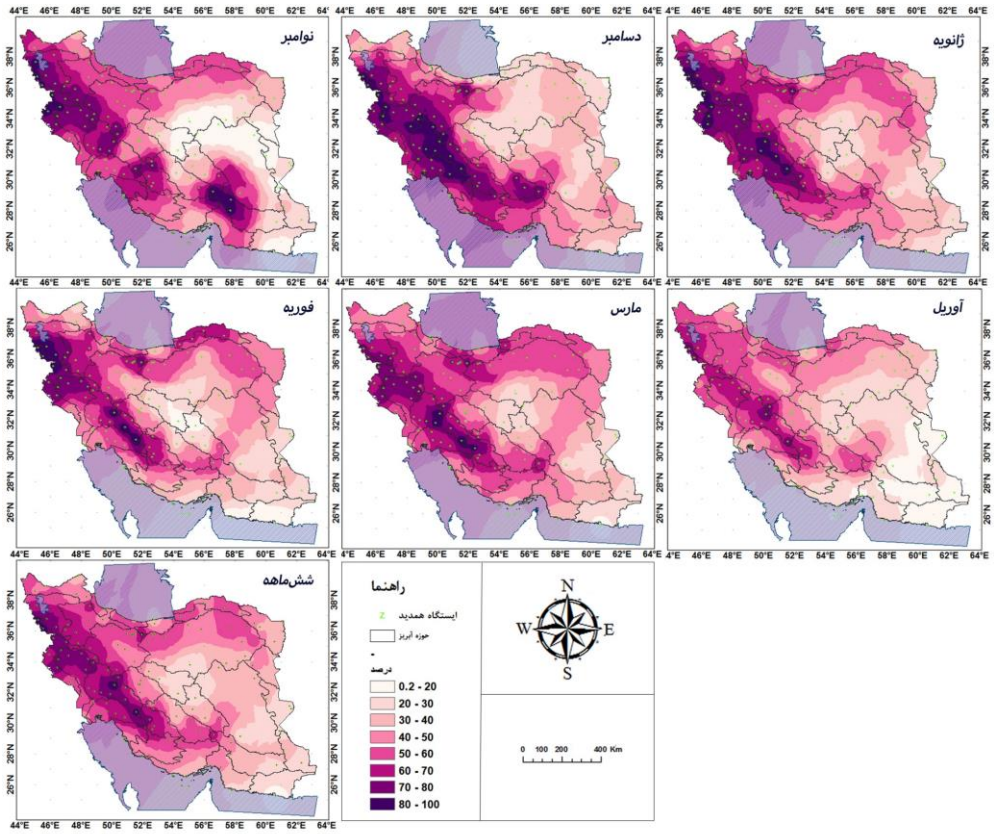
به منظور درک بیشتر چگونگی تأثیرگذاری رودخانه‌های جوی نیاز به کمی سازی رخدادهایی است که با بارش همراه بوده‌اند. هنگام شکل‌گیری رودخانه جوی به طور معمول بارش در تعدادی از ایستگاه‌ها به وقوع می‌پیوندد. دراین‌بین رودخانه‌هایی نیز هستند که به دلایل نداشتن شرایط لازم برای بارش به‌طورکلی هیچ بارشی را منجر نشده‌اند؛ بنابراین باید نظر داشت چنین اطلاعاتی از توزیع فراوانی رودخانه‌های جوی بارشی این بخش قابل برداشت نیستند. شکل( ۳ )درصد فراوانی رخدادهایی از رودخانه‌های جوی را نشان می‌دهد که در یک ایستگاه مشخص منجر به بارش حداقل یک میلی‌متر شده‌اند.

به‌طورکلی در مقیاس ماهانه توزیع رودخانه‌های جوی بارشی نسبت به فراوانی آن‌ها (شکل ۲) از تغییرپذیری مکانی کمتری برخوردار است. از دلایل آن می‌توان به نحوه توزیع ناهمواری‌ها در کشور اشاره کرد. ماه نوامبر بیشترین اختلاف مکانی را ازنظر درصد رودخانه‌های بارشی داشته است و نواحی متفاوتی از تأثیرگذاری را در کشور ایجاد کرده است. حوزه‌های مرزی غربی، ایستگاه‌های کوهستانی جنوب غرب و همین‌طور ایستگاه‌های مستقر در ارتفاعات استان کرمان (بیشینه در بافت) بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد پدیده‌های شناسایی‌شده منجر به بارش شده‌اند.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

درعین‌حال رودخانه‌های جوی در بخش‌های بزرگی از حوزه‌های کویری ایران و نمکزار خواف و هامون-هیرمند کمتر از ۲۰ درصد منجر به بارش شده‌اند. در ماه دسامبر رودخانه‌های جوی تمام مناطق کشور حداقل ۲۰ و حداکثر ۹۳ درصد از تمام رخدادها منجر به بارش شده است. این مقدار بیشینه متعلق به ایستگاه کوهرنگ در ارتفاع ۲۳۶۵ متری از رشته‌کوه‌های زاگرس می‌باشد.

در ماه ژانویه حداقل ۳۰ درصد رودخانه‌های جوی شناسایی‌شده در اغلب نواحی کشور منجر به بارش شده‌اند. در این ماه ایستگاه‌های حوزه‌های مرزی غربی مانند دو ماه قبل مشمول مقادیر بیشینه هستند. به‌طور مثال تمام رودخانه‌های جوی رسیده به ایستگاه سردشت منجر به بارش شده است. نواحی شمال غربی کشور باوجود این‌که پایین‌ترین فراوانی رخداد پدیده را در ماه‌های نوامبر و ژانویه داشتند به‌طور متوسط بیش از ۶۰ درصد موارد بارش بالای یک میلی‌متر داشته‌اند. توزیع درصد بارشی بودن پدیده در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس هماهنگی بیشتری با توزیع ناهمواری‌ها دارد. در این ماه‌ها علاوه بر دامنه‌های رو به باد غرب و جنوب کشور، نواحی شمال شرق کشور نیز با درصد بالاتری از رودخانه‌های جوی بارشی همراه شدند (تا حداکثر ۷۰ درصد موارد در حوزه‌های اترک و گرگان رود). حداکثر فراوانی رخدادهای بارشی در ماه فوریه و مارس به ترتیب ۹۴ و ۹۰ درصد است.




**شکل ۳: فراوانی رودخانه‌های جوی مرتبط با بارش بالاتر از ۰/۹۹ میلی‌متر**

**Figure 3: The frequency of Ars linked to precipitation > 0.99 mm**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

در ماه آوریل نیز تغییرات چندانی ازنظر مکانی در مکان‌های بیشینه وجود نداشته است. تنها ۵ ایستگاه در دامنه‌های غربی زاگرس حداکثر تا ۸۰ درصد رخدادها به بارش منجر شده است و در سایر نقاط به‌جز جنوب شرق کشور (مشخصاً استان سیستان و بلوچستان) درصد فراوانی رخدادهای بارشی بین ۲۰ تا ۷۰ بوده است.
درمجموع، دامنه‌های غربی رشته‌کوه زاگرس و همین‌طور دامنه‌های جنوبی البرز (به‌طور ویژه ایستگاه آبعلی) شرایط دینامیکی مناسب‌تری را برای ریزش‌های مرتبط با رودخانه جوی فراهم کرده‌اند. در این میان ایستگاه‌های حوزه‌های مرزی غرب نسبت به ایستگاه‌های جنوبی‌تر دامنه‌های غربی زاگرس به‌طور گسترده‌تر از رودخانه‌های جوی بارشی برخوردار بوده‌اند. در مقایسه درصد فراوانی رخدادهای بارشی و پراکندگی رودخانه‌های جوی (شکل ۲) ماه آوریل و دسامبر از توزیع مشابه‌تری برخوردار می‌باشند.
نسبت مکانی بارش‌های متأثر از رودخانه جوی به مجموع بارش

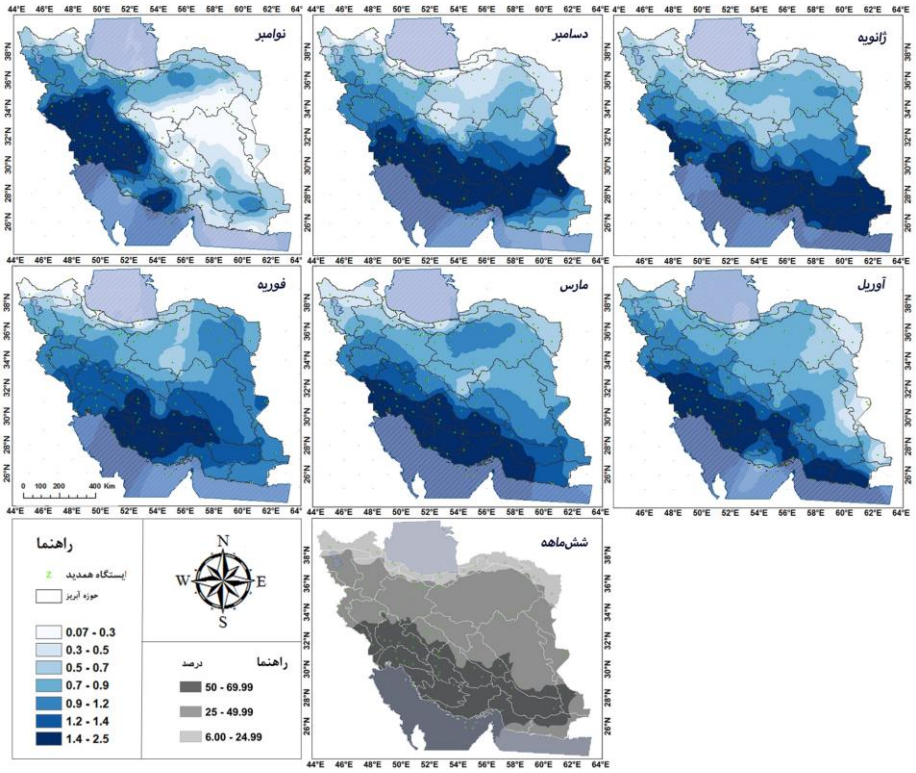
سهم تأثیرگذاری مکانی رودخانه‌های جوی نسبت به مجموع بارش آن مکان در پهنه کشور بر اساس معادله ٤ در شکل ٤ نشان داده‌شده است. این سهم از حداقل ۰/۰۷ تا حداکثر ۲/۵ طی ماه‌های مختلف متغیر است. بیشترین دامنه تغییرات مربوط به ماه نوامبر هست. اگرچه اختلاف مکانی این نسبت بارشی بیشتر از بارش‌های حداقل یک میلی‌متر (شکل ۳) می‌باشد، اما اثر رودخانه‌های جوی بر مجموع بارش ازنظر منطقه‌ای یکپارچه‌تر است و می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که بخشی از تفاوت‌های منطقه‌ای درمجموع بارش کشور ناشی از توزیع و بارش رودخانه‌های جوی است.

در ماه نوامبر سهم بارش‌های نیمه غربی کشور نسبت به سایر مناطق متأثر از رودخانه‌های جوی بیشتراست. در ماه دسامبر مناطق جنوبی و جنوب غربی و در ماه ژانویه نواحی جنوب شرقی مشمول بالاترین تأثیرگذاری می‌شوند. در ماه فوریه نسبت مکانی بارش شباهت بسیار زیادی با نحوه توزیع فراوانی رودخانه‌های جوی (شکل ۲) دارد. حداکثر سهم مربوط به بخشی از نیمه جنوبی کشور در استان فارس و حوزه‌های مرتبط با آن هست. در ماه مارس میزان این تأثیرگذاری در نیمه جنوبی و جنوب غربی کشور به حداکثر می‌رسد. در ماه آوریل نواحی جنوب غربی و بخش‌هایی از نیمه جنوبی (شامل حوزه‌های مند و حله و مهارلو) و جنوب شرقی (حوزه‌های بلوچستان جنوبی، جنوب بندرعباس-سدیج) سهم بالاتری از بارش رودخانه جوی را از نسبت مکانی فوق داشته‌اند. این در حالی است که پایین‌ترین میزان فراوانی رخداد رودخانه جوی در جنوب شرق و بالاترین آن در نواحی غرب و شمال غرب رخ‌داده است. اگرچه حوزه بلوچستان جنوبی از پایین‌ترین تعداد بارش‌های یک میلی‌متر و بالاتر مرتبط با رودخانه جوی برخوردار است (شکل ۲) سهم مکانی بالاتری را نسبت به مجموع بارش خود و کشور از بارش‌های رودخانه‌ای داشته‌اند. این نشان‌دهنده مقادیر بارش بیشتر در تعداد رخداد کمتر است که اهمیت مطالعه ارتباط بارش‌های شدید را برای آوریل در این منطقه نشان می‌دهد. هم چنین بخش مهمی از مجموع بارش های ناشی از رودخانه‌های جوی در این حوزه طی ماه های مارس و ژانویه اتفاق می افتد.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

علاوه بر موارد فوق ازنظر منطقه‌ای در تمام ماه‌ها حوزه‌های نوار شمالی و سپس شمال غربی کشور (بالاتر از عرض جغرافیایی ۳۸ درجه شمالی) پایین‌ترین سهم را از بارش‌های رودخانه جوی نسبت به مجموع بارش خود در سطح کشور داشته‌اند. دلیل آن می تواند مکانیسم‌های مؤثر دیگر بر این مناطق در دوره سرد به‌ویژه سه ماه اول موردمطالعه باشد. بر اساس Halabian & shabankari (2012) نواحی خزری شامل کرانه‌ها و پس‌کرانه‌های دریا و بخش‌هایی از شمال غرب کشور دارای سازوکار بارشی متفاوت تأمین کننده بارش از منابع رطوبتی خزر، سیاه و مدیترانه هستند.

نسبت مکانی در منطقه شمال شرق کشور در ماه‌های فوریه و سپس مارس به بالاترین سهم خود می‌رسد. این نواحی در ماه‌های فوق‌الذکر نیز دارای بیشترین فراوانی رخداد نسبت به سایر ماه‌ها است؛ بنابراین بین فراوانی رخداد، فراوانی بارشی بودن رودخانه و نسبت مکانی بارش رودخانه‌های جوی نسبت به مجموع بارش خود در سطح کشور هماهنگی و ارتباط بیشتری در این ناحیه وجود داشته است. نواحی داخلی کشور بیشترین سهم بارشی از رودخانه‌های جوی نسبت به مجموع دریافت خود در کشور را طی ماه‌های فوریه و آوریل داشته‌اند. نواحی غربی در تمام ماه‌ها سهم مهمی (۱/۲ تا ۲/۵) از بارش‌های رودخانه جوی به‌ویژه در ماه نوامبر داشتند. درنهایت نقش رودخانه‌های جوی تقریباً در تمام ماه‌ها در بارش‌های جنوب کشور کلیدی است.




**شکل ٤: ضرایب مکانی بارش ناشی از رودخانه‌های جوی به مجموع بارش در هرماه (رابطه یک). نقشه مجموع، درصد سهم رودخانه‌های جوی را به مجموع بارش در شش ماه نوامبر تا آوریل نشان می‌دهد.**

**Figure 4: Location quotients of precipitation linked to ARs to summation precipitation in each month (see equation one). The total map shows the percentage contribution of ARs to summation precipitation from November to April**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

توزیع نسبت مکانی در ایستگاه‌های مختلف نیز نشان داد در ماه نوامبر ایستگاه آبادان، امیدیه و بهبهان با نسبت مکانی ۲/۵ حداکثر تأثیرگذاری از رودخانه‌های جوی را داشتند و ایستگاه کهنوج و شهربابک کمترین سهم را با نسبت مکانی حدوداً ۰/۰٦ را داشتند. ماه دسامبر حسن‌آباد و سپس فسا با مقدار ۲/۰٤ بالاترین و ایستگاه‌های قراخیل و بابلسر ۰/۰۹ پایین‌ترین سهم را در محاسبه نسبت مکانی بارشی رودخانه‌های جوی داشتند. در ماه ژانویه حداکثر نسبت مکانی متعلق به ایستگاه ایرانشهر و سراوان با ۱/۷ و کمترین آن به میزان ۰/۰۷ مربوط به ایستگاه نوشهر و بابلسر است. در ماه فوریه ایستگاه‌های حسن‌آباد و لار بالاترین تأثیر بارشی از رودخانه‌های جوی را بر حوزه‌های مرتبط داشته‌اند و کمترین آن مربوط به بندرانزلی و رشت بوده است. در ماه مارس دو ایستگاه بوشهر ساحلی و فرودگاه دارای سهم بیشتری از این مقدار (۱/۷۵) نسبت به سایر نقاط داشتند و کمترین مقادیر همچنان متعلق به ایستگاهی بندرانزلی و رشت بوده است (۰,۳). چراکه بخش عمده بارش‌های نواحی خزری در دوره سرد توسط مکانیسم‌های دیگر (همرفتی) صورت می‌گیرد و علاوه بر آن بالاترین وزن بارشی کشور مرتبط با این ایستگاه‌هاست (Alijani, 2010). در ماه آوریل حداکثر تأثیرگذاری با مقدار ۲/٤ در جاسک و حداقل آن با مقدار ۰/۲۵ در حوزه هامون-هیرمند (زهک و زابل) بوده است.

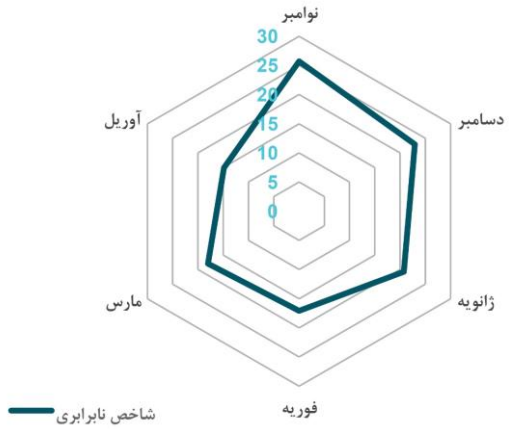
برای شناخت بهتر از کمیت‌های مؤثر در هر منطقه برای مجموع شش ماه دوره سرد، نسبت درصد بارش‌های مرتبط با رودخانه جوی به مجموع بارش هر ایستگاه محاسبه و در شکل ٤ (مجموع شش‌ماهه) ارائه شد. بر اساس این نقشه رودخانه‌های جوی بین ٦ تا ٦۹ درصد بارش‌های کشور را طی دوره سرد تأمین می‌کنند به‌طوری‌که مقادیر بیشینه از عرض‌های جنوب به شمال به‌تدریج کاهش‌یافته و مناطق مجزا را ازنظر تأثیرگذاری شکل داده است. تمام حوزه‌های نوار شمالی کشور از غرب تا شرق به‌طور پیوسته و بالاتر از ۳۸ درجه شمالی در شمال غرب، بالاتر از ۳۷ درجه شمالی در شمال شرق شامل حوزه‌های اترک-گرگانرود، بالاتر از ۳٦ درجه شمالی در شمال کشور شامل تمام حوزه‌های ساحلی خزر و همین‌طور بالاتر از ۳۵ درجه شمالی در شمال شرق در حوزه قره قوم تا حداکثر ۲۵ درصد بارش‌های دوره سرد را از رودخانه‌های جوی دریافت می‌کنند.

در مقابل، حوزه‌های جنوب غربی تا عرض ۳۳ درجه، حوزه‌های جنوبی شامل مند-حله، کل-مهران، طشک بختگان مهارلو، نیمه جنوبی ابرقو-سیرجان، غرب بندرعباس-سدیج به‌علاوه تمام حوزه هامون جازموریان و همین‌طور ایستگاه ایرانشهر در جنوب شرق ایران بالاترین مقدار تأثیرگذاری رودخانه‌های جوی بارشی را بر منابع آبی خود داشته‌اند. در حقیقت بین ۵۰ تا ۷۰ درصد بارش این حوزه‌ها توسط رودخانه‌های جوی تأمین می‌شود. بین ۲۵ تا ۵۰ درصد بارش سایر حوزه‌های آبریز کشور که بخش گسترده‌تری از کشور را به‌طور ویژه در عرض‌های میانی از غرب به شرق در بر می گیرد توسط رودخانه‌های جوی تأمین‌شده است. بدون در نظر گرفتن ایستگاه‌های جاسک، چابهار و ایرانشهر می‌توان گفت درصد بارش‌های مرتبط با رودخانه‌های جوی نسبت به مجموع بارش هر ایستگاه طی دوره سرد با افزایش عرض جغرافیایی از جنوب به شمال کاهش می‌یابد.

شاخص نابرابری میان بارش‌های مرتبط با رودخانه جوی و مجموع بارش کشور

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

از شاخص نابرابری (ضریب جینی) برای نشان دادن نسبت نابرابری توزیع مکانی بارش‌های رودخانه جوی به مجموع بارش در هرماه استفاده گردید. این نسبت در هرماه مشمول تمام ایستگاه‌های موردمطالعه بوده است. شکل ۵ وضعیت شاخص جینی را در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد. بر اساس این ضریب اعداد نزدیک به صفر بیانگر برابری کامل و اعداد نزدیک به صد به حداکثر نابرابری اشاره دارند (Ketzaki & Farmakis, 2022; Merschrod, 1981). با توجه به نحوه تأثیرگذاری رودخانه‌های جوی بر بخش‌های مختلف کشور طی ماه نوامبر این ماه بالاترین میزان نابرابری مکانی را میان دو متغیر بارشی نشان می‌دهد. این ضریب حدود ۲۵/۷ به‌دست‌آمده است. در مقابل کمترین میزان با ۱۴/۸ مربوط به ماه آوریل است. به این معنی که در سطح کشور تأثیر بارشی رودخانه‌های جوی در این ماه نسبت به مجموع بارش ایستگاهی متوازن‌تر و یکدست‌تر از سایر ماه‌هاست. این شرایط متوازن در سطح کشور به ترتیب پس از آوریل مربوط به ماه‌های فوریه (۱۷/۰)، مارس (۱۸/۰)، ژانویه (۲۰/۷۶) و دسامبر (۲۲/۹۲) است. باتوجه به نقشه های نسبت مکانی (شکل ٤) ایستگاه هایی که طی سه ماه اول (نوامبر، دسامبر و ژانویه) بارش های کمتری از رودخانه‌های جوی دریافت کرده اند، در سه ماه دوم بارش بیشتری از این پدیده داشته اند. در واقع تعداد ایستگاه های تحت تاثیر رودخانه جوی بارشی بیشتر شده است و درنتیجه نابرابری مکانی در سطح کشور طی سه ماه دوم کاهش پیدا کرده است.




**شکل ۵: شاخص نابرابری مکانی میان بارش‌های ناشی از رودخانه جوی و مجموع بارش در هرماه**

**Figure 5: The index of dissimilarity between precipitation linked to ARs and total precipitation in each month**

تحلیل همبستگی بارش‌های متأثر از رودخانه جوی و مجموع بارش

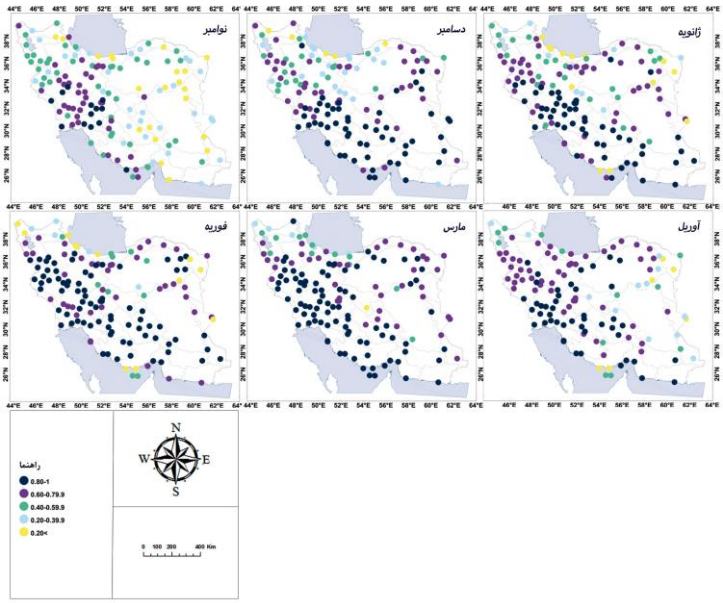
میزان و نوع همبستگی میان مجموع بارش هر ایستگاه و بارش‌های متأثر از رودخانه‌های جوی در شکل (٦ )ارائه‌شده است. مقادیر ضریب همبستگی نشان‌دهنده ارتباط دو متغیر به‌صورت مجموع ماهانه هستند.

نتایج مشخص کرد که به‌طور متوسط ۸٤ درصد ایستگاه‌های موردمطالعه در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد دارای ضریب همبستگی مثبت بوده‌اند. به این معنی که بارش رودخانه‌های جوی موجب افزایش بارش ماهانه ایستگاه

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

موردنظر شده است. این تعداد بین حداقل ٦٣ درصد در ماه نوامبر و حداکثر ۹۵ درصد در ماه مارس تغییر کرده است. نتایج همچنین نشان داد نواحی که سهم بالاتری از مجموع بارش رودخانه‌های جوی در هرماه داشته‌اند میزان بالاتری در همراهی افزایشی مجموع بارش آن نواحی نیز داشته‌اند.

در ماه نوامبر مجموعاً ۱۲ ایستگاه در جنوب غرب و غرب کشور بیش از ۰/۸ همبستگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد داشته‌اند. ازنظر مکانی حداکثر همبستگی مربوط به ایستگاه‌های اصفهان، شهر رضا، بروجن، دهلران و یاسوج با میزان ۰/۸۹ بوده است. این در حالی است که بخش عمده‌ای از نواحی مختلف کشور (به‌طورکلی نیمه شرقی کشور) ضریب همبستگی پایین‌تر از ۰/٤ داشته‌اند. در ماه دسامبر بر تعداد ایستگاه‌های با ضریب همبستگی بالای ۰/۸ درصد اضافه‌شده و بالاترین ارتباط با سطح اطمینان بیش از ۰/۹۵ در ایستگاه‌های استان فارس بوده است. در این ماه میزان همبستگی از جنوب به شمال کاهش پیداکرده است و از عرض جغرافیایی۳۳ درجه شمالی به‌تدریج بر تعداد ایستگاه‌های با شدت همبستگی مثبت متوسط تا کم افزوده می‌شود. ماه ژانویه تمام کشور به‌جز ۱۳ ایستگاه در ارتباط مثبت و معنی‌دار متوسط تا بسیار قوی قرارگرفته‌اند. آباده و اقلید در جنوب و خاش و ایرانشهر در جنوب شرق دارای بالاترین ضریب همبستگی (۰/۹۵) طی ماه ژانویه بودند. در ماه فوریه گستره مکانی این همبستگی به‌جز بخش‌های محدودی از نوار شمالی و شمال غربی کشور افزایش پیدا می‌کند. ایستگاه‌های ساحلی بندر دیر و جم با ضریب همبستگی ۰/۹۹ و پس‌ازآن مجموع بارش ایستگاه‌های استان فارس همچنان قوی‌ترین ارتباط را با افزایش بارش رودخانه‌های جوی داشته‌اند (<۰/۹۵). دلیل آن را می توان این گونه بیان نمود که علاوه بر فراوانی بالای حضور رودخانه ها جوی، این استان در نیمه شمالی شرایط خوبی برای صعود دینامیکی دارد که موجب تحول توده هوا بر روی مجموعه کوهستانی و تخلیه بخشی از شار بخار آب می شود (Browning et al., 1974; Smith et al., 2010).




**شکل ٦: ضریب همبستگی میان مجموع بارش ناشی از رودخانه‌های جوی و مجموع بارش هرماه**

**Figure 6: Correlation coefficient between the total precipitation linked to ARs and the summation precipitation of each month**

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

در ماه مارس همبستگی به بالاترین میزان در سطح کشور رسیده است و در ۸۶ ایستگاه (۵۸ درصد از کل ایستگاه ها) بیش از ۸۰ درصد همبستگی مثبت مشخص‌شده است. از ویژگی‌های این ماه ضریب همبستگی کامل (۱) میان بارش‌های ناشی از رودخانه جوی و مجموع بارش در ایستگاه‌های ساحلی بوشهر و جم است. در ماه آوریل از گستره مکانی این ارتباط قوی تا بسیار قوی کاسته شده و در نواحی شرقی کشور به‌ویژه مناطق مرزی افزایش بارش رودخانه‌های جوی با افزایش معنی‌داری بر مجموع بارش خود همراه نبوده‌اند. براساس مطالعه Esfandiari & Lashkari (2020) طی این ماه محور رودخانه‌های جوی بیشتر از نواحی غربی کشور وبا جهت گیری به سمت نواحی شمال غرب و شمال شرق به کشور وارد شده اند. درنتیجه در نواحی شرقی کشور فراوانی محور رودخانه‌های جوی که در بردارنده هسته اصلی شار بخار آب هستند کاهش یافته و متعاقب آن تعداد رخدادهای بارشی مرتبط با این پدیده نیز کاهش یافته است (شکل های ۳ و ٤). این ارتباط در ایستگاه‌های ساحلی جم، چابهار و جاسک بسیار قوی با ضریب همبستگی ۰/۹۹ است.

در مقایسه ای میان ایستگاه‌های نزدیک به سواحل شمال و جنوب کشور، بیشترین تعداد ایستگاه دارای ارتباط مثبت معنی‌دار در ایستگاه‌های ساحلی جنوبی طی ماه دسامبر تا آوریل است. بالاترین ارتباط برای ایستگاه‌های ساحلی شمالی (نزدیک به دریا) تنها طی ماه مارس و آوریل رخ می‌دهد. میان شدت ارتباط متغیرها در این دو ناحیه طی تمام ماه‌ها نیز تفاوت چشمگیری وجود دارد. برای مثال در ایستگاه‌های ساحلی شمالی در سایر ماه‌ها ارتباط معنی‌داری میان افزایش بارش رودخانه جوی و مجموع بارش ماهانه وجود ندارد. به این معنی که سایر مکانیسم‌های جوی بارش زا اولویت بالاتری درمجموع ریزش‌های جوی ایستگاه‌های فوق داشته‌اند و در بهترین زمان (مارس و آوریل) این ارتباط به ۰/۷ (در ایستگاه قراخیل) رسیده است. این درحالی‌که است که ایستگاه‌های ساحلی جنوبی طی ۵ ماه دارای ضریب همبستگی قوی تا بسیار قوی بوده اند. این ایستگاه های ساحلی جزو اولین نقاط متاثر از رودخانه‌های جوی به هنگام ورود به مرزهای جنوبی کشور بوده و از بالاترین فراوانی رخداد این پدیده در مجموع شش ماهه برخوردار هستند.

از میان ایستگاه‌های کوهستانی اغلب ایستگاه‌های نوار غربی زاگرس در تمام ماه‌ها دارای همبستگی مثبت متوسط تا بسیار قوی بودند و در ماه‌های فوریه، مارس و آوریل ارتباط قوی تا بسیار قوی داشتند. ناهمواری مناطق فوق و جهت گیری آنها یکی از عوامل مهم در تشدید و تقویت بارش های مرتبط با رودخانه‌های جوی است (Saeidabadi et al., 2016).

## نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش کمی سازی ارتباط پدیده رودخانه‌های جوی با بارش کشور به‌صورت مکانی با استفاده از تحلیل آماری در شش‌ماهه سرد بود. نتایج پژوهش در چندین بخش شامل ۱- توزیع زمانی فراوانی رودخانه‌های جوی ۲- درصد بارشی بودن رودخانه‌های شناسایی‌شده ۳- ضریب مکانی بارش رودخانه‌های جوی به مجموع بارش ٤- میزان نابرابری مکانی دو متغیر و ۵- نحوه همراهی بارش‌های رودخانه جوی با مجموع بارش ماهانه ارائه شد.

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

رودخانه‌های جوی تقریباً در تمام نقاط کشور دارای فراوانی هستند اما طی ماه‌های مختلف نحوه توزیع مکانی و میزان فراوانی آن‌ها تغییر می‌کند. نحوه توزیع مکانی فراوانی این پدیده درتایید مطالعه Esfandiari & Lashkari (2020; 2021) تا حدود زیادی تابع جهت‌گیری محور ورود آن‌ها به کشور بوده است. به‌طوری‌که در ماه‌های نوامبر و دسامبر هسته بیشینه فراوانی بر روی جنوب غرب کشور قرار دارد و با دور شدن از این نواحی در تمام جهات از میزان فراوانی حضور رودخانه‌های جوی کاسته می‌شود. درحالی‌که طی ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس هسته بیشینه فراوانی به‌تدریج از جنوب غرب بر روی جنوب و جنوب شرق قرارگرفته است و همانطور که در پژوهش Massoud et al. (2020) برای محدوده خاورمیانه اشاره شده است به‌طور یکپارچه‌ای با افزایش عرض جغرافیایی از جنوب به شمال از فراوانی رخداد رودخانه‌های جوی کاسته شده است. طی ماه آوریل این وضعیت برعکس می‌شود، به این معنی که هسته بیشینه فراوانی بر روی غرب و بخش‌هایی از شمال غرب کشور قرار می گیرد گیرد (منطبق با مطالعهRaziei et al., 2014 در تحلیل توزیع بارش ماهانه).

تحلیل رودخانه‌های جوی منجر به بارش نشان داد همیشه نحوه توزیع فراوانی رودخانه‌های جوی مطابق با نحوه توزیع بارشی بودن این پدیده نیست. عوامل دیگری چون وضعیت ناهمواری‌ها، دوام و شدت رودخانه جوی بر این توزیع مؤثر هستند (Neiman et al., 2014; Ralph et al., 2013; Ralph et al., 2019). نتایج این تحقیق نشان داد توزیع ناهمواری ها نقش موثری در توزیع درصد بارشی بودن پدیده داشته است. در برخی ماه ها (فوریه و مارس) به دلیل افزایش فراوانی سامانه های وارد شده به کشور و تقویت آنها این هماهنگی بهتر قابل مشاهده است. حتی پایین‌ترین درصد بارشی بودن رودخانه‌های جوی که مربوط به ماه آوریل است (حداکثر ۸۰ درصد) نیز در تعداد محدودی از ایستگاه‌های دامنه‌های غربی زاگرس رخ داده است. در تمام ماه های مورد مطالعه دامنه‌های غربی زاگرس از حوزه‌های مرزی غرب کشور تا جنوب محل رخداد بیشینه رودخانه‌های جوی بارشی بودند. این نتیجه در تایید با مطالعه Asadi Rahim Begi et al. (2022) در مورد ارتباط قوی نواحی مرتفع زاگرس با بیشینه بارش روزانه است. طبق نتایج تحقیق حاضر بخش مهمی از بارش نواحی کوهستانی غرب و جنوب غرب کشور طی شش ماهه سرد ناشی از حضور این پدیده است.

به طور خاص نتایج این پژوهش نشان داد رودخانه‌های جوی طی دوره سرد سال نقش موثری در رخدادهای بارشی تمام مناطق کشور دارد. این مشارکت به طور متوسط در سطح کشور حدود ۳۸ درصد است. (Rivera et al., 2013; Ramos et al., 2015; Viale et al., 2018; Shu et al., 2021). مطالعه حاضردر تایید سایر مطالعات جهانی نشان می دهد بخشی از بارش هایی که در مناطق مختلف به ویژه عرض های متوسط رخ می دهد متاثر از سیستم های مرتبط با رودخانه‌های جوی هستند که این مقدار باتوجه موقعیت جغرافیایی و شرایط فصلی متفاوت است. به طور مثال متوسط تاثیرگذاری در مناطق غربی آمریکای شمالی، مرکز ایالات‌متحده، غرب اروپا وجنوب آفریقا ۵۰ درصد (Blamey et al., 2018; Dettinger et al., 2011; Lavers & Villarini, 2015; Rutz & Steenburgh, 2012) و در نواحی شبه‌جزیره کره و ژاپن به حدود ۳۰ درصد می رسد (Li et al., 2021).

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

همچنین نتایج تحلیل آماری مشخص کرد به‌طور متوسط مجموع بارش ماهانه ۸۴ درصد ایستگاه‌های موردمطالعه با افزایش بارش رودخانه‌های جوی افزایش‌یافته است. این تعداد از حداقل ۶۳ درصد در ماه نوامبر تا حداکثر ۹۵ درصد در ماه مارس تغییر کرده است. از نقطه‌نظر مکانی، در ماه مارس افزایش بارش ماهانه ایستگاه‌های ساحلی بوشهر و جم به‌طور کامل مرتبط با بارش‌های ناشی از رودخانه جوی بودند. بر اساس مطالعه Sadeghi et al. (2019) نیز ارتباط بسیار قوی بین وقوع بارش های سنگین ناشی از رودخانه‌های جوی در ماه مارس وجود دارد. همچنین نتیجه فوق در تایید با مطالعه Guan and Waliser (2017) در مورد اهمیت نواحی ساحلی به دلیل ارتباط آنها با بارش های مرتبط با رودخانه‌های جوی می باشد. طبق مطالعه ایشان ۴۰ درصد نواحی ساحلی جهان تحت تاثیر بارش های حاصل از رودخانه‌های جوی هستند. براساس پژوهش حاضر سواحل ایران نیز به طور ویژه سواحل جنوبی و جنوب غربی، در زمره نواحی فوق قرار می گیرد.

**پیشنهادها**

مدیریت منابع آب و تحقق توسعه پایدار در بخش کشاورزی و امنیت غذایی نیازمند شناخت دقیق عوامل مختلف آب وهوایی در تامین منابع آب در شرایط وضع موجود و شرایط آینده می باشد. باتوجه به خروجی این تحقیق که حکایت از نقش موثر رودخانه‌های جوی در رخداد های بارشی کشور دارد، پیش بینی رفتار رودخانه‌های جوی و تعیین سهم بارشی آن ها با رویکرد تغییراقلیم از موضوعات چالشی است که می تواند مبنای تحقیقات جدید قرار بگیرد.

تشکر و قدردانی

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته‌شده از طرح شماره ۴۰۰۴۵۰۳ انجام‌شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر خود را از این صندوق اعلام نمایند.

This work is based upon research funded by Iran National Science Foundation (INSF) under project No.4004503

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

## References


- Ahn, K. H., & Ahmad Nayak, M., (2022), "Atmospheric River activities and their effects on precipitation over South Korea", ***Journal of Hydrology,*** *610*: 127886.
- -Alaee Taleghani, M., (2009), "***Geomorphology of Iran***", Tehran: 360. [In Persian].
- Algarra, I., Nieto, R., Ramos, A. M., Eiras-Barca, J., Trigo, R. M., & Gimeno, L., (2020), "Significant increase of global anomalous moisture uptake feeding landfalling Atmospheric Rivers", ***Nature Communications***, *11:1*, *11*(1): 1–7.
- -Alijani, B., (2010), "***Climatology of Iran***", Tehran: 221. [In Persian].
- Arabzadeh, A., Ehsani, M. R., Guan, B., Heflin, S., & Behrangi, A., (2020), "Global Intercomparison of Atmospheric Rivers Precipitation in Remote Sensing and Reanalysis Products", *Journal of* ***Geophysical Research: Atmospheres***, *125*(21): e2020JD033021.
- Asadi Rahim-Begi, N., Zarrin, A., Modfidi, A., & Dadashi-Roudbari, A., (2022), "Seasonal Distribution Analysis of Extreme Precipitation in Iran using AgERA5 dataset", ***Iranian Journal of Soil and Water Research***, *52*(11): 2723-2737. [In Persian].
- Balling, R. C., Keikhosravi Kiany, M. S., sen Roy, S., & Khoshhal, J., (2016), "Trends in Extreme Precipitation Indices in Iran: 1951–2007", ***Advances in Meteorology***, *2016*: 2456809.
- Bao, J.-W., Michelson, S. A., Neiman, P. J., Ralph, F. M., & Wilczak, J. M., (2006), "Interpretation of Enhanced Integrated Water Vapor Bands Associated with Extratropical Cyclones: Their Formation and Connection to Tropical Moisture", ***Monthly Weather Review***, *134*(4): 1063–1080.
- Blamey, R. C., Ramos, A. M., Trigo, R. M., Tomé, R., & Reason, C. J. C., (2018), "The influence of atmospheric rivers over the South Atlantic on winter rainfall in South Africa", ***Journal of Hydrometeorology***, *19*(1): 127–142.
- -Browning, K., F. Hill, and Pardoe, C., (1974), "Structure and mechanism of precipitation and the effect of orography in a wintertime warm sector". ***Quart. J. Roy. Meteor. Soc***., 100: 309–330.
- Cordeira, J. M., Ralph, F. M., Martin, A., Gaggini, N., Spackman, J. R., Neiman, P. J., Rutz, J. J., & Pierce, R., (2017), "Forecasting atmospheric rivers during CalWater 2015", ***Bulletin of the American Meteorological Society***, *98*(3): 449–459.
- Dettinger, M. D., Ralph, F. M., Das, T., Neiman, P. J., & Cayan, D. R., (2011), Atmospheric rivers, floods and the water resources of California", ***Water***, *3*(2): 445–478.
- Dezfuli, A., (2020), "Rare Atmospheric River Caused Record Floods across the Middle East. ***Bulletin of the American Meteorological Society***, *101*(4): E394–E400.
- Dhana Laskhmi, D., & Satyanarayana, A. N. V., (2020), "Climatology of landfalling atmospheric Rivers and associated heavy precipitation over the Indian coastal regions", ***International Journal of Climatology***, *40*(13): 5616–5633.
- Esfandiari, N., & Lashkari, H. (2020). "Identifying atmospheric river events and their paths into Iran", ***Theoretical and Applied Climatology***, *140*: 1125-1137.
- 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.
- 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.
- Gini, C., (1936), "On the Measure of Concentration with Special Reference to Income and Statistics", ***Colorado College Publication***, General Series No. 208, 73-79.
- Goldenson, N., Leung, L. R., Bitz, C. M., & Blanchard-Wrigglesworth, E, (2018), "Influence of atmospheric rivers on mountain snowpack in the western United States", ***Journal of Climate***, *31*(24): 9921–9940.
- Gorodetskaya, I. v, Tsukernik, M., Claes, K., Ralph, M. F., Neff, W. D., & van Lipzig, N. P. M., (2014), "The role of atmospheric rivers in anomalous snow accumulation in East Antarctica", ***Geophysical Research Letters***, *41*(17): 6199–6206.
- 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): 2–7.
- Guan, B., Molotch, N. P., Waliser, D. E., Fetzer, E. J., & Neiman, P. J., (2013), "The 2010/2011 snow season in California's Sierra Nevada: Role of atmospheric rivers and modes of large-scale variability", ***Water Resources Research***, *49*(10): 6731–6743.
- Guan, B., & Waliser, D. E., (2015), "Detection of atmospheric rivers: Evaluation and application of an algorithm for global studies". ***Journal of Geophysical Research***, *120*(24):12,514-12,535.


[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

- Halabian, A.H., & Shabankari, M., (2012), "The Role of Subtropical High Pressure in the Spatial Daily Precipitation Distribution in Iran", ***Geography and Environmental Sustainability***, 1(1): 1-21. [In Persian].
- Henn, B., Musselman, K. N., Lestak, L., Ralph, F. M., & Molotch, N. P., (2020), "Extreme Runoff Generation from Atmospheric River Driven Snowmelt During the 2017 Oroville Dam Spillways Incident", ***Geophysical Research Letters***, *47*(14): e2020GL088189.
- Jalali, M., (2008), "Investigation and estimation of Gini coefficient in Iran", ***Iran Economic Research***, 12(36): 115-134. [In Persian].
- Javanmard, S., (2017), "Spatial –Temporal Analysis of Drought in Iran Using SPI During a Long - Term Period", ***Earth Sciences***, *6*(2): 15.
- Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M. I., Bodaghjamali, J., & Kawamoto, H., (2010), "Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM-3B42 over Iran", ***Advances in Geosciences***, *25*: 119–125.
- Junker, N. W., Grumm, R. H., Hart, R., Bosart, L. F., Bell, K. M., & Pereira, F. J, (2008), "Use of normalized anomaly fields to anticipate extreme rainfall in the mountains of northern California", ***Weather and Forecasting***, *23*(3): 336–356.
- Ketzaki, E., & Farmakis, N., (2022), "***A matrix based computational method of the Gini index", Communications in Statistics - Theory and Methods***: 1–19. [online]: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03610926.2021.2024233.
- Khoshakhlagh, F., Azizi, G., & Rahimi, M., (2012), "The Synoptic Patterns of Wintertime Dought and wet period in southwestern of Iran", ***Journal of Geographical Sciences***, 12(25): 57-77. [In Persian].
- Khouakhi, A., & Villarini, G., (2016), "On the relationship between atmospheric rivers and high sea water levels along the U.S. West Coast", ***Geophysical Research Letters***, *43*(16): 8815–8822.
- Kim, S., Leung, L. R., Guan, B., & Chiang, J. C. H., (2022), "Atmospheric River representation in the Energy Exascale Earth System Model (E3SM) version 1.0", ***Geoscientific Model Development***, *15*(14): 5461–5480.
- Lashkari, H., & Esfandiari, N., (2020), "Identification and synoptic analysis of the highest precipitation linked to ARs in Iran", ***Journal of Spatial Analysis Environmental Hazarts***, *7*(2):187-206
- Lavers, D. A., Pappenberger, F., Richardson, D. S., & Zsoter, E., (2016), "ECMWF Extreme Forecast Index for water vapor transport: A forecast tool for atmospheric rivers and extreme precipitation", ***Geophysical Research Letters***, *43*(22): 11,852-11,858.
- Lavers, D. A., & Villarini, G., (2015), "The contribution of atmospheric rivers to precipitation in Europe and the United States", ***Journal of Hydrology***, *522*: 382–390.
- Lavers, D. A., Villarini, G., Allan, R. P., Wood, E. F., & Wade, A. J., (2012), "The detection of atmospheric rivers in atmospheric reanalyses and their links to British winter floods and the large-scale climatic circulation", ***Journal of Geophysical Research Atmospheres***, *117*(20): 1–13.
- Lettenmaier, D. P., (2019), "Atmospheric river-induced precipitation and snowpack during the western United States cold season", ***Journal of Hydrometeorology***, *20*(4): 613–630.
- Li, C., Mei, W., & Kamae, Y., (2022), "Variability and predictability of cold-season North Atlantic atmospheric river occurrence frequency in a set of high-resolution atmospheric simulations", ***Climate Dynamics***, 1-16.
- Massoud, E., Massoud, T., Guan, B., Sengupta, A., Espinoza, V., Luna, M. de, Raymond, C., & Waliser, D., (2020), "Atmospheric rivers and precipitation in the middle east and north africa (Mena) ", ***Water (Switzerland)***, *12*(10): 1–18.
- McErlich, C., McDonald, A., Schuddeboom, A., Vishwanathan, G., Renwick, J., & Rana, S., (2023), "Positive correlation between wet-day frequency and intensity linked to universal precipitation drivers", ***Nature Geoscience***, 1-6.
- McGowan, H., Borthwick, K., Schwartz, A., Callow, J. N., Bilish, S., & Browning, S., (2021), "Atmospheric Rivers: An Overlooked Threat to the Marginal Snowpack of the Australian Alps", ***Journal of Hydrometeorology***, *22*(10): 2521–2532.
- Merschrod, K., (1981), "The index of dissimilarity as a measure of inequality", ***Quality and Quantity***, *15*(4): 403–411.
- Mohammad Jani, I., & Yazdanian, N., (2014), "The Analysis of Water Crisis Conjecture in Iran and the Exigent Measures for Its Management", ***Trend (Trend of Economic Research)***, 21(65-66): 117-144. [In Persian].
- Neff, W. D., Tsukernik, M., Ralph, M. F., van Lipzig, N. P. M., Claes, K., & Gorodetskaya, I. v., (2014), "The role of atmospheric rivers in anomalous snow accumulation in East Antarctica", ***Geophysical Research Letters***, *41*(17): 6199–6206.


[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

- Neiman, P. J., Hughes, M., Alexander, M., Mahoney, K. M., Moore, B. J., & Ralph, F. M., (2014), "The Landfall and Inland Penetration of a Flood-Producing Atmospheric River in Arizona. Part II: Sensitivity of Modeled Precipitation to Terrain Height and Atmospheric River Orientation", ***Journal of Hydrometeorology***, *15*(5): 1954–1974.
- Oakley, N. S., Lancaster, J. T., Kaplan, M. L., & Ralph, F. M., (2017), "Synoptic conditions associated with cool season post-fire debris flows in the Transverse Ranges of southern California", ***Natural Hazards***, *88*(1): 327–354.
- Omidvar, K., Sepandar, N., & Khosravi, Y., (2022), "***Extreme rainfall in south and south west of Iran and its association with Atmospheric Rivers (ARs)***", Research Square; 2022.
- Paltan, H., Waliser, D., Lim, W. H., Guan, B., Yamazaki, D., Pant, R., & Dadson, S., (2017), "Global Floods and Water Availability Driven by Atmospheric Rivers", ***Geophysical Research Letters***, *44*(20): 10,387-10,395.
- Pan, M., & Lu, M., (2020), "East Asia Atmospheric River catalog: Annual Cycle, Transition Mechanism, and Precipitation", ***Geophysical Research Letters***, *47*(15), e2020GL089477.
- Papineau, J., & Holloway, E., (2012), "***The dry side of atmospheric rivers in Alaska***". *Anchorage Forecast Office Research Papers, NOAA/NWS/ARH*: 1–9. [online]: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1. 729.4947.
- Polade, S. D., Pierce, D. W., Cayan, D. R., Gershunov, A., & Dettinger, M. D., (2014), "The key role of dry days in changing regional climate and precipitation regimes". ***Scientific reports***, *4*(1): 4364
- Raziei, T., Daryabari, J., Bordi, I., & Pereira, L. S., (2014), "Spatial patterns and temporal trends of precipitation in Iran", ***Theoretical and Applied Climatology***, *115*: 531-540.
- 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.
- Ralph, F.M., Coleman, T., Neiman, P.J., Zamora, R.J. and 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.
- Ralph, F. M., Dettinger, M., Lavers, D., Gorodetskaya, I. V., Martin, A., Viale, M., ... & Cordeira, J., (2017), "Atmospheric rivers emerge as a global science and applications focus", ***Bulletin of the American Meteorological Society***, *98*(9): 1969-1973
- Ralph, F. M., & Dettinger, M. D., (2011), "Storms, Floods and the Science of Atmospheric Rivers", ***EOS, Transactions, American Geophysical Union***, *92*(32): 2009–2011.
- Ralph, F. M., Neiman, P. J., & Wick, G. A., (2004), "Satellite and CALJET aircraft observations of atmospheric rivers over the eastern North Pacific Ocean during the winter of 1997/98", ***Monthly Weather Review***, *132*(7): 1721–1745.
- Ramos, A. M., Trigo, R. M., Liberato, M. L. R., & Tomé, R., (2015), "Daily Precipitation Extreme Events in the Iberian Peninsula and Its Association with Atmospheric Rivers", ***Journal of Hydrometeorology***, *16*(2): 579–597.
- Ramseyer, C. A., & Teale, N., (2021), "On the emerging global relevance of atmospheric rivers and impacts on landscapes and water resources", ***Progress in Physical Geography: Earth and Environment***, *45*(6): 965-978.
- Reid, K. J., Rosier, S. M., Harrington, L. J., King, A. D., & Lane, T. P., (2021), "Extreme rainfall in New Zealand and its association with Atmospheric Rivers", ***Environmental Research Letters***, *16*(4): 044012.
- Rivera, E. R., Dominguez, F., & Castro, C. L., (2013), "Atmospheric Rivers and Cool Season Extreme Precipitation Events in the Verde River Basin of Arizona". ***Journal of Hydrometeorology***, 15(2): 813–829.
- Rousta, I., Doostkamian, M., Taherian, A.M., Haghighi, E., Malamiri, H.R.G. and Ólafsson, H., (2017), "Investigation of the spatio-temporal variations in atmosphere thickness pattern of Iran and the middle east with special focus on precipitation in Iran", ***Climate***, 5(4): 82.
- Rutz, J. J., Shields, C. A., Lora, J. M., Payne, A. E., Guan, B., Ullrich, P., O'Brien, T., Leung, L. R., Ralph, F. M., Wehner, M., Brands, S., Collow, A., Goldenson, N., Gorodetskaya, I., Griffith, H., Kashinath, K., Kawzenuk, B., Krishnan, H., Kurlin, V., … Viale, M., (2019), "The Atmospheric River Tracking Method Intercomparison Project (ARTMIP): Quantifying Uncertainties in Atmospheric River Climatology", ***Journal of Geophysical Research: Atmospheres***, *124*(24): 13777–13802.
- Rutz, J. J., & Steenburgh, W. J., (2012), "Quantifying the role of atmospheric rivers in the interior western United States", ***Atmospheric Science Letters***, *13*(4): 257–261.
- 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.
- Rutz, J. J., Steenburgh, W. J., & Ralph, F. M., (2015), "The Inland Penetration of Atmospheric Rivers over Western North America: A Lagrangian Analysis", ***Monthly Weather Review***, *143*(5): 1924–1944.


[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

- Saeidabadi, R., Najafi, MS., Roshan, G., Fitchett, JM., & Abkharabat, S., (2016), "Modelling spatial, altitudinal and temporal variability of annual precipitation in mountainous regions: The case of the Middle Zagros, Iran", ***Asia-Pacific J Atmos Sci***, 52: 437–449.
- Sadeghi, M., Shearer, E. J., Mosaffa, H., Gorooh, V. A., Rahnamay Naeini, M., Hayatbini, N., Katiraie-Boroujerdy, P. S., Analui, B., Nguyen, P., & Sorooshian, S., (2021), "Application of remote sensing precipitation data and the CONNECT algorithm to investigate spatiotemporal variations of heavy precipitation: Case study of major floods across Iran" (Spring 2019), ***Journal of Hydrology***, *600*: 126569.
- Salimi, S., & Saligheh, M., (2016), "The effects of Atmospheric Rivers on Iran climate", ***Physical Geography Research Quarterlysical***, *48*(2): 12–13.
- Schär, C., Ban, N., Fischer, E.M., Rajczak, J., Schmidli, J., Frei, C., Giorgi, F., Karl, T.R., Kendon, E.J., Tank, A.M.K. and O'Gorman, P.A., (2016), "Percentile indices for assessing changes in heavy precipitation events" ***Climatic Change***, *137*: 201-216.
- Shademani, N., (2016), "*Investigation of the existence and role of atmospheric rivers in creating flood in the west and south of Iran" (case study: Floods 9 and 21 Nov. 2015)*, Master, Shahrekord University, Iran. [In Persian].
- Sharma, A. R., & Déry, S. J., (2020), "Contribution of Atmospheric Rivers to Annual, Seasonal, and Extreme Precipitation Across British Columbia and Southeastern Alaska", ***Journal of Geophysical Research: Atmospheres,*** *125*(9): e2019JD031823.
- Shearer, E. J., Nguyen, P., Sellars, S. L., Analui, B., Kawzenuk, B., Hsu, K. lin, & Sorooshian, S., (2020), "Examination of Global Midlatitude Atmospheric River Lifecycles Using an Object-Oriented Methodology", ***Journal of Geophysical Research: Atmospheres***, *125*(22): e2020JD033425.
- Shu, J., Shamseldin, A. Y., & Weller, E., (2021), "The impact of atmospheric rivers on rainfall in New Zealand", ***Scientific Reports***, *11*(1): 1–12.
- Smith, B. L., Yuter, S. E., Neiman, P. J., & Kingsmill, D. E., (2010), "Water Vapor Fluxes and Orographic Precipitation over Northern California Associated with a Landfalling Atmospheric River", ***Monthly Weather Review***, *138*(1): 74-100.
- Thapa, K., Endreny, T. A., & Ferguson, C. R., (2018), "Atmospheric Rivers Carry Nonmonsoon Extreme Precipitation in to Nepal", ***Journal of Geophysical Research: Atmospheres***, *123*(11): 5901–5912.
- Viale, M., Valenzuela, R., Garreaud, R. D., & Ralph, F. M., (2018), "Impacts of Atmospheric Rivers on Precipitation in Southern South America", ***Journal of Hydrometeorology***, *19*(10): 1671–1687.
- Waliser, D., & Guan, B., (2017), "Extreme winds and precipitation during landfall of atmospheric rivers". ***Nature Geoscience***, *10*(3): 179–183.
- Whan, K., Sillmann, J., Schaller, N., & Haarsma, R., (2020), "Future changes in atmospheric rivers and extreme precipitation in Norway", ***Climate Dynamics***, *54*(3–4): 2071–2084.
- Wille, J. D., Favier, V., Gorodetskaya, I. v., Agosta, C., Kittel, C., Beeman, J. C., Jourdain, N. C., Lenaerts, J. T. M., & Codron, F., (2021), "Antarctic Atmospheric River Climatology and Precipitation Impacts", ***Journal of Geophysical Research: Atmospheres***, *126*(8): e2020JD033788.
- Wittebolle, L., Marzorati, M., Clement, L., Balloi, A., Daffonchio, D., Heylen, K., De Vos, P., Verstraete, W. and Boon, N., (2009), "Initial community evenness favours functionality under selective stress". ***Nature***, *458*(7238):623-626.
- Zhu, Y., & Newell, R. E., (1998), "A Proposed Algorithm for Moisture Fluxes from Atmospheric Rivers", ***Monthly Weather Review***, *126*(3): 725–735.


[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]

# Statistical spatial analysis of the contribution and distribution of precipitation linked to atmospheric rivers in Iran during the cold period

***Alireza Shakiba**
Associate Professor, Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University. (Corresponding author)
**Neda Esfandiari**
Postdoctoral Researcher, Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University

## Abstract

Atmospheric rivers (ARs) are integrated and concentrated moisture paths that can influence precipitation in different countries. In this research, we aim to quantify the spatial distribution of ARs for 147 synoptic stations in Iran, their precipitation contributions, and their relation to total precipitation for six cold months of the year for 25 years (1995-2020). In this regard, the atmospheric rivers were identified based on the geographical location of each station and its precipitation characteristics. Then statistical analysis was used to determine the precipitation share and spatial distribution. As a result, on average, 8% of all studied times are associated with atmospheric rivers throughout the country. In addition, approximately 51% of the events identified have resulted in precipitation. In terms of location, most of the stations on the western slopes of Zagros and some coastal stations in the south have experienced all these events as rainy. This phenomenon is estimated to have provided between 6 and 69 percent of the country's total rainfall during six months of cold weather. There is a maximum share of this in the country's southern regions, and this share has decreased with the increase in latitude. Furthermore, the rise in AR precipitation is associated with an increase in total monthly rainfall in 84% of the studied stations. There is a spatial dissimilarity in the rain-affected by the phenomenon at different times.

Keywords: Atmospheric River, precipitation, spatial distribution, statistical analysis, Iran

[ Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31 ]