نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹
صفحات ۱۸۷ – ۲۰۶

شناسایی و تحلیل همدید بالاترین بارش‌های مرتبط با رودخانه‌های جوی در ایران

حسن لشکری [۱]؛ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
ندا اسفندیاری؛ دانشجوی دکتری آب‌وهوا شناسی سینوپتیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۸/۰۸/۲۲ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷

چکیده

رودخانه‌های جوی ساختارهایی طولانی- باریک و متمرکز از شار بخارآب هستند که با بارش‌های فرین و سیلاب‌ها ارتباط بسیار نزدیکی دارند و مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت به این پدیده در آسیب‌پذیری بیشتری قرار دارند به همین جهت این مطالعه به شناسایی و معرفی بالاترین بارش‌های رخداده به هنگام حضور رودخانه‌های جوی از نوامبر تا آوریل (۲۰۰۷-۲۰۱۸) پرداخت تا ضمن نشان دادن اهمیت این پدیده در ایجاد بارش‌های ابرسنگین و معرفی مناطق متأثر از آن عوامل همدید مؤثر بر آن‌ها را تحلیل کند. به‌منظور شناسایی رودخانه‌های جوی از داده‌های انتگرال قائم شار بخارآب استفاده شد و آستانه‌هایی مستند بر روی آن‌ها اعمال گردید. تاریخ رخداد هر رودخانه جوی با بارش روزانه آن‌ها موردبررسی قرار گرفت و ده مورد از بالاترین رخدادهای بارش ایستگاهی (معادل صدک ۹۵ ام از حداکثر بارش‌ها) مرتبط با رودخانه‌های جوی معرفی و تحلیل گردید. نتایج نشان داد دریاهای گرم جنوبی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم منشأ عمده رودخانه‌های جوی مرتبط با بارش‌های ابرسنگین بوده است. منشأ اکثر این رودخانه‌های جوی در زمان اوج رخداد دریاهای سرخ، خلیج عدن و منطقه شاخ آفریقا می‌باشد. ازلحاظ همدیدی منشأ ۷ مورد از رودخانه‌های جوی از کم‌فشار سودانی و در سه مورد باقیمانده از سامانه‌های ادغامی بوده است. دینامیک غالب در وردسپهر بالایی برای تکوین و قوام رودخانه جوی جت جنب‌حاره‌ای بوده است. در سامانه‌های سودانی ساختار غالب جت تمایل نصف‌النهاری و در سامانه‌های ادغامی گرایش مداری حاکمیت داشته است. به دلیل حاکمیت یک جریان بالاسوی قوی در هم‌جواری بالاترین شار رطوبتی جریانات همرفتی شدید سبب بارش‌های ابرسنگین گردیده است و ایستگاه دارای بالاترین بارش در منطقه شرق و شمال غربی میدان امگای منفی یا جریانات بالاسو قرار داشته است.

واژه‌های کلیدی: رودخانه‌های جوی، بارش ابرسنگین، تحلیل همدید، شار قائم بخارآب، ایران.

۱- نویسنده مسئول: Email: h-lashkari@sbu.ac.ir

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

مقدمه

رودخانه‌های جوی در ادبیات جهانی مسیرهایی (کریدورهایی) باریک و طویل از انتقال قوی بخارآب به‌سوی قطب در عرض‌های میانه تعریف‌شده‌اند که عموماً با جریان‌های جت سطح پایین در رأس جبهه‌ی سرد سیکلون‌های برون حاره مرتبط می‌باشند. فرارفت بخارآب در عرض‌های میانی عمدتاً توسط این رودخانه‌ها که در تروپوسفر پایینی تمرکز دارند رخ می‌دهد. رودخانه‌های اتمسفری همچنین با مقادیر عظیم محتوای بخارآب و بادهای قوی سطح پایین همراه می‌باشند و بخشی از حاشیه کمربند انتقال گرمای سیکلون‌های برون‌حاره‌ای را تشکیل می‌دهند (Guan et Ralph et al., ۲۰۱۸ ;al., ۲۰۱٤).

این مسیرهای متمرکز از بخارآب به طول بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر و محدود به عرض ۳۰۰ تا ۵۰۰ کیلومتر را ابتدا نیوول و همکاران (Newell et al., ۱۹۹۲) رودخانه‌های تروپوسفری نام‌گذاری کردند و دلیل استفاده از اصطلاح رودخانه به دلیل شباهت آن‌ها به بزرگ‌ترین رودخانه‌های جهان در میزان حجم جریان آب منتقل‌شونده است (Zhu & Newell, ۱۹۹۸) که بیش از دو برابر جریان رودخانه‌ی آمازون را درون خود حمل می‌کنند (Ralph et al., ۲۰۱۸). این اصطلاح بعدها به رودخانه‌های اتمسفری تغییر یافت. اگرچه هنوز در مورد شروع و شکل‌گیری آن از "رطوبت منطقه حاره" (Knippertz et al., ۲۰۱۳) و یا "کمربند انتقال‌دهنده گرمای پیشانی جبهه سرد سیکلون های برون حاره" (Bao et al., ۲۰۰٦) برخی اختلاف‌نظرها وجود دارد، این رودخانه‌های جوی سالانه در مناطق مختلف جهان با منشأ حاره‌ای و گاه جنب‌حاره‌ای تشکیل‌شده و مقادیر عظیمی از رطوبت را از عرض‌های جنوبی به عرض‌های میانه و شمالی فرارفت می‌کنند و مسئول حمل بیش از ۹۰ درصد انتقال افقی بخارآب از مناطق حاره یا جنب حاره به سمت عرض‌های بالاتر درحالی‌که به لحاظ طولی تنها ۱۰ درصد از عرض جغرافیایی موردنظر را اشغال می‌کنند (Zhu & Newell, ۱۹۹۸).

مجموع بخارآب منتقل‌شده توسط این رودخانه‌ها از سطح زمین تا سطوحی از جو که حاوی رطوبت هستند عموماً از حداقلی با میزان ۲۵۰ کیلوگرم متر بر ثانیه شکل می‌گیرد (Cordeira et al., Ralph et al., ۲۰۰٤; Rutz et al., ۲۰۱٤ ۲۰۱۳) و دلیل پیشنهاد این آستانه این است که معمولاً بالاتر از آن، شکل اصلی رودخانه‌های جوی قابل‌تشخیص هستند و احتمال این‌که پایین‌تر از این میزان رودخانه‌ها از حالت ایزوله خارج شوند یا شدت بسیار کمتری داشته باشند بالاست. البته که این آستانه وابسته به موقعیت جغرافیایی مناطق جهان متفاوت است (Blamey et al., ۲۰۱۸).

در صورت فراهم شدن شرایط ترمودینامیکی مناسب برای این رودخانه‌ها می‌توانند بادهای شدید و بارش‌های سنگین و سیل‌آسایی را در طول مسیر خود ایجاد کرده و ضمن تأمین آب موردنیاز مناطق تحت تأثیر خود گاه خسارت‌های غیرقابل جبرانی به مزارع، مراتع، خاک‌ها، تأسیسات، زیرساخت‌ها، شهرها و ابنیه وارد نمایند. به‌این‌ترتیب رودخانه‌های جوی نقش مهمی در چرخه جهانی آب و به‌خصوص در فرین‌های آب و هواشناسی دارند (Zhu & Newell, ۱۹۹۸). ایران به‌عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک که در آن مدیریت منابع آبی حیاتی می‌باشد و با توجه به موقعیت جغرافیایی خود نسبت سامانه‌ها و دریاهای گرم حاره‌ای سامانه‌ها و امواج بزرگ‌مقیاس عرض‌های میانی و جنب قطبی، در طول سال می‌تواند متأثر از رودخانه جوی شود که از مسیرهای مختلف وارد کشور شده و بارش‌های سنگین و سیل‌آسایی را در مناطق مختلف ایجاد کنند. لذا مفهوم رودخانه‌های جوی و شناسایی آن‌ها چارچوب جدید و عملی برای آزمون و سنجیدن شرایط جوی مرتبط با بارش‌های شدید را فراهم می‌کند (Ralph et al., ۲۰۱۸). رودخانه‌های اتمسفری به‌عنوان یک پدیده‌ی جهانی موردمطالعه بسیاری از محققان جهان قرارگرفته است. بررسی تاریخچه این مطالعات نشان می‌دهد

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

بیشترین آمار تحقیق ازنظر مکانی مربوط به آمریکای شمالی و کالیفرنیا به دلیل تأثیرات مخاطره‌آمیز این پدیده و ازنظر زمانی مربوط به سال‌های اخیر می‌شود (Ralph *et al.*, ۲۰۱۷). ازجمله این مطالعات: ژو و نیوول (Zhu & Newell, ۱۹۹۸) الگوریتمی را برای شار رطوبت ساختارهای رودخانه‌ای در تروپوسفر با استفاده از داده‌های باد و رطوبت از مرکز پیش‌بینی آب‌وهوای اروپا ارائه کردند. گوان و والیزر است (Guan & Waliser, ۲۰۱۵) الگوریتم‌های شناسایی رودخانه‌های اتمسفری در مطالعات جهانی را ارزیابی کردند. روتز و همکاران (Rutz et al., ۲۰۱٤) به بررسی ویژگی‌های اقلیمی رودخانه‌های اتمسفری و نفوذ آن‌ها به خشکی‌های غرب ایالات‌متحده برای ۲۳ فصل سرد (نوامبر تا آوریل) با استفاده از داده‌های مرکز پیش‌بینی میان‌مدت اروپا پرداخته و نشان دادند بیشترین فراوانی و مدت این رودخانه‌ها در سواحل واشنگتن و دامنه‌های غربی نوادا است. دی کر و همکاران (Dacre et al., ۲۰۱٤) به بررسی چگونگی شکل‌گیری رودخانه‌های اتمسفری با تحلیل شار بخارآب در اقلیم زمستانی سیکلون‌های برون حاره‌ی اقیانوس اطلس شمالی پرداختند. لاورز و همکاران (Lavers et al., ۲۰۱۲) به شناسایی رودخانه‌های اتمسفری پایدار (۱۸ ساعت یا بیشتر) با استفاده از داده‌های ۵ محصول بازنگری جو پرداخته و ارتباط آن‌ها را با سیلاب‌های بریتانیا و گردش بزرگ‌مقیاس جو مطالعه نمودند. کیم و همکاران (Kim et al., ۲۰۱۷) تغییرات سالیانه در رودخانه‌های جوی و انتقال رطوبت بر روی شمال شرق اقیانوس آرام و شمال غربی آمریکا طی دسامبر تا فوریه ۳۵ سال موردبررسی قراردادند.

باوجود مطالعات جامع و دقیق در مورد رودخانه‌های جوی در بسیاری از کشورهای جهان، در کشور مطالعات درزمینه رودخانه‌های جوی محدود و فراگیر نمی‌باشند.

سلیمی و سلیقه (۱۳۹۴) به بررسی حمل و انتقال بخارآب از طریق رودخانه‌های اتمسفری به‌وسیله داده‌های رطوبت ویژه، از مرکز داده‌های واکاوی شده NCEP برای دوره سه‌ساله (۲۰۱۱-۲۰۱۳) پرداختند. نتایج تحلیل ایشان پس از تهیه نقشه ترازهای مختلف وردسپهر نشان داد که سالانه به‌طور میانگین، حدود دوازده رودخانه اتمسفری تشکیل می‌شود که رطوبت بخشی از بارش‌های ایران را تأمین می‌کند. در این مطالعه مجموع شار بخارآب تمام ستون جو به‌صورت یکپارچه در نظر گرفته نشده است. اکبری و همکاران (۲۰۱۹) با همین روش طولانی‌ترین و عمیق‌ترین مسیرها را با طول چندین هزار کیلومتر در خاورمیانه به‌عنوان رودخانه‌های جوی معرفی کردند. شادمانی (۱۳۹۵) با استفاده از یک الگوریتم، وجود یا عدم وجود رودخانه‌های جوی را بر ۲ مورد بارندگی شدید منجر به سیل در غرب و جنوب کشور موردبررسی قرارداد. نتایج ایشان نشان داد مبدأ و منشأ مسیرهای حرکت رطوبتی همگی به سمت جنوب (استوا) می‌باشند، ولی به‌طور کامل به استوا نمی‌رسند. کریمی و فرج زاده (۱۳۹۰) باهدف شناسایی منابع تأمین‌کننده رطوبت بارش‌های ایران و با استفاده از متغیرهای جوی نم ویژه، مولفه-های مداری و نصف‌النهاری باد را جهت محاسبه شار رطوبت استفاده کرده است. نتایج پژوهش ایشان مشخص کرد که دریاهای عرب و مدیترانه به علت انتقال حجم زیاد رطوبت بر روی ایران، مهم‌ترین منبع رطوبتی بارش‌های ایران بوده‌اند. با توجه به اهمیت بارش‌های سنگین در روند یابی سیلاب‌ها و ذخیره آبی کشور، هدف این مطالعه شناسایی رودخانه‌های جوی با تأکید بر بالاترین بارش‌های ایستگاهی مرتبط با آن‌ها در دوره بارشی کشور می‌باشد. ازآنجاکه شروع بارش‌ها در ماه اکتبر به‌عنوان دوره‌ی گذار از خشکی طولانی به دوره مرطوب با بی‌نظمی‌هایی همراه است و با شروع فعالیت سامانه‌های بارشی از ماه نوامبر و گسترش جنوب سوی امواج بادهای غربی امکان شکل‌گیری رودخانه‌های جوی نیز به وجود می‌آید. لذا بازه زمانی موردمطالعه محدود به شش ماه سرد سال (نوامبر تا آوریل) و در یک دوره آماری یازده سال (۲۰۱۸-۲۰۰۷) می‌باشد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

داده‌ها و روش کار

به‌منظور شناسایی رودخانه‌های جوی از داده‌های شار قائم بخارآب استفاده گردید. پارامترهای شار قائم بخارآب شرق سو- شمال سو از داده‌های بازنگری مرکز پیش‌بینی میان‌مدت اروپا (ECMFW) با تفکیک مکانی ۰/۵ درجه و گام‌های ۶ ساعته به مدت ۱۱ سال و برای شش ماه دوره سرد سال استخراج شد. داده‌های شار قائم بخارآب شامل نم ویژه و وزش‌های مداری و نصف‌النهاری از تراز ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکالی جو، در دستگاه اویلری به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

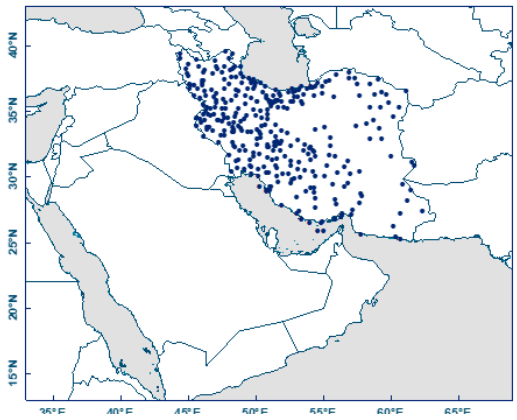
$$IVT = \sqrt{(\frac{1}{g}\int_{1...\square\square\square}^{300\ hpa} qu\ dp)^2 + (\frac{1}{g}\int_{1...\square\square\square}^{300\square\square\square} qv\ dp)^2}$$

که IVT نشان‌دهنده شار قائم بخارآب، q نشان‌دهنده نم ویژه ($kg\ kg^{-1}$) u و v مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری برحسب ($m\ s^{-1}$)، g شتاب گرانی و dp اختلاف فشار میان دو سطح تعیین‌شده است (Lavers *et al.*, ۲۰۱۲; Ramos *et al.*, ۲۰۱۵).

با توجه به این‌که میزان شار رطوبت در مناطق مختلف جهان و برای هر منطقه با توجه به موقعیت جغرافیایی، هم‌جواری با پهنه‌های آبی و موقعیت توپوگرافی آن، از منطقه‌ای به منطقه دیگر و حتی از فصلی به فصل دیگر متفاوت است. برای تعیین رودخانه‌های جوی در هر منطقه، معیار یا آستانه‌ای در نظر گرفته می‌شود. این آستانه‌ها رودخانه‌های جوی را از شارش‌هایی که روزانه در جو رخ می‌دهد تفکیک خواهد کرد. بنابراین پس از محاسبه بزرگی شار قائم بخارآب در محدوده ۱۳ تا ۴۳ درجه شمالی و ۳۳ تا ۶۹ درجه شرقی (شکل ۱) صدک ۸۵ ام شار قائم بخارآب برای ساعت ۱۲ هرروز به‌وقت هماهنگ جهانی UTC محاسبه شد (مانند: Lavers, ۲۰۱۲; ۲۰۱۳; Eiras-barca, ۲۰۱۸) و سپس معیار هرماه مشخص شد (جدول ۱). در این مطالعه رودخانه‌های جوی به‌عنوان مسیرهایی با طول بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر و نسبت طول به عرض بالاتر از ۲ با استناد به کار گوان و والیزر (Guan & Waliser, ۲۰۱۵) شناسایی شدند. رودخانه‌های جوی با ترسیم حدود ۷۹۲۰ نقشه بافاصله ۶ ساعته، اعمال آستانه شار بر روی هر نقشه و بررسی مشخصات هندسی مذکور به دست آمد. مواردی که مشخصات یک رودخانه جوی را داشتند و از مرزهای خشکی ایران عبور کردند به‌عنوان رودخانه جوی در نظر گرفته شدند.

جدول ۱. آستانه ماهانه بدست آمده از صدک ۸۵ ام شار قائم بخارآب

ماه	آستانه ($Kg\ m^{-1}s^{-1}$)
نوامبر	۱۶۰
دسامبر	۱۵۰
ژانویه	۱۵۱
فوریه	۱۶۳
مارس	۱۷۳
آوریل	۱۷۸



شکل ۱. محدوده محاسبه صدک شار قائم بخارآب و موقعیت ایستگاه های همدید

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

درمجموع ۳۶۴ رودخانه به‌صورت روزانه یافت شد. داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های همدید از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. ۳۴۰ ایستگاه همدید که به‌طور همگن در سراسر کشور پراکنده‌شده‌اند (شکل ۱)، انتخاب شد و تاریخ رخداد هر رودخانه با بارش‌های روزانه بررسی شد. سپس بالاترین بارش ایستگاهی رخداده در محدوده رودخانه جوی استخراج شد و رودخانه‌ها بر اساس حداکثر بارش مرتبط با آن‌ها به‌صورت نزولی مرتب شدند. صدک ۹۵ ام از حداکثر بارش‌های مربوط به رودخانه‌های جوی برای تفکیک سنگین‌ترین بارش‌ها محاسبه شد و درنهایت ۱۰ رودخانه جوی با رخداد بارشی بالاتر از ۹۰/۵ میلی‌متر (صدک ۹۵ ام) به دست آمد. از این بارش‌ها به‌عنوان بارش‌های ابرسنگین یاد شد.

به‌منظور معرفی این رودخانه‌های جوی برخی مشخصات مرتبط با آن‌ها شامل موارد زیر استخراج شد:

۱-حداکثر شار: از میان ۴ گام ۶ ساعته، ساعتی که رودخانه بالاترین میزان شار را داشته است انتخاب و حداکثر شار مربوط به آن استخراج شد. ۲-تداوم: منظور دوره زمانی یا تعداد گام‌هایی است که رودخانه ویژگی‌های خود را حفظ کرده است. ۳- حداکثر و مجموع بارش رخداده مرتبط با رودخانه جوی ۴-مکان اولیه: مکانی که رودخانه بر اساس صدک ۸۵ ام شار بخارآب از روی آن شکل‌گرفته است. ۵-مکان ورود: منطقه‌ای که رودخانه جوی وارد خشکی ایران شده است. ۶- استان و ایستگاه درگیر حداکثر بارش

داده‌های ژئوپتانسیل، نم ویژه، امگا، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد در ترازهای دریا، ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای تحلیل همدید رودخانه‌های جوی و برای ترسیم نقشه‌های جت، مؤلفه باد مداری و نصف‌النهاری در تراز ۲۵۰ و ۳۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال مورداستفاده قرار گرفت. برای شناسایی منشأ سامانه‌های مؤثر همدید در شکل‌گیری هر رودخانه نقشه‌های فشاری و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز دریا و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ترسیم‌شده و رودخانه‌ها براساس سامانه همدید مؤثر تقسیم‌بندی شدند؛ و درنهایت یک نمونه از هر الگو به‌عنوان نماینده هر الگو به‌تفصیل مورد تحلیل همدیدی قرارگرفته و برای سایر نمونه‌ها به تحلیل چگونگی شکل‌گیری و منشأ رطوبتی رودخانه و میزان انطباق پهنه بارشی و با پهنه پوششی رودخانه اکتفا شد.

شرح و تفسیر نتایج

نتایج استخراج رودخانه‌های جوی بر اساس بالاترین بارش رخداده و تفکیک آن‌ها بر اساس صدک ۹۵ ام حداکثر بارش‌های رخداده مرتبط با رودخانه‌ها نشان داد ۱۰ رودخانه جوی طی ۱۱ سال دوره آماری و در ماه‌های سرد نوامبر تا آوریل موجب بارش‌های بالای ۹۰/۵ میلی‌متر شده است. جدول ۱ مشخصات ده نمونه از بارش‌های سنگین ایران را که عامل ایجادکننده آن رودخانه‌های جوی بوده‌اند را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود منشأ عمده این رودخانه‌ها در محدوده‌ی خلیج عدن تا دریای سرخ بوده است. این مسئله بیانگر آن است که منشأ رطوبتی عموم این رودخانه‌های جوی از دریاهای جنوبی بوده و سامانه‌های جنوبی عامل اصلی عمده این بارش‌های ابرسنگین ایران است. ۶ سامانه از این سامانه‌ها از سمت جنوب، ۲ سامانه از سمت جنوب غرب و ۲ سامانه از غرب وارد ایران شده‌اند.

در ۶ سامانه رودخانه جوی که منجر به ایجاد بارش سنگین شده است در ساعت صفر به‌وقت جهانی یا ساعت سه و نیم محلی شکل‌گرفته است. دو سامانه نیز در ساعت ۶ به‌وقت جهانی تکوین پیداکرده است. همان‌طور که ستون ششم جدول ۱ نشان می‌دهد رودخانه‌های جوی منجر به بارش ابرسنگین دوامی بین ۲ تا حتی ۱۹ گام زمانی (۶ ساعته) را شامل شده‌اند. درمجموع ۶ سامانه دوامی بیش از ده گام زمانی را شامل شده‌اند. به عبارتی غالب رودخانه‌ها عمری بیش

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

از دو روز را داشته‌اند. در تمام نمونه‌ها حداکثر بارش ثبت‌شده حداقل در یک ایستگاه بیش از ۹۰ میلی‌متر و تا ۱۳۳ میلی‌متر نیز رسیده است. استان‌های درگیر بارش سنگین عموماً استان‌های نیمه جنوبی ایران بوده‌اند. در سه مورد استان فارس در سه مورد استان‌های کوهستانی کهکیلویه و چهارمحال و فقط در دو مورد از نمونه‌های مطالعاتی دو استان غربی درگیر بارش ابرسنگین متأثر از رودخانه جوی بوده‌اند. از ده سامانه بارشی مؤثر بر بارش‌های ابرسنگین ۷ سامانه منشأ سودانی داشته و سه سامانه باقیمانده ترکیبی از دو سامانه مدیترانه‌ای و سودانی به‌طور مشترک عامل بارش سنگین بوده‌اند. همان‌طور که ملاحظه شد از ده سامانه همراه با رودخانه جوی که منجر به بارش‌های ابرسنگین بر روی ایران شده بودند ۷ سامانه دارای منشأ سودانی بوده‌اند. باوجوداینکه این سامانه‌ها مستقیماً بر روی سودان و اتیوپی تکوین پیداکرده و بر روی ایران گسترش پیداکرده بودند ولی با توجه به الگوی همدیدی از مسیرهای متفاوتی وارد ایران شده‌اند.

جدول ۲. ده مورد از بالاترین بارش‌های ایستگاهی رخ‌داده مرتبط با رخداد رودخانه‌های جوی

سامانه مؤثر	مجموع بارش	ایستگاه درگیر	استان درگیر	حداکثر بارش	تداوم (گام)	ساعت	حداکثر شار	منطقه ورود	مبدأ	تاریخ رخداد رودخانه جوی
ادغامی	۱۰۷۹/۲	کوهرنگ	چهارمحال بختیاری	۱۳۳	۱۹	۱۸	۵۰۶	جنوب	دریای سرخ	۳/۱۲/۲۰۱۴
سودانی	۱۷۴۵/۵	تفرش	مرکزی	۱۰۷	۴	۰	۶۳۳	جنوب	یمن	۳۱/۳/۲۰۰۹
سودانی	۱۶۱۶/۴	یاسوج	کهکیلویه و بویراحمد	۱۰۳	۱۱	۰۶	۵۳۴	جنوب	دریای سرخ	۱۱/۲۵/۲۰۱۴
سودانی	۶۷۰/۲	ایوان	ایلام	۱۰۰	۱۲	۰۰	۷۶۸	غرب	سودان	۴/۱۵/۲۰۱۷
ادغامی	۱۹۲۶/۸	لردگان	چهارمحال بختیاری	۹۷	۷	۰۰	۷۹۲	جنوب غرب	خلیج عدن	۱۲/۲/۲۰۱۶
سودانی	۱۴۰۹	زرین دشت	فارس	۹۳	۱۲	۰۶	۶۴۹	جنوب	دریای سرخ	۱۲/۸/۲۰۰۹
سودانی	۱۲۸۵/۵	سپیدان	فارس	۹۲	۱۱	۱۲	۶۶۷	جنوب	سودان	۲/۱/۲۰۱۲
ادغامی	۱۷۲۲/۲	سردشت	آذربایجان غربی	۹۲	۲	۰۰	۶۰۳	جنوب غرب	دریای سرخ	۲/۱۸/۲۰۱۸
سودانی	۵۴۵/۹	قیرو کارزین	فارس	۹۱	۱۰	۰۰	۵۲۹	جنوب	شاخ آفریقا	۳/۲۶/۲۰۱۷
سودانی	۱۴۳۴/۴	کامیاران	کردستان	۹۰	۲	۰۰	۵۴۷	غرب	سودان	۲/۱۷/۲۰۱۸

* تاریخ‌های رخداد بر اساس حداکثر بارش مرتب‌شده‌اند. واحد شار کیلوگرم متر برثانیه و بارش به میلی متر است.

- **تحلیل الگوی بارش و رودخانه‌های جوی مرتبط با سامانه‌های سودانی**

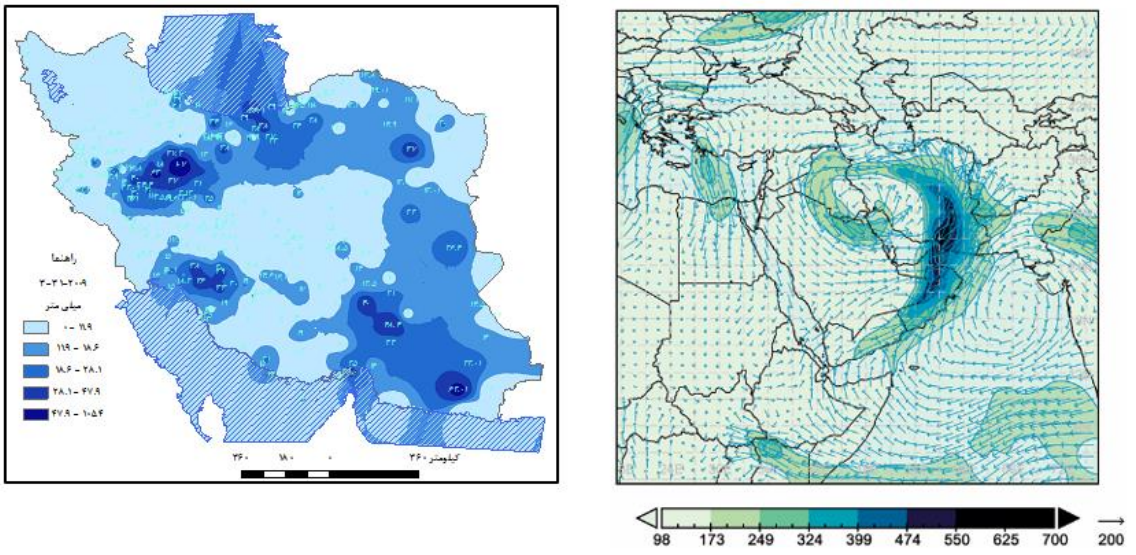
در این بخش از تحقیق ویژگی و الگوی هریک از رودخانه‌های جوی منجر به بارش سنگین و میزان انطباق پهنه بارش و رودخانه جوی در هریک از نمونه‌های انتخابی مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

- **نمونه بارشی ۳۱ مارس ۲۰۰۹**

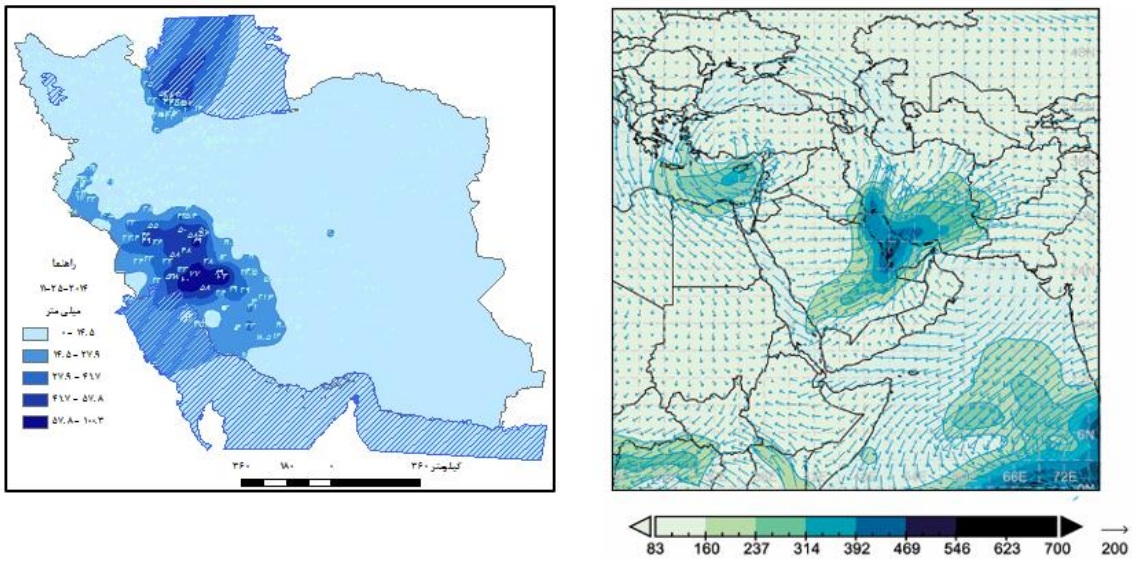
رودخانه جوی مؤثر در بارش این نمونه مطالعاتی پس از عبور از ساحل شرقی شبه‌جزیره عربستان و تنگه هرمز وارد ایران شده است. این رودخانه جوی با توجه به الگوی همدیدی حاکم به‌صورت یک الگوی حلقوی شکل تقریباً تمام

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

بخش‌های کشور را با شدت و ضعف تحت تأثیر قرار داده است. نقشه بارشی همین روز به‌خوبی بیانگر انطباق بسیار جالب پهنه اثر رودخانه جوی و پهنه بارشی ایستگاه‌ها در مسیر رودخانه جوی می‌باشد (شکل ۲). در این نمونه بارشی بالاترین بارش ثبت‌شده ۱۰۷ میلی‌متر مربوط به ایستگاه تفرش در استان مرکزی می‌باشد جایی که جریان‌ها کاملاً شرقی شده‌اند. مجموع بارش ثبت‌شده توسط ایستگاه‌های درگیر بارش در پهنه رودخانه ۱۷۴۵ میلی‌متر بوده است. علاوه براین از نظر بارشی فراگیرترین نمونه بوده است.



شکل ۲. نقشه بارشی روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹ (چپ) و نقشه (IVT) رخداد رودخانه جوی در ساعت اوج (راست) با واحد $Kg\ m^{-1}s^{-1}$



شکل ۳. نقشه بارشی روز ۲۵ نوامبر ۲۰۱۴ (چپ) و نقشه (IVT) رخداد رودخانه جوی در ساعت اوج (راست) با واحد $Kg\ m^{-1}s^{-1}$

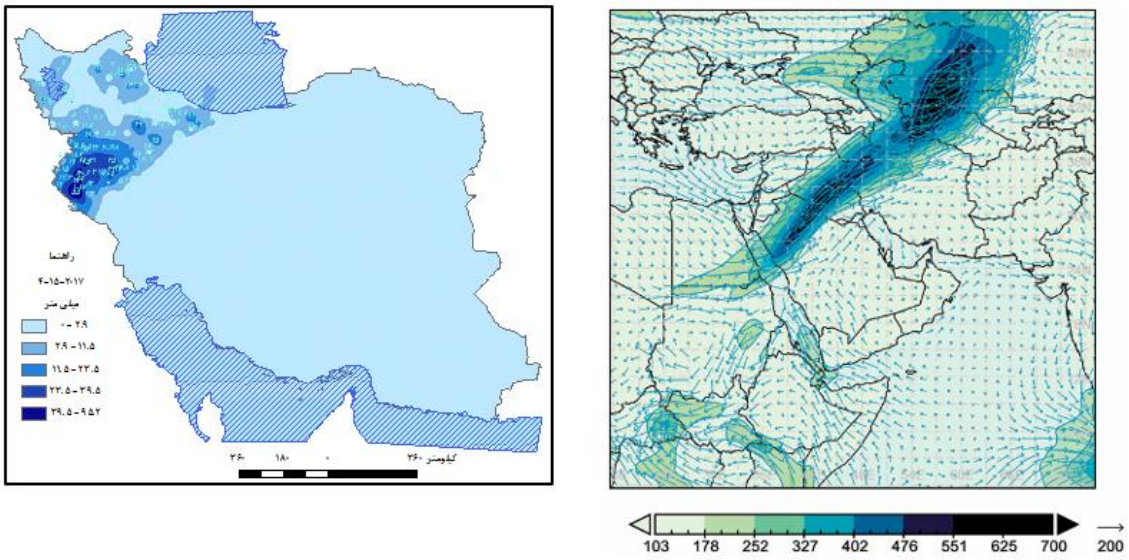
- **نمونه بارشی ۲۵ نوامبر ۲۰۱۴**

در این نمونه منشأ رودخانه جوی از روی منطقه همگرایی دریای سرخ می‌باشد. این رودخانه جوی در امتداد حرکت به‌تدریج با دریافت رطوبت از دریای عرب و عمان و سپس خلیج‌فارس تقویت‌شده است. اوج بارندگی این رودخانه جوی بر روی استان کهکیلویه و بویر احمد بوده و ایستگاه یاسوج با ۱۰۳ میلی‌متر پربارش ترین ایستگاه بوده است. در این

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

رودخانه جوی باوجوداینکه هسته پربارش کاملاً با هسته پر رطوبت رودخانه جوی منطبق است (شکل ۳) همچنین بیشترین بارش‌ها در نقاطی که مؤلفه شمال سو بر جریان غالب شده است به چشم می‌خورد. اما رودخانه بعد از عبور از ارتفاعات زاگرس جنوبی بارش قابل‌توجهی را ایجاد نکرده است. در این نمونه بارشی نقش توپوگرافی در تشدید و تخلیه رطوبتی سامانه بسیار مشهود است.



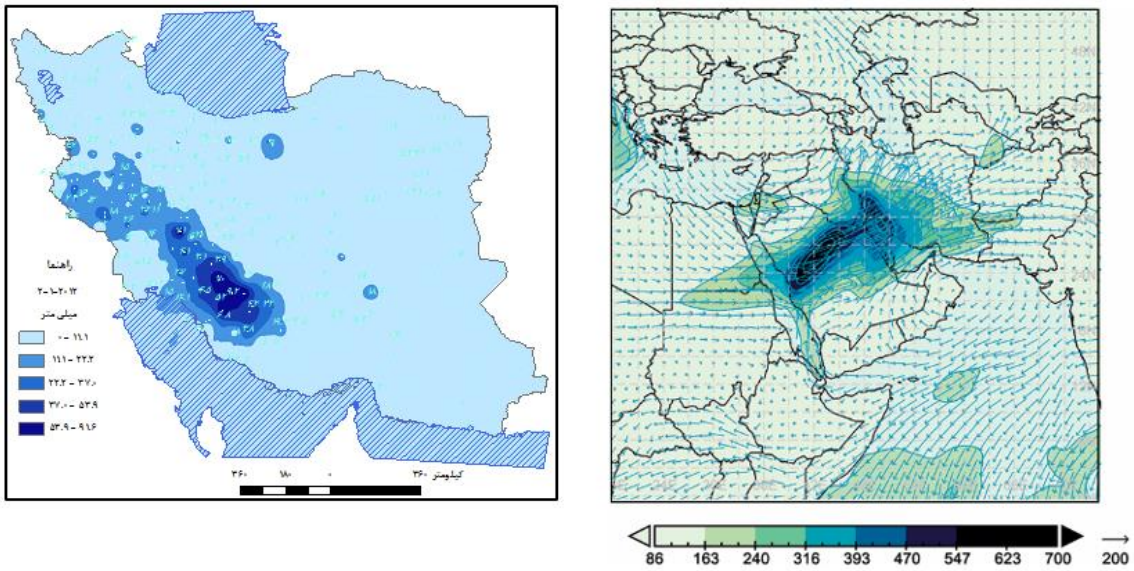
شکل ۴. نقشه بارشی روز ۱۵ آوریل ۲۰۱۷ (چپ) و نقشه (IVT) رخداد رودخانه جوی در ساعت اوج (راست) با واحد $Kg\ m^{-1}s^{-1}$

- **نمونه بارشی ۱۵ آوریل ۲۰۱۷**

این نمونه از رودخانه‌هایی هست که در فرایند شکل‌گیری خود از چند منشأ رطوبت دریافت نموده است. این رودخانه در روز سیزدهم آوریل از شاخه جداشده از منطقه همگرایی حاره‌ای شکل‌گرفته و در ادامه با رطوبت فرارفت شده از روی دریاهای عرب و سرخ تقویت‌شده است؛ و در روز ۱۵ آوریل با اضافه شدن منبع رطوبتی دریای مدیترانه به اوج خود ازنظر شار رطوبتی و ایزوله بودن رسیده و بالاترین شدت بارش در این روز رخداده است. این نمونه از رودخانه‌های بسیار کلاسیک می‌باشد که دارای کشیدگی بسیار زیادی است و جهت غالب جریان در راستای محور اصلی حرکت آن شکل‌گرفته است. همان‌طور که دیده می‌شود (شکل ۴) پهنه بارشی سامانه با پهنه رودخانه کاملاً منطبق می‌باشد. حتی محدوده حداکثر بارش با پهنه حداکثر شار قائم بخارآب رودخانه کاملاً منطبق است. ایستگاه ایوان بالاترین بارش ثبت‌شده را دارد. این رودخانه باوجوداینکه ۱۲ گام زمانی تداوم داشته است. ولی حجم بارش آن چندان چشمگیر نبود. شاید دلیل اصلی این باشد که در ادامه رطوبت فرارفت شده از روی دریاهای گرم عرب و عمان و همچنین رطوبت فرا رفتی از منطقه همگرایی حاره‌ای قطع‌شده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

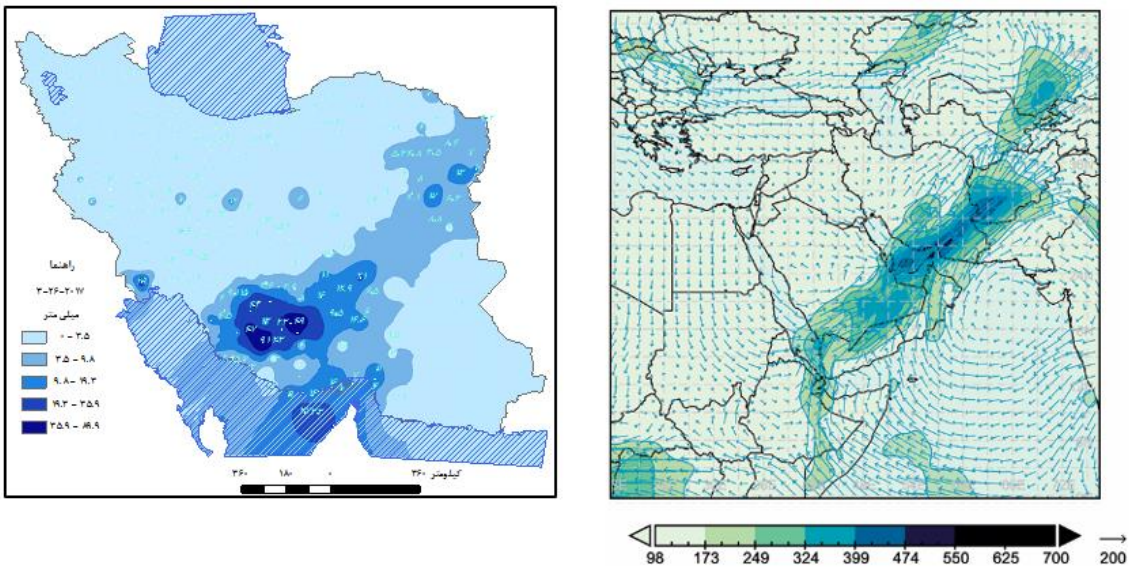
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]



شکل ۵. نقشه بارشی روز ۱ فوریه ۲۰۱۲ (چپ) و نقشه (IVT) رخداد رودخانه جوی در ساعت اوج (راست) با واحد $Kg\ m^{-1}s^{-1}$

- **نمونه بارشی ۱ فوریه ۲۰۱۲**

این رودخانه در روز آخر ژانویه ۲۰۱۲ در ادامه جریانات فرارفت شده از سمت اقیانوس اطلس و غرب آفریقا شکل گرفت و در روزهای بعد با اضافه شدن شاخه‌ای از خلیج عدن از طریق تنگه باب المندب تقویت‌شده و از استان بوشهر در جنوب کشور وارد ایران شده است. حداکثر بارش رخداده مرتبط با حضور این رودخانه در استان فارس و ایستگاه همدید سپیدان به میزان ۹۲ میلی‌متر به وقوع پیوسته است. پهنه بارشی رخداده منطبق با این رودخانه جوی در شکل (۵) نشان داده‌شده است. همان‌طور که دیده می‌شود پهنه بارش و پهنه حداکثر بارش با پهنه رودخانه انطباق بسیار خوبی را نشان می‌دهد.



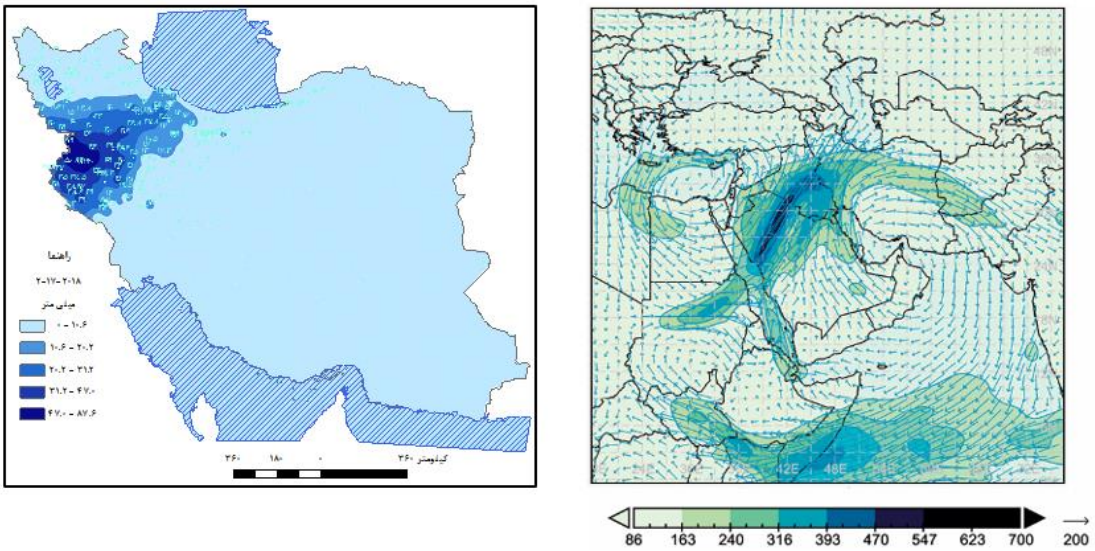
شکل ۶. نقشه بارشی روز ۲۶ مارس ۲۰۱۷ (چپ) و نقشه (IVT) رخداد رودخانه جوی در ساعت اوج (راست) با واحد $Kg\ m^{-1}s^{-1}$

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

- **نمونه بارشی ۲۶ مارس ۲۰۱۷**

این نمونه از سامانه‌هایی است که از سمت جنوب وارد ایران شده است. منشأ اولیه این سامانه از روی شاخ آفریقا می‌باشد همان‌طور که ملاحظه می‌شود منشأ اولیه این رودخانه از رطوبت فرارفت شده از شاخه انشعابی ITCZ شکل‌گرفته و در طول مسیر از رطوبت دریای سرخ و دریاهای عرب و عمان (از طریق جریانات واچرخندی پرفشار عربستان) تقویت‌شده است. اوج هسته بارشی این رودخانه جوی در جنوب استان فارس و شهرهای قیر و کار زین رخداده است. همان‌طور که دیده می‌شود (شکل ۶) هسته بارشی در ضلع غربی رودخانه اتفاق افتاده است. ولی پهنه بارشی با پهنه رودخانه منطبق است.



شکل ۷. نقشه بارشی روز ۱۷ فوریه ۲۰۱۸ (چپ) و نقشه (IVT) رخداد رودخانه جوی در ساعت اوج (راست) با واحد $Kg\ m^{-1}s^{-1}$

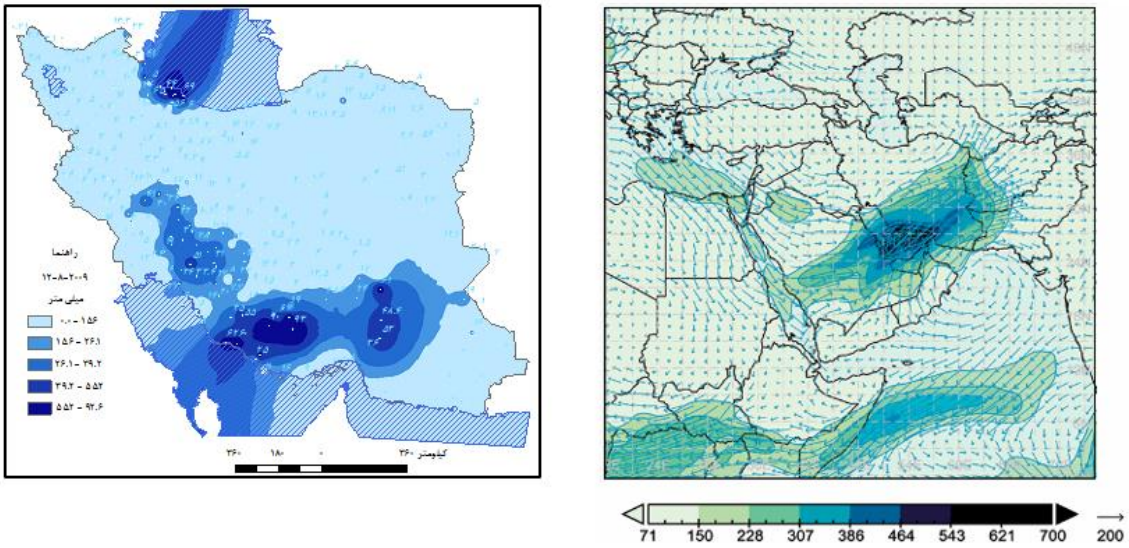
- **نمونه بارشی ۱۷ فوریه ۲۰۱۸**

این رودخانه نیز از رودخانه‌های چندوجهی می‌باشد که در فرایند شکل‌گیری خود از منابع رطوبتی متعددی برخوردار بوده است. باوجوداینکه مکان اولیه شکل‌گیری این رودخانه بر روی سودان می‌باشد ولی در ادامه از منابع رطوبتی دریای مدیترانه نیز بهره‌مند گردیده است. این رودخانه در سه روز متوالی موجب بارش‌هایی بر نواحی غربی و شمال غربی کشور شده است. به‌طوری‌که در ساعات میانی روز ۱۶ فوریه با شاخه انشعابی از روی خلیج عدن شکل‌گرفته و سپس با گسترش بر روی منطقه همگرایی دریای سرخ تقویت‌شده و در روز ۱۷ فوریه به اوج خود رسیده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود (شکل ۷) نقش واچرخند عربستان در فرارفت رطوبت در ادامه مسیر رودخانه بسیار بااهمیت می‌باشد. گسترش شمال و غرب سوی واچرخند عربستان در ادامه سبب جابجایی غرب سوی این رودخانه گردیده و از سمت غرب وارد ایران شده است. در گام‌های نهایی فعالیت رودخانه جریانات غربی با منشأ مدیترانه نیز سبب فرارفت رطوبت به درون این رودخانه گردیده است. بالاترین مقدار بارش در این سامانه به میزان ۹۰ میلی‌متر در کامیاران استان کردستان رخداده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

- **تحلیل الگوی همدیدی سامانه‌های سودانی مرتبط با رودخانه جوی**

این سامانه بارشی نماینده الگوی همدید سامانه‌هایی می‌باشد که با رودخانه جوی همراه شده است. همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد بر اساس بررسی چشمی نقشه ترازهای مختلف ۷ نمونه از بارش‌های ابرسنگین همراه با رودخانه جوی با فعالیت کم‌فشار سودان مرتبط بوده‌اند که این نمونه نماینده بسیار خوبی برای ۶ نمونه بارشی دیگر است. این رودخانه ابتدا از روی دریای سرخ شکل‌گرفته و در ادامه مسیر با رطوبت فرارفت شده از روی دریای عرب و عمان و مدیترانه تقویت‌شده و بر روی خلیج‌فارس و سواحل آن به اوج فعالیت خود رسیده است. هسته پر بارش این رودخانه بر روی جنوب استان فارس و محدوده ایستگاه زرین‌دشت اتفاق افتاده است. پهنه بارشی این رودخانه شامل استان‌های فارس، هرمزگان، کرمان و بخش‌هایی از استان سیستان و بلوچستان هست. پهنه حداکثر بارش با پهنه رودخانه کاملاً منطبق می‌باشد. در بخش‌هایی از کشور نیز بارش‌هایی رخداده است که مرتبط با رودخانه جوی نمی‌باشد (شکل ۸). این رودخانه به مدت ۳ روز بر بارش‌های کشور تأثیر گذاشته است.

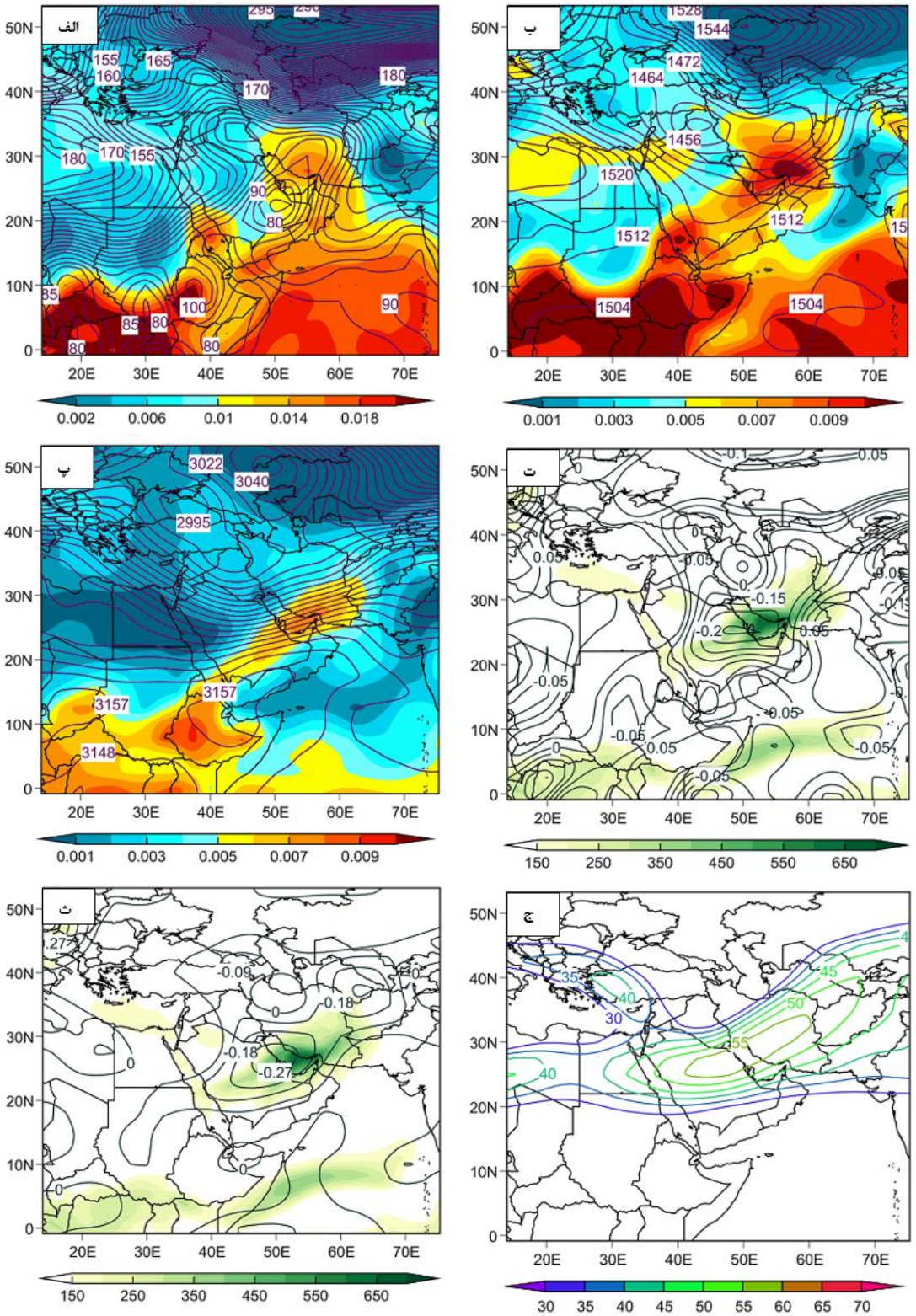


شکل ۸. نقشه بارشی ۸ دسامبر ۲۰۰۹ (چپ) و نقشه (IVT) رخداد رودخانه جوی در ساعت اوج (راست) با واحد $Kg\ m^{-1}s^{-1}$

همان‌طور که نقشه تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۹ الف) نشان می‌دهد. کم‌فشار سودانی در موقعیتی شرقی‌تر از موقعیت عمومی خود بر روی کشور اتیوپی استقرار دارد. زبانه این کم‌فشار در امتدادی جنوب غربی – شمال شرقی پس از عبور از نیمه جنوبی دریای سرخ و شرق شبه‌جزیره عربستان از طریق خلیج‌فارس بر روی ایران گسترش پیداکرده است. این زبانه امگا شکل در سیطره دوزبانه واچرخندی نسبتاً سرد که از عرض‌های شمالی بر روی منطقه گسترش‌یافته‌اند، شیو حرارتی شدیدی را ایجاد نموده‌اند که فشردگی منحنی‌های پربندی گویای از شیو حرارتی و ارتفاعی شدید می‌باشد. مرکز کم ارتفاعی با پربند ۷۰ ژئوپتانسیل متر در جنوب خلیج‌فارس بسته شده است که نقش اصلی را در فرارفت رطوبت دریای عمان و عرب را بر روی ساحل جنوبی ایران در لایه زیرین بر عهده دارد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]



شکل ۹. الف) نقشه ترکیبی ژئوپتانسیل متر و نم ویژه به کیلوگرم در کیلوگرم روز ۱۷ فوریه ۲۰۱۸ تراز ۱۰۰۰، ب) تراز ۸۵۰ و پ) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ت) نقشه ترکیبی رودخانه (IVT) در ساعت اوج به همراه امگای تراز ۷۰۰ ث) و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ج) نقشه جت تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال فرارفت رطوبت از منطقه مرطوب ITCZ به دورن رودخانه جوی به‌خوبی مشهود است (شکل ۹ ب). جریانات جنوبی جلو ناوه رطوبت انتقالی از ITCZ را به درون رودخانه فرارفت نموده و با مشارکت رطوبت لایه زیرین وردسپهر شرایط مناسبی را برای شکل‌گیری رودخانه جوی فراهم کرده است. نقشه رطوبتی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و الگوی رودخانه جوی به‌خوبی این انطباق را نشان می‌دهد.

در نقشه ترکیبی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نقش رطوبتی منطقه همگرایی حاره‌ای در تأمین رطوبت لایه میانی برای رودخانه جوی به‌خوبی مشهود است (شکل ۹ پ). همان‌طور که دیده می‌شود با توجه به الگوی همدیدی حاکم در منطقه خاورمیانه بخصوص حوزه شبه‌جزیره عربستان (حضور واچرخند عربستان بر روی آب‌های دریای عمان و عرب) عمده رطوبت فرارفت شده از روی دریاهای گرم عرب و عمان در لایه‌های زیرین وردسپهر انجام می‌شود؛ بنابراین در لایه‌های میانی جو رطوبت فرارفت شده از منطقه همگرایی حاره‌ای نقش بسیار مهمی در تکمیل و تقویت رطوبت سامانه‌های انتقالی از کم‌فشار سودان یا منطقه همگرایی دریای سرخ ایفا می‌کند.

شکل ۹ (ت و ث) نقشه ترکیبی رودخانه جوی را با نقشه جریانات بالاسو (امگا) نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود میدان امگای گسترده‌ای مرکز و نیمه شرقی شبه‌جزیره عربستان و نیمه شرقی کشور ایران را در برگرفته است. هسته این میدان گسترده با جریانات بالاسوی قوی در ساحل جنوبی خلیج‌فارس قرار دارد. شدت واگرایی در مرکز هسته به بیش از ۰/۳- پاسکال بر ثانیه می‌رسد که از بزرگی زیادی برخوردار است. هسته قوی امگا در ضلع شمال غربی کم‌فشار و در ضلع غربی رودخانه جوی استقرار دارد. این الگو شرایط بسیار خوبی را برای تشدید کژفشاری و جریانات همرفتی شدید بر روی منطقه را فراهم کرده است.

هسته پرسرعت جت جنب‌حاره‌ای با سرعت بیش از ۵۵ متر بر ثانیه و راستایی جنوب غربی – شمال شرقی در لبه غربی رودخانه جوی و دامنه غربی سامانه کم‌فشار تراز زیرین استقرار دارد (شکل ۹ ج) و تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نفوذ کرده است (نشان داده نشده است). این ساختار دینامیکی مناسب شرایط بسیار مناسبی را برای تشدید واگرایی‌های تراز میانی و بالایی وردسپهر و تقویت جریانات همرفتی در لایه زیرین فراهم نموده است. به‌طوری‌که مقادیر بارش ۲۴ ساعته در برخی از ایستگاه‌های جنوبی ایران به بیش از ۹۰ میلی‌متر رسیده است.

- **تحلیل الگوی بارش و رودخانه‌های جوی مرتبط با سامانه‌های ادغامی**
- **نمونه بارشی ۱۲ مارس ۲۰۱۴**

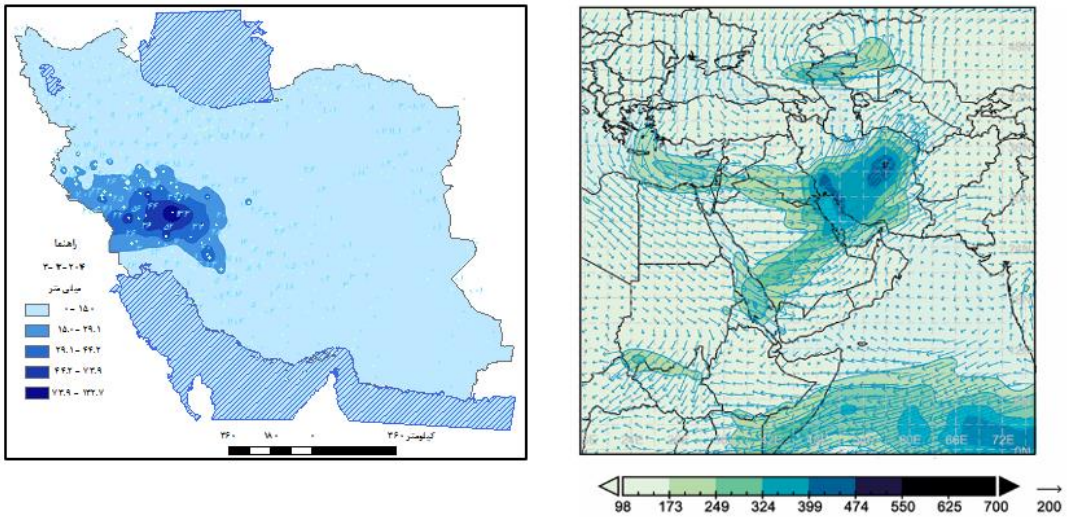
این رودخانه جوی همان‌طور که دیده می‌شود (شکل ۱۰) دارای دو منشأ رطوبتی بوده و سامانه‌های منشأ آن نیز ترکیبی از دو سامانه سودانی و مدیترانه‌ای بود. این رودخانه از روز ۱۰ مارس از روی دریای سرخ شروع‌شده و به‌تدریج تقویت‌شده است. در ادامه شاخه‌ای از روی دریای مدیترانه به این جریان اضافه‌شده و با فرارفت رطوبت از مدیترانه در روز ۱۲ مارس به اوج خود رسیده است. این رودخانه جوی ۵ روز تداوم داشته و بالاترین مقدار بارش آن به میزان ۱۳۳ میلی‌متر در ایستگاه کوهرنگ در روز ۱۲ مارس رخداده است. باوجوداینکه بالاترین رطوبت شارش شده به درون رودخانه بر روی مرکز ایران قرار داشته ولی اوج بارش بر روی ارتفاعات استان‌های خوزستان و چهارمحال و بختیاری اتفاق افتاده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

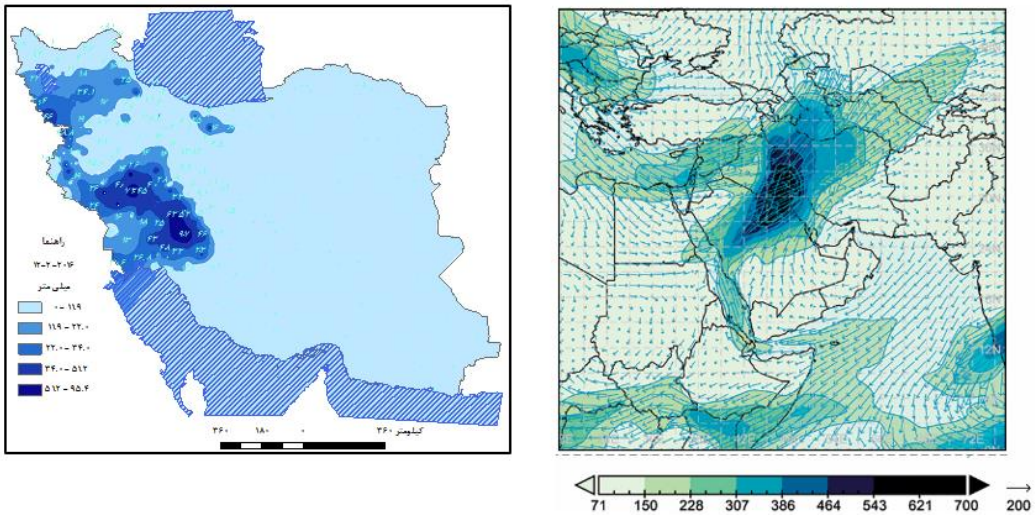
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

- **نمونه بارشی ۲ دسامبر ۲۰۱۶**

جریان شکل‌دهنده رودخانه از ساعات پایانی روز ۳۰ نوامبر با منشأ خلیج عدن شروع‌شده و پس از تقویت جریانات به‌وسیله فرارفت رطوبت شاخه دیگری از روی دریای مدیترانه با این رودخانه جوی ادغام‌شده و در روز دوم دسامبر به حداکثر رسیده است. این رودخانه تقریباً دو روز تداوم داشته و در هر دو روز موجب بارش‌هایی در محدوده گسترش رودخانه جوی شده است. حداکثر بارش در این روزبه میزان ۹۷ میلی‌متر در ایستگاه لردگان چهارمحال و بختیاری رخ‌داده است (شکل ۱۱). شرایط همدید این روز در کنار دو منشأ با شدت فرارفت بالا موجب شده تا این رودخانه بالاترین هسته شار قائم بخارآب (۷۹۲ کیلوگرم متر بر ثانیه) را از میان سایر رخدادها داشته باشد. نقش ناهمواری‌های زاگرس در پهنه بارش نیز در این نمونه به‌خوبی مشخص است. جابجایی موقعیت و نحوه گسترش واچرخند عربستان در این رخداد نسبت به نمونه قبلی به سمت غرب جابجا شده و مسیر ورود رودخانه را از عرض‌های بالاتر (غرب) موجب شده است.



شکل ۱۰. نقشه بارشی روز ۱۲ مارس ۲۰۱۴ (چپ) و نقشه (IVT) رخداد رودخانه جوی در ساعت اوج (راست) با واحد $Kg\ m^{-1}s^{-1}$

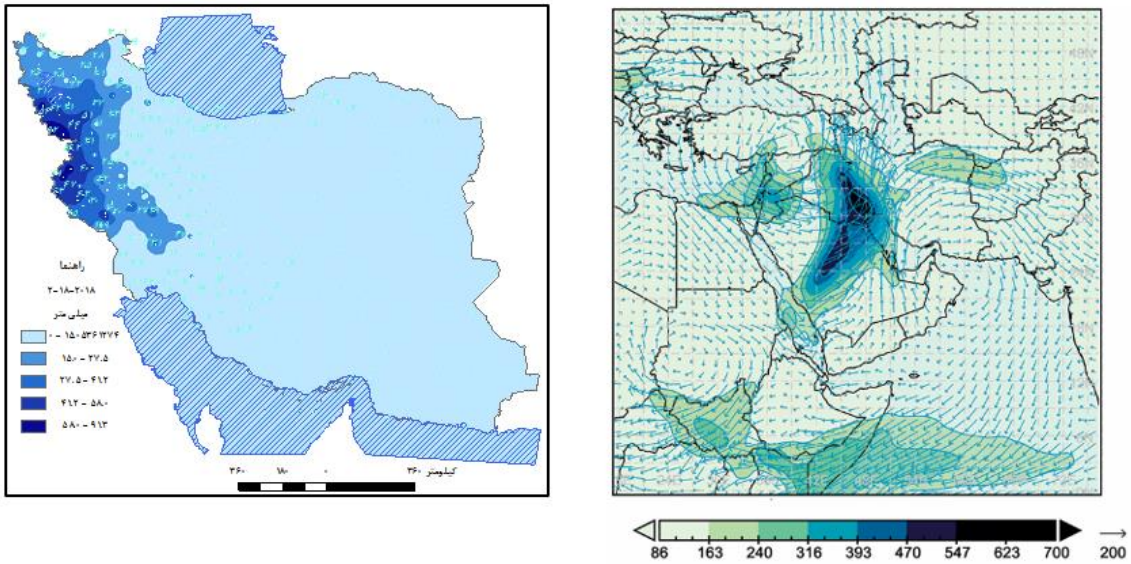


شکل ۱۱. نقشه بارشی روز ۲ دسامبر ۲۰۱۶ (چپ) و نقشه (IVT) رخداد رودخانه جوی در ساعت اوج (راست) با واحد $Kg\ m^{-1}s^{-1}$

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

- **تحلیل همدیدی الگوی سامانه‌های ادغامی مرتبط با رودخانه‌های جوی**

این سامانه به‌عنوان نماینده سامانه‌های مؤثر ادغامی موردبررسی و تحلیل همدید قرار گرفت. منشأ رودخانه جوی مرتبط با این سامانه از منطقه همگرایی دریای سرخ هست. شکل ۱۲ جریان شار بخارآب فرارفت شده از طریق دو سامانه پرفشار عربستان از روی دریای عرب و خلیج‌فارس و همین‌طور سیکلون مدیترانه‌ای مستقر بر روی مرز سوریه و عراق را به درون رودخانه جوی نشان می‌دهد. این رودخانه با ورود از جنوب غرب کشور واردشده و مناطق غربی و شمال غربی را تحت تأثیر قرار داده است. بیشترین میزان بارش منطبق با هسته‌های شار رودخانه در ایستگاه‌های مرزی و بالاترین میزان بارش تا ۹۲ میلی‌متر در سردشت آذربایجان غربی به وقوع پیوسته است.

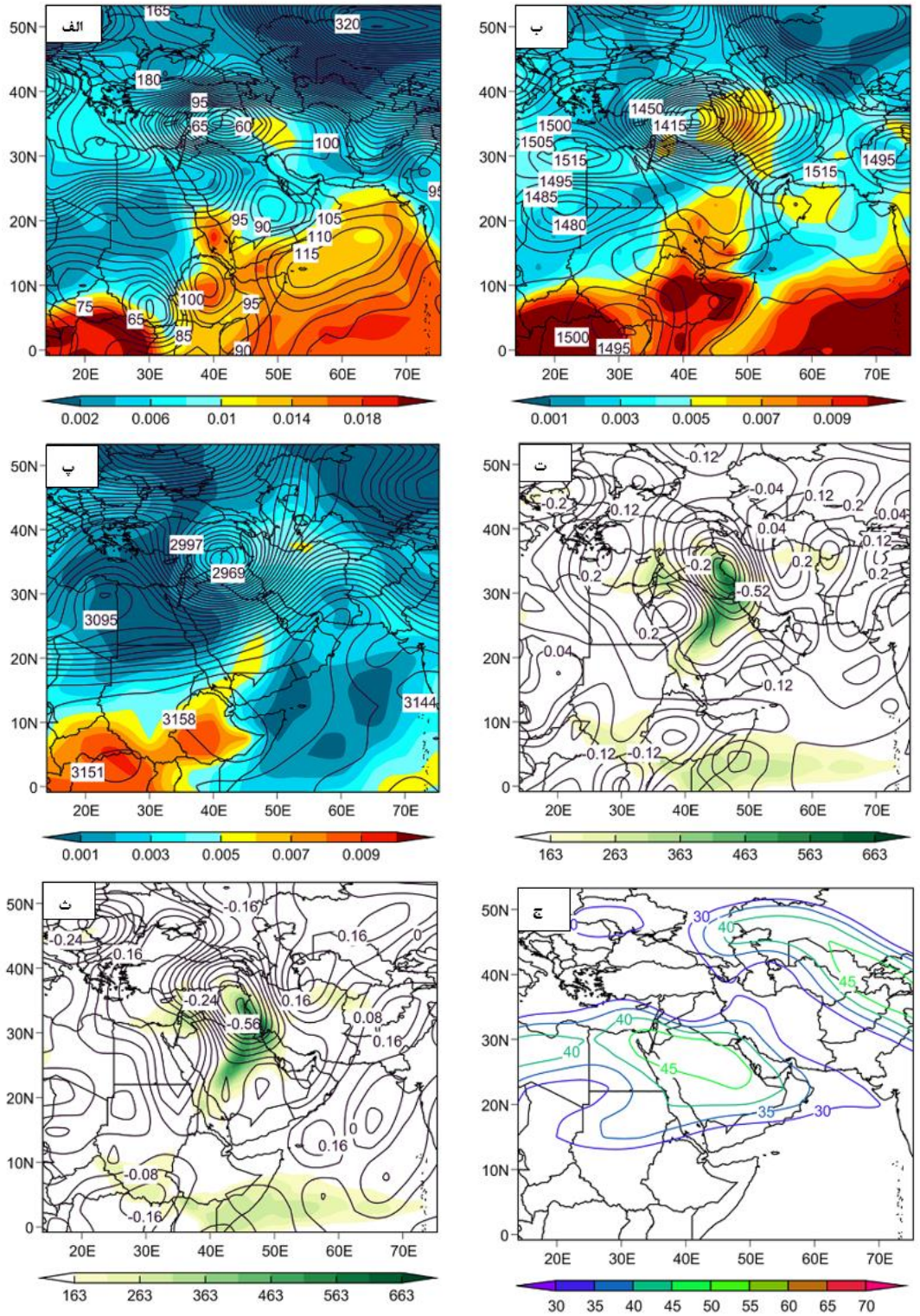


شکل ۱۲. نقشه بارشی روز ۱۸ فوریه ۲۰۱۸ (چپ) و نقشه (IVT) رخداد رودخانه جوی در ساعت اوج (راست) با واحد $Kg\ m^{-1}s^{-1}$

الگوی همدیدی تراز زیرین وردسپهر (شکل ۱۳ الف) نشان می‌دهد ابتدا زبانه‌ای از روی سودان با امتداد جنوب غربی – شمال شرقی پس از عبور از روی نیمه جنوبی دریای سرخ و غرب عربستان بر روی عراق با سیکلون مدیترانه‌ای ادغام‌شده و دامنه این زبانه کم‌فشار تمام محدوده غربی ایران را متأثر ساخته است. در لایه زیرین وردسپهر رطوبت دریای گرم عرب و عمان در یک گردش واچرخندی به درون سامانه سودانی فرارفت شده است. این رطوبت منشأ اولیه شکل‌گیری رودخانه جوی در ۲ روز قبل از اوج فعالیت رودخانه می‌باشد. انرژی ترمودینامیکی فرارفت شده از طریق رودخانه جوی در لایه زیرین وردسپهر سبب تکوین تقویت یک سامانه چرخندی قوی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال غرب ایران تا ساحل شرقی مدیترانه گردیده است. استقرار این سامانه چرخندی در این موقعیت زمینه فرارفت رطوبت از روی دریای مدیترانه به‌عنوان یک منبع تکمیلی به رودخانه جوی گردیده است (شکل ۱۳ ب).

همان‌طور که دیده می‌شود (شکل ۱۳ پ) در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال رطوبت فرارفت شده از منطقه همگرایی حاره‌ای نقش مهمی درترمیم رطوبت انتقالی به درون رودخانه جوی را ایفا می‌کند. وجود یک میدان گسترده با جریانات بالاسوی قوی با امگای بیش از ۰/۵- پاسکال بر ثانیه در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال شکل ۱۳ (ت و ث) بیانگر جریانات

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]



شکل ۱۳. الف) نقشه ترکیبی ژئوپتانسیل متر و نم ویژه به کیلوگرم در کیلوگرم روز ۱۸ فوریه ۲۰۱۸ تراز ۱۰۰۰، ب) تراز ۸۵۰ و پ) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ت) نقشه ترکیبی رودخانه (IVT) در ساعت اوج به همراه امگای تراز ۷۰۰ ث) و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ج) نقشه جت تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

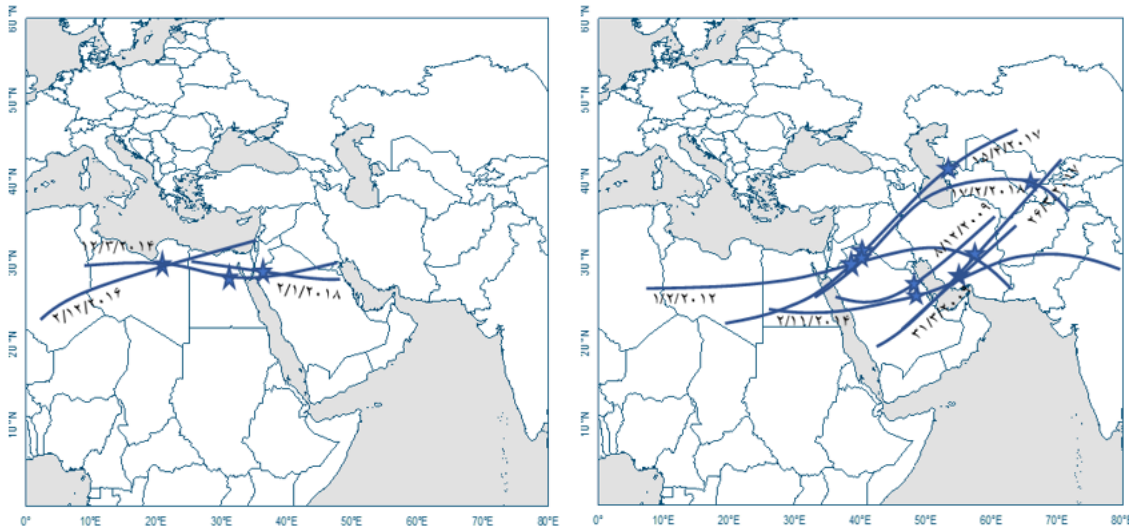
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

همرفتی شدید در بخش میانی هسته بالاترین شار رطوبتی رودخانه می‌باشد. به همین دلیل شدیدترین بارش‌ها منطبق با دامنه شرقی میدان امگای منفی رخداده است.

جریان جت در این روز تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال رسیده و مرکز آن بر روی شبه‌جزیره عربستان قرارگرفته است. شکل ۱۳ (ج) جریان جت را در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکل نشان می‌دهد. بطوریکه این جریان با هسته سرعت بیش از ۴۵ متر بر ثانیه نواحی جنوب غربی و غربی کشور را مورد پوشش قرار داده و در تشدید واگرائی‌های تراز میانی و بالایی وردسپهر و تقویت جریانات همرفتی در لایه زیرین نقش داشته است.

- **بررسی محور های جت در رخداد بالاترین بارش‌های مرتبط با رودخانه‌های جوی**

شکل (۱۴) موقعیت محور جت استریم جنب‌حاره‌ای را برای نمونه‌های سودانی و ادغامی مرتبط با رودخانه جوی را نشان می‌دهد. محور جت نمونه‌های بارشی سودانی انطباق بسیار خوبی با الگوی گسترش محور رودخانه‌های جوی نشان می‌دهد. به‌طوری‌که با جابجایی غرب و شرق سوی جت محور رودخانه نیز جابجایی غرب و شرق سو پیداکرده است. مسئله دیگر الگوی گسترش محورهای نمونه‌های سودانی در مقایسه با الگوی گسترش نمونه‌های ادغامی می‌باشد. محور جت نمونه‌های سودانی امتدادی جنوب غربی– شمال شرقی (تمایل نصف‌النهاری) دارند. این الگوی گسترش سبب می‌شود سامانه از تاوایی مناسبی برخوردار گردد. به همین دلیل پهنه بارشی و تعداد ایستگاه‌های دارای بارش سنگین در سامانه‌های سودانی بیشتر از سامانه‌های ادغامی باشد. همان‌طور که دیده می‌شود محور جت‌های مربوط به سامانه‌های ادغامی عموماً مداری بوده و در مقایسه با محور جت سامانه‌های سودانی غربی‌تر باشند. محور و هسته سرعت جت‌های سامانه سودانی با توجه به مسیر ورود و حرکت سامانه‌های سودانی در محدوده‌ای بین تنگه هرمز تا دریای سرخ قرار دارند؛ و برعکس هسته سرعت‌های جت سامانه‌های ادغامی درست در سمت غرب جت‌های سودانی قرار دارند.



شکل ۱۴. محورهای جت نمونه‌های سودانی (راست) محورهای جت نمونه‌های ادغامی (چپ) در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

نتیجه‌گیری

رودخانه‌های جوی به‌عنوان مسیرهای طویل و عظیم از رطوبت نقش مهمی در فرین‌های آب و هوایی و همین‌طور مجموع بارش سالیانه یک منطقه دارند. این پدیده به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همانند کشور ایران که با محدودیت جدی منابع آب روبروست حائز اهمیت فراوانی است. چراکه این اقالیم با رژیم‌های بارشی پر نوسان مواجه هستند و همان مقدار بارش اندک نیز در غالب بارش‌های سنگین و سیل‌آسا به وقوع می‌پیوندد. در این تحقیق سعی بر آن بود تا بالاترین بارش‌های مرتبط با رودخانه‌های جوی بررسی و مداقه قرار گیرد. به همین منظور برای شناسایی رودخانه‌های جوی از داده‌های یکپارچه‌شده‌ی شار قائم بخارآب شرق سو-شمال سو استفاده شد. رودخانه‌های جوی به‌عنوان مسیرهایی متمرکز و پیوسته از شار قائم بخارآب بالاتر از صدک ۸۵ ام ماهانه منطقه با طولی بیش‌تر از ۲۰۰۰ کیلومتر و نسبت طول به عرض بیش از ۲ درصورتی‌که از مرزهای خشکی ایران عبور کرده باشند شناسایی شدند. تاریخ رخداد و پهنه گسترش آن‌ها با بارش روزانه در گستره ۳۴۰ ایستگاه سینوپتیک مورد مقایسه قرار گرفت و رخدادهای رودخانه بر اساس بالاترین بارش ایستگاهی مرتبط با آن‌ها مرتب‌شده و برای به دست آوردن سنگین‌ترین رخدادها صدک ۹۵ ام حداکثر بارش‌های به وقوع پیوسته محاسبه شد و به‌این‌ترتیب ۱۰ نمونه بارشی ابرسنگین انتخاب نهایی شد. سپس نقشه‌های ترازهای مختلف این نمونه‌ها در طول دوره بارشی تهیه و با بررسی چشمی منشأ یابی گردیدند تا درنهایت رودخانه‌های با بارش بالاتر از این آستانه (۹۰ میلی‌متر) مشخص شد. سپس هر رخداد بر اساس سامانه مؤثر بر ایجاد آن‌ها تفکیک‌شده و یک نمونه به‌عنوان نماینده هرکدام تحلیل همدید شد.

نتیجه بررسی چشمی نقشه نشان داد که ۷ نمونه از سامانه‌های بارشی شدید دارای منشأ سامانه سودانی و ۳ رخداد نیز منشأ ادغامی با سامانه‌های کم‌فشار سودانی و مدیترانه‌ای داشته‌اند. به همین دلیل بیشتر این رودخانه‌ها از جنوب و سپس غرب وارد کشور شده‌اند در بررسی کلی رودخانه‌های جوی به‌طور متوسط تداومی بیش از ۹ گام زمانی (هر گام ۶ ساعت می‌باشد) داشته‌اند. این رودخانه‌ها طی چند روز در مناطق مختلف کشور به‌ویژه مناطق جنوبی- غربی بارش‌هایی با میزان متوسط-سنگین و فوق سنگین به وجود آورده‌اند. منشأ رطوبتی عموم این رودخانه‌های جوی از دریاهای جنوبی بوده و سامانه‌های جنوبی بیشترین نقش را در شکل‌گیری و تقویت آن‌ها داشته‌اند. حداکثر بارش ثبت‌شده در حضور رودخانه‌ها حداقل در یک ایستگاه بیش از ۹۰ میلی‌متر و تا ۱۳۳ میلی‌متر نیز رسیده است. استان‌های درگیر بارش سنگین عموماً استان‌های نیمه جنوبی ایران بوده‌اند.

نتایج بررسی بر روی مکان اولیه شکل‌گیری رودخانه‌ها بر اساس صدک ۸۵ ام شار بخارآب مشخص کرد دریای سرخ و خلیج عدن مهم‌ترین مکان‌های شکل‌دهنده این رودخانه‌ها بودند. نقش منطقه همگرایی دریای سرخ در فرارفت رطوبت به رودخانه‌های جوی بسیار بااهمیت بوده است. ولی نقش دریای مدیترانه در شکل‌گیری رودخانه‌های جوی حتی در رودخانه‌های جوی که ویژگی ادغامی داشته‌اند چندان برجسته نبوده است. در تحلیل همدید نمونه‌های سودانی ملاحظه شد که الگوی گسترش زبانه کم‌فشار سودانی و جابجایی غرب و شرق سوی واچرخند عربستان در کنار نحوه گسترش آن نقش تعیین‌کننده‌ای در مسیر ورود رودخانه‌های جوی داشته‌اند. ازلحاظ منشأ رطوبتی در تمام سامانه‌ها در لایه زیرین وردسپهر دریاهای عرب و عمان نقش اولیه در شروع شکل‌گیری رودخانه‌ها داشته‌اند. ولی در ادامه آب‌های خلیج عدن و دریای سرخ نقش مهمی در قوام و تقویت رودخانه‌های جوی داشته‌اند. درحالی‌که در ترازهای بالاتر بخصوص تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نقش منطقه همگرایی حاره‌ای در انتقال رطوبت و تکمیل منبع رطوبتی رودخانه بسیار مؤثر می‌باشد. در

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

تمام نمونه‌ها هسته ای با امگای منفی بین ۰/۳- تا ۰/۵- پاسکال بر ثانیه در غرب و جنوب غربی هسته پربارش و منطقه بالاترین شار رطوبتی رودخانه قرار داشت. برخی مطالعات نشان دادند جت جنب‌حاره‌ای (علیجانی، ۱۳۷۶؛ ابراهیمی نیک، ۱۳۹۰) عموماً در ترازهای بالاتر از ۳۰۰ هکتوپاسکال قابلیت رصد و مطالعه هست. ولی این مطالعه مشخص کرد در بارش‌های ابرسنگین جت جنب‌حاره‌ای تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز گسترش می‌یابند. علاوه بر این الگوی گسترش محور جت‌های جنب‌حاره‌ای در سامانه‌های سودانی با تمایل به نصف النهارات موجب شد تا سامانه از تاوایی مناسبی برخوردار گردد. این ساختار دینامیکی شرایط بسیار مناسبی را برای تشدید واگرائی‌های تراز میانی و بالایی وردسپهر و تقویت جریانات همرفتی در لایه زیرین و بارش‌های ابرسنگین فراهم نموده است.

انطباق پهنه‌های بارشی با گستره‌ی رخداد رودخانه جوی نشان داد در صورت همراهی مناسب شرایط همدید مجموع شار قائم بخارآب در تمام ترازهای جوی حاوی رطوبت در قالب رودخانه جوی نماینده مناسبی برای نمایش مناطق حداکثری بارش می‌باشد اگرچه بررسی ارتباط شدت شار و شدت بارش نیاز به مطالعات بیشتری دارد. این مطالعه درک ما را از اهمیت رودخانه‌های جوی در ایجاد بارش‌های ابرسنگین ایران بهبود بخشید.

منابع

ابراهیمی نیک، مریم السادات؛ حسن لشکری. مجید آزادی. ۱۳۹۰. *نقش موقعیت رودباد جنب‌حاره‌ای و قطبی بر ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌های جنوب غرب ایران*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد وزارت علوم تحقیقات و فناوری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

کریمی، مصطفی؛ منوچهر فرج زاده. ۱۳۹۰. شار رطوبت و الگوهای فضایی- زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، **۲۲**: ۱۲۸-۱۰۹.

سلیمی، سعدون؛ محمد سلیقه. ۱۳۹۵. تأثیر رودخانه‌های اتمسفری (ARS) بر آب‌وهوای ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، **۴۸**: ۲۶۴-۲۴۷.

علیجانی، بهلول. ۱۳۸۷. مبانی آب و هواشناسی، چاپ چهاردهم. انتشارات سمت، تهران.

قاسمی، احمدرضا؛ محمدعلی نصر اصفهانی، ناهید شادمانی. ۱۳۹۵. *بررسی وجود و نقش رودخانه‌های جوی در ایجاد بارش‌های سیل‌آسا در غرب و جنوب کشور (مطالعه موردی: سیل‌های ۹ و ۲۱ آبان ۱۳۹۴)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد وزارت علوم تحقیقات و فناوری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد.

Akbary, M.; S. Salimi, SA. Hosseini, & M. Hosseini. ۲۰۱۹. Spatio-temporal changes of atmospheric rivers in the Middle East and North Africa region. *Int J Climatol*, **۳۹**: ۳۹۷۶–۳۹۸۶. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۲/joc.٦٠٥٢

Blamey, RC.; AM. Ramos, RM. Trigo, et al. ۲۰۱۸. The influence of atmospheric rivers over the South Atlantic on winter rainfall in South Africa. *J Hydrometeorol*, **۱۹**:۱۲۷–۱٤۲. https://**doi**.org/۱۰,۱۱۷٥/JHM-D-۱۷-۰۱۱۱,۱

Bao, J.; S. A. Michelson, P. Neiman, F. Ralph, & J. Wilczak. ۲۰۰٦. Interpretation of Enhanced Integrated Water Vapor Bands Associated with Extratropical Cyclones: Their Formation and Connection to Tropical Moisture. *Monthly Weather Review*, **۱۳٤**: ۱۰٦۳–۱۰۸۰. https://**doi**.org/۱۰,۱۱۷٥/MWR۳۱۲۳,۱

Cordeira, J.; M. Ralph, F. M. & B. J. Moore. ۲۰۱۳. The development and evolution of two atmospheric rivers in proximity to western North Pacific tropical cyclones in October ۲۰۱۰. *Monthly Weather Review*, **۱٤۱**(۱۲): ٤۲۳٤-٤۲٥٥. https://**doi**.org/۱۰,۱۱۷٥/Mwr-D-۱۳-۰۰۰۱۹,۱

Dacre, HF.; PA. Clark, O. Martinez-Alvarado et al. ۲۰۱٤. How Do Atmospheric Rivers Form? *Bull Am Meteorol Soc*, **۹٦**:۱۲٤۳–۱۲٥٥. https://doi.org/۱۰,۱۱۷٥/BAMS-D-۱٤-۰۰۰۳۱,۱

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]

Eiras-Barca, J.; AM. Ramos, & JG. Pinto, et al. ۲۰۱۸. The concurrence of atmospheric rivers and explosive cyclogenesis in the North Atlantic and North Pacific basins. *Earth Syst Dyn*, ۹:۹۱–۱۰۲. https://**doi**.org/۱۰,۵۱۹٤/esd-۹-۹۱-۲۰۱۸

Gimeno, L.; R. Nieto, M. Vázquez, & DA. Lavers. ۲۰۱٤. Atmospheric rivers : a mini-review. *Front Earth Sci*, ۲:۱–٦. https://**doi**.org/۱۰,۳۳۸۹/feart.۲۰۱٤,۰۰۰۰۲

Guan, B., & DE. Waliser. ۲۰۱۵. Detection of atmospheric rivers: Evaluation and application of an algorithm for global studies. *J Geophys Res* ۱۲۰:۱۲,۵۱٤-۱۲,۵۳۵. https://**doi**.org/۱۰,۱۰۰۲/۲۰۱۵JD۰۲٤۲۵۷

Kim, H.M.; Y. Zhou, & M.A. Alexander. ۲۰۱۷. Changes in atmospheric rivers and moisture transport over the Northeast Pacific and western North America in response to ENSO diversity. *Clim. Dyn*, ۰: ۱–۱٤. https://**doi**.org/۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۳۸۲-۰۱۷-۳۵۹۸-۹

Knippertz, P.; H. Wernli, & G. Gläser. ۲۰۱۳. A global climatology of tropical moisture exports. *Journal of Climate*, ۲٦(۱۰): ۳۰۳۱–۳۰٤۵. https://**doi**.org/۱۰,۱۱۷۵/JCLI-D-۱۲-۰۰٤۰۱,۱

Lavers, DA.; G. Villarini, RP. Allan, et al. ۲۰۱۲. The detection of atmospheric rivers in atmospheric reanalyses and their links to British winter floods and the large-scale climatic circulation. *J Geophys Res Atmos*, ۱۱۷:۱–۱۳. https://**doi**.org/۱۰,۱۰۲۹/۲۰۱۲JD۰۱۸۰۲۷

Newell, RE.; NE. Newell, Y. Zhu, & C. Scott. ۱۹۹۲. Tropospheric rivers?–A pilot study. *Geophys Res Lett*, ۱۹:۲٤۰۱–۲٤۰٤. https://**doi**.org/۱۰,۱۰۲۹/۹۲GL۰۲۹۱٦

Ralph, FM.; MD. Dettinger, MM. Cairns, et al. ۲۰۱۸. Defining "atmospheric river": How the Glossary of Meteorology helped resolve a debate. *Bull Am Meteorol Soc*, ۹۹:۸۳۷–۸۳۹. https://**doi**.org/۱۰,۱۱۷۵/BAMS-D-۱۷-۰۱۵۷,۱

Ralph, FM.; PJ. Neiman, & GA.Wick. ۲۰۰٤. Satellite and CALJET Aircraft Observations of Atmospheric Rivers over the Eastern North Pacific Ocean during the Winter of ۱۹۹۷/۹۸. *Mon Weather Rev*, ۱۳۲:۱۷۲۱–۱۷٤۵. https://**doi**.org/۱۰,۱۱۷۵/۱۵۲۰-۰٤۹۳(۲۰۰٤)۱۳۲<۱۷۲۱:sacaoo>۲,۰.co;۲

Ralph, FM.; M. Dettinger, D. Lavers, I V. Gorodetskaya, A. Martin, M. Viale, AB.White, N. Oakley, J. Rutz, JR. Spackman, H. Wernli & J. Cordeira. ۲۰۱۷. Atmospheric rivers emerge as a global science and applications focus. *Bulletin of the American Meteorological Society*, ۹۸: ۱۹٦۹–۱۹۷۳. https://**doi**.org/ ۱۰,۱۱۷۵/BAMS-D-۱٦-۰۲٦۲,۱

Ralph, FM.; SF. Iacobellis, PJ. Neiman, et al. ۲۰۱۷. Dropsonde observations of total integrated water vapor transport within North Pacific atmospheric rivers. *J Hydrometeorol*, ۱۸:۲۵۷۷–۲۵۹٦. https://**doi**.org/۱۰,۱۱۷۵/JHM-D-۱۷-۰۰۳٦,۱

Ralph, FM.; PJ. Neiman, GA. Wick, et al. ۲۰۰٦. Flooding on California's Russian River: Role of atmospheric rivers. *Geophys Res Lett*, ۳۳:۳–۷. https://**doi**.org/۱۰,۱۰۲۹/۲۰۰٦GL۰۲٦٦۸۹

Ramos, AM,.; RM. Trigo, MLR. Liberato, & R. Tomé. ۲۰۱۵. Daily Precipitation Extreme Events in the Iberian Peninsula and Its Association with Atmospheric Rivers*. *J Hydrometeorol*, ۱٦:۵۷۹–۵۹۷. https://**doi**.org/۱۰,۱۱۷۵/jhm-d-۱٤-۰۱۰۳,۱

Rutz, JJ.; WJ. Steenburgh, & FM. Ralph. ۲۰۱٤. Climatological Characteristics of Atmospheric Rivers and Their Inland Penetration over the Western United States. *Mon Weather Rev*, ۱٤۲:۹۰۵–۹۲۱. https://**doi**.org/۱۰,۱۱۷۵/MWR-D-۱۳-۰۰۱٦۸,۱

Zhu, Y., & RE. Newell. ۱۹۹۸. A Proposed Algorithm for Moisture Fluxes from Atmospheric Rivers. *Mon Weather Rev*, ۱۲٦:۷۲۵–۷۳۵. https://**doi**.org/۱۰,۱۱۷۵/۱۵۲۰-۰٤۹۳(۱۹۹۸)۱۲٦<۰۷۲۵:APAFMF>۲,۰.CO;۲

eywords: ARs, extreme precipitation, synoptic analysis, IVT, Iran.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.187]