پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۴۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵
ص. ۲۶۴-۲۴۷

تأثیر رودخانه‌های اتمسفری (ARS) بر آب‌وهوای ایران

سعدون سلیمی* ـ کارشناسی‌ارشد آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه خوارزمی
محمد سلیقه ـ دانشیار گروه آب‌وهواشناسی، دانشگاه خوارزمی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۳۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۰/۱۲

چکیده

وقوع سیلاب‌های عظیم در نواحی جنوبی و کاهش میانگین بارش کل در کشور، حاکی از تأثیر پدیده‌های مخرب اقلیمی بر آب‌وهوای کشور است. برای پیش‌بینی سیلاب‌ها و مطابقت انواع فعالیت‌های اقتصادی وابسته به آب، ضروری است که منابع و عوامل انتقال رطوبت و نوع آن‌ها در سطوح مختلف جو شناسایی شود. در این پژوهش، حمل و انتقال بخار آب از طریق رودخانه‌های اتمسفری (ARS) بررسی شده است. در آغاز، داده‌های دوبارهٔ پردازش‌شدهٔ رطوبت ویژه، برای دورهٔ سه ساله (۲۰۱۱-۲۰۱۳) از مرکز داده‌های واکاوی‌شدهٔ NCEP اخذ و نقشهٔ ترازهای مختلف وردسپهری تهیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که سالانه به‌طور میانگین، حدود دوازده رودخانهٔ اتمسفری تشکیل می‌شود که رطوبت بخشی از بارش‌های ایران را تأمین می‌کند. بررسی‌ها نشان داد که رودبادها عامل به‌وجودآورندهٔ این پدیده است. رطوبت موجود در این رودخانه‌ها به طور میانگین حدود شش برابر محیط اطرافشان است و در طول مسیر، از چشمه‌های اتمسفری تغذیه می‌کند. از نظر رطوبت، رودخانه‌های اتمسفری جنوبی و جنوب‌غربی بیشترین مقدار رطوبت را دارد و از نظر بارش، رودخانه‌های اتمسفری جنوبی دارای بیشترین مقدار بوده و حتی منجر به سیلاب و آب‌گرفتگی معابر در شهرهای جنوبی شده است.

کلیدواژه‌ها: اقلیم ایران، انتقال رطوبت، چشمه‌های اتمسفری، رودباد، شاخص مداری باد.

مقدمه

بخار آب در جو به صورت مولکولی و با حالت پخش نامنظم و آشفته به صورت همرفتی و فرارفتی انتقال می‌یابد (زو و نیوئل، ۱۹۹۴). شار عمودی بخار آب از سطح اقیانوس‌ها و سطح زمین به لایه‌های مرزی جو صورت می‌گیرد. این انتقال به همراه هوای گرم به جو انتقال می‌یابد و پخش می‌شود. این نوع انتقال در مقیاس‌های زمانی و مکانی درازمدت به صورت الگوی انتقالی غالب درمی‌آید. در این مقیاس، بخار آب به صورت انتقال فرارفتی به وسیلهٔ بادهای افقی در مقیاس‌های عددی مختلف رفتار می‌کند (همان). حمل‌ونقل بخار آب به صورت موضوع برجسته‌ای در علم هواشناسی برای بیش از چند دهه در دست بررسی و تحقیق محققان قرار داشته است. در تحقیقات جوی، فهم پیچیدگی‌های بخار آب و چرخهٔ آن یکی از مهم‌ترین عواملی است که برای زندگی انسان‌ها باید به آن توجه زیادی شود. در مقیاس جهانی و قاره‌ای، انتقال بخار آب پیامدهای مهمی از نظر تنوع اقلیمی و آب‌شناسی دارد. پراهمیت‌ترین آن‌ها عبارت است از:

نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۹۹۹۲۲۹۹۱
* E- mail: saadun1989@gmail.com

۱. انتقال انرژی زیاد به همراه انتقال بخار آب

۲. تغییر و تبدیلات انرژی خورشیدی با توزیع بخار آب و نقش آن در گردش اتمسفری[1]

۳. نقش زیاد بخار آب در اثرگلخانه‌ای و بازتابش موج بلند زمین (OLR)

۴. نقش بخارآب به منزلهٔ حداقل عامل مورد نیاز در اشکال مختلف هیدرولوژیکی و متعاقباً تأثیرگذار بر تنوع زیستی.

همهٔ این عوامل متأثر از یکدیگر و تأثیرگذار بر یکدیگر، به صورت سیستمی با هم در ارتباط است. تصویری دقیق از چرخهٔ آب در جو ممکن است ارتباط قابل‌توجهی را در انواع تحقیقات شیمی اتمسفری داشته باشد. بخار آب با تأثیرگذاری زیاد و با ماندگاری کوتاه‌مدت در اتمسفر، یکی از اجزای اصلی چرخهٔ هیدرولوژیکی جهان است. همچنین، شاخهٔ جوی از چرخهٔ هیدرولوژیکی، نسبت به گرم‌شدن کرهٔ زمین واکنش نشان می‌دهد.

ساخت تصویری کوچک از چرخهٔ آب در سیارهٔ ما بسیار پیچیده و چالش امروزی بسیاری از دانشمندان و محققان این علم است. در حال حاضر، فقط درکی کلی و کیفی در مقیاس بزرگ از چرخهٔ هیدرولوژیکی زمین داریم (شورای ملی تحقیقات آمریکا، ۱۹۹۱، ۱۹۹۹). مطالعهٔ تغییرات زمانی و مکانی حمل‌ونقل بخار آب به صورت سیستمی فقط به مناطق ویژه و در دوره‌های زمانی مشخص محدود شده است. به صورت خاص، حمل و انتقال بخار آب در عرض‌های جغرافیایی تا حدود زیادی از طریق فرایندهای پیچیده و آشفته رخ می‌دهد و این جریان‌ها در مناطق استوایی و نزدیک استوا به صورت مخالف صورت می‌گیرد (نیمن، ۲۰۰۸). یکی از حالت‌های برجستهٔ حمل‌ونقل بر روی اقیانوس‌ها و در امتداد لبهٔ جبههٔ سرد قطبی روی می‌دهد (رالف و همکاران، ۲۰۰۶). مقدار زیادی از بخار آب در امتداد قسمت‌های جلویی مرزهای همگرایی و قسمت پایین جلوی رودبادها صورت می‌گیرد. این باند از بخار آب به طور معمول تنها چند صد کیلومتر در سراسر اقیانوس کشش جذبی دارد و با توجه به مقدار زیاد بخار آب آن که شبیه به رودخانه‌های زمینی است به نام رودخانه‌های جوی شناخته شده است (نیوئل، ۱۹۹۲). گرمای نهان موجود در هستهٔ سیکلون‌های برون‌حاره به تشدید رودخانه‌های اتمسفری کمک می‌کند (زو و نیوئل، ۱۹۹۴). ساختار بخار آب بر بالای اقیانوس‌ها به شکل‌های مختلفی است.

برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ مطالعه در مورد ساختار بخار آب صورت گرفت که در آن از مقادیر زیادی از مشاهدات سطحی و داده‌های ماهواره‌های هواشناسی استفاده شد. در واقع، مطالعه در این زمینه پایه‌گذاری شد و تاکنون مطالعات زیادی نیز صورت گرفته است.

یکی از ساختارهای بخار آب، رودخانه‌های جوی است که اخیراً آن را عامل مجزایی می‌شناسند. تعریف رودخانهٔ اتمسفری به منزلهٔ رودخانهٔ تروپوسفری را اولین بار نیوئل در سال ۱۹۹۲ مطرح کرد. در تعریفی دیگر آن را انتقال‌دهندهٔ گازهای عرض‌های میانه مانند (منواکسید کربن) می‌شناختند. خروجی مدل هواشناسی ECMWF[2] در اکتبر ۱۹۸۴ از باند بلند و باریک حمل‌ونقل بخار آب بر بالای اقیانوس اطلس جنوبی و اقیانوس هند، رودخانهٔ اتمسفری را به تصویر کشید. تحقیقات بیشتر نشان داد که سالانه به طور هم‌زمان چهار تا پنج رودخانهٔ اتمسفری در نیمکرهٔ شمالی و جنوبی به‌وقوع

1. Atmospheric circulation
2. European center for medium weather forecast

می‌پیوندد (وایت، ۲۰۰۹). رودخانه‌های تروپوسفری انتقال‌دهندهٔ بزرگ بخار آب است و مقدار بخار آب انتقالی آن بالغ بر $10^{8}\ kgs^{-1}$، نزدیک به خروجی رودخانهٔ آمازون است که آن را «رودخانه‌های اتمسفری»[1] گویند (زو و نیوئل، ۱۹۹۴). همچنین، بین رودخانه‌های اتمسفری و بخار قطاری یا ردیفی یا آرایش پرشکل رطوبت که قبلاً افرادی همچون مک‌گوریک و همکاران (۱۹۸۷) دربارهٔ آن کرده بودند تمایز وجود دارد. رودخانه‌های اتمسفری نقش محوری در چرخهٔ آب جهانی دارد و به صورت راهروهای باریک اشباع از رطوبت است. تنها بخش کوچکی از بخار آب موجود در رودخانه‌های اتمسفری زمین به برف و باران تبدیل می‌شود و در حدود ۲۰ یا ۴۰ درصد از بخار آب موجود در رودخانهٔ اتمسفری به سطح زمین می‌رسده و با تأثیرگذاری روی پدیده‌های طبیعی مانند سیل و توفان، منجر به شکل‌گیری توفان‌های بزرگی نظیر توفان کاترینا می‌شود (کر، ۲۰۰۶). رودخانه‌های اتمسفری با طولی برابر با ۱۰۰۰ و عرضی برابر با ۵۰۰ و عمقی برابر با ۴ کیلومتر، بیش از ۹۰٪ حمل‌ونقل‌های نصف‌النهاری بخار آب را به صورت مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌دهد، این در حالی است که تنها ۱۰٪ از محیط زمین را به خود اختصاص داده است (زو و نیوئل،۱۹۹۴). از نظر شدت تأثیر، بیشترین میزان تأثیر را روی سواحل غربی شمال آمریکا (نیمن، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹؛ رالف و همکاران، ۲۰۰۶) و غرب اروپا (استول و سودرمن، ۲۰۰۸) و در بخش‌هایی از سواحل شمال‌غرب آفریقا به‌جا می‌گذارد (ریچارد، ۲۰۰۶).

در ایران نیز پژوهش‌هایی در زمینهٔ انتقال رطوبت انجام شده است که می‌توان به کارهای تحقیقاتی زیر اشاره کرد. فرجزاده و همکاران (۱۳۸۸ :۱۹۴) چگونگی انتقال رطوبت در بارش زمستانهٔ غرب ایران را بررسی کردند و برای شناسایی و انتقال منابع رطوبتی، سامانه‌های بارانزای زمستانی سودانی- مدیترانه‌ای را انتخاب کردند. سپس با مطالعهٔ نم ویژه و آب قابل بارش به این نتیجه رسیدند که دریای عرب و عمان بیشترین واگرایی شار رطوبت را به‌ویژه در ترازهای پایینی داشته و بیشترین نقش را در رخداد بارش غرب ایران داشته است. همچنین، شار رطوبت و الگوی فضایی- زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران را کریمی و فرجزاده (۱۳۹۰) بررسی کردند. آن‌ها از داده‌های دوباره پردازش‌شدهٔ ERA-40 مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا، و متغیرهای جوی نم ویژه، مؤلفه‌های مداری (U) و نصف‌النهاری (V) را برای محاسبهٔ شار رطوبت استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که دریای عرب و مدیترانه به علت انتقال حجم زیاد رطوبت بر روی ایران، مهم‌ترین منبع بارش‌های ایران است و ۹۷ درصد از کل رطوبت منتقل‌شده مربوط به ترازهای زیر ۵۰۰ هکتوپاسکال است (همان: ۱۱۰).

منابع و دینامیسم انتقال رطوبت بارش‌های سنگین به سواحل ایران درجریان توفان گونو، پژوهشی دیگر است که قویدل و همکاران (۱۳۹۲) انجام دادند. آن‌ها رطوبت سطوح مختلف را با استفاده از معادلات فیزیکی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که دریای عمان و سپس دریای عرب منشأ رطوبت این توفان است و بیشترین مقدار انتقال رطوبت از طریق سطوح ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال صورت گرفته است (همان: ۱۱۱).

در انتقال انواع سیستم‌های جوی به همراه سیستم‌های حامل رطوبتی از عرض‌های مختلف و پایین به عرض‌های بالا، نقش سامانه‌هایی با گردش و جهت نصف‌النهاری اهمیت دارد. گردش‌های نصف‌النهاری چند برابر گردش مداری،

1. atmospheric rivers

انتقال انرژی و ماده را به عرض‌های مختلف به عهده دارد، زیرا زمانی که جریانات کاملاً غربی است فقط در عرض‌های ثابت و از یک منطقه به منطقه‌ای دیگر در همان عرض انتقال می‌یابد. در نتیجه، تفاوت‌های اقلیمی بین عرض‌های مختلف بیشتر می‌شود. ولی، در گردش نصف‌النهاری به دلیل حرکت انتقالی از عرض‌های پایین به بالا و برعکس، انتقال انرژی و ماده صورت می‌گیرد. از آنجا که کشور ایران در جهت عرض جغرافیایی گسترش دارد، نقش سامانه‌های با حرکت نصف‌النهاری برجسته‌تر می‌شود و از آنجا که مهم‌ترین عنصر اقلیمی برای زیست، بخار آب و بارش است، نقش رطوبت در جریانات نصف‌النهاری اهمیت دارد. به‌ویژه، در مناطقی که به دور از منابع رطوبتی است باید مسیر ورود سامانه‌های رطوبتی مشخص شود. رودخانه‌های اتمسفری با حرکات مداری و نصف‌النهاری خود، تأثیرات اقلیمی زیادی در منطقهٔ ورودی خود به‌جامی‌گذارد. رودخانه‌های اتمسفری یا ARS از دو نظر اهمیت دارد:

الف) نقش رودخانه‌های اتمسفری در ایجاد سیل و آثار مخرب اقلیمی

ب) نقش رودخانه‌های اتمسفری در تغذیهٔ رطوبت جو.

در مورد منشأ رطوبتی ایران باید گفت که منابع رطوبتی ایران در فاصله‌ای هزاران کیلومتری قراردارد، لذا ARS طویل نقش انتقال رطوبت را به‌عهده دارد. بیشترین تحقیقات در مورد رودخانه‌های اتمسفری در ایالت کالیفرنیای آمریکا انجام شده است. رودخانه‌های اتمسفری بیشتر در مناطق ساحلی دیده می‌شود و در مناطق برون‌حاره که تحت تأثیر بادهای غربی است با جریانی غربی- شرقی، شرق اقیانوس‌ها یا غرب خشکی‌ها (ساحل غربی آمریکای شمالی) را تحت تأثیر خود قرارمی‌دهد (اسمیت و ساندری، ۲۰۰۹). با وجود این، کمتر به رودخانه‌های اتمسفری درون خشکی‌ها توجه شده است. به‌ویژه، در مورد قارهٔ آسیا تحقیقات در این مورد خیلی کم صورت گرفته است. از آنجا که ایران کمتر متأثر از منابع آبی محلی است، شرایط بارش و رطوبتی جو ایران حتی هیدرولوژی ایران متأثر از منابع آبی خارجی است که از مناطق دور توسط عوامل حمل‌کنندهٔ رطوبت به کشور آورده می‌شود (علیجانی، ۱۳۸۷: ۱۰۹). بنابراین، پژوهش دربارهٔ منابع رطوبتی خارجی و عوامل حمل و انتقال آن به ایران اهمیت دارد. به‌ویژه در چند سال اخیر که مناطقی از خاورمیانه به‌ویژه ایران با پدیدهٔ خشکسالی مواجه شده است (پژوهشکدهٔ اقلیم‌شناسی ایران)، پژوهش در مورد رودخانه‌های اتمسفری ضروری است.

مواد و روش‌ها

محدودهٔ مورد مطالعه در این پژوهش فلات ایران است که شرایط آب‌وهوایی آن تحت تأثیر پدیده‌های سینوپتیکی با مقیاس سیاره‌ای است. بنابراین، محدوده‌ای با مشخصات طولی ۱۰ تا ۷۰ درجهٔ شرقی و عرض ۱۰ تا ۷۰ درجهٔ شمالی به گونه‌ای انتخاب شد که تأثیر منابع آبی اقیانوس اطلس، مدیترانه و اقیانوس هند را دربرگیرد. برای مطالعهٔ رودخانه‌های اتمسفری (ARS) از نقشه‌های رودباد (باد U مثبت) و داده‌های رطوبت ویژه (Shum) استفاده شد. دورهٔ زمانی مورد مطالعه، دوره‌ای سه ساله از ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ است. داده‌های آنالیزشده از سایت داده‌ای بازکاوی‌شدهٔ NCEP تهیه و در

محیط نرم‌افزار گردس[1]، نقشه‌های آن ترسیم شد. پس از پیداکردن روزهایی که با پدیدهٔ رودخانهٔ اتمسفری مواجه بود، نقشهٔ رودباد آن روز تهیه شد. همچنین، برای مطالعهٔ چشمه‌های اتمسفری نیز از همین نرم‌افزار، نقشه‌های واگرایی رطوبت برای سطح hp۷۰۰ با استفاده از داده‌های uwnd، vwnd و shum تهیه شد. برای تهیهٔ نقشهٔ رودباد از دو نوع داده استفاده شد که یکی داده‌های جریان مداری (U) و دیگری داده‌های جریان نصف‌النهاری (V) است. بنابر تجربه تراز تروپوسفری که بهتر بتواند مسیر رودبادها را نشان دهد، تراز ۳۰۰ هکتوپاسکالی در نظر گرفته شد. سپس، برای مشخص‌شدن جهت وزش مداری، از نقشهٔ ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ استفاده شد و جهت وزش به درجه استخراج شد که جهت وزش کاملاً مداری، ۲۷۰ درجه است. سپس، جهت رودخانه‌های اتمسفری همان روزها نیز به صورت درجه‌ای استخراج شد. سپس، برای به‌دست آوردن رابطهٔ بین جهت هر کدام از رودخانه‌های اتمسفری با جهت وزش باد تحت عنوان «شاخص وزش مداری» جدولی دو ستونی تهیه شد و جهت هر کدام از رودخانه‌های اتمسفری با جهت وزش مداری همان روز در مقابل هم قرار داده شد. رابطهٔ رودبادها با شاخص مداری پس از وزن‌دهی از طریق ضریب همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزاری SPSS به‌دست آمد. در نهایت، برای تجزیه‌وتحلیل، از هر چهار طبقه، یک ARS انتخاب شد که به منزلهٔ نمونهٔ هر طبقه است و از نظر شکل ظاهری واضح‌تر و اختلاف رطوبت بیشتری با محیط دارد. در پایان، رودباد و نیمرخ ARS آن نیز تهیه شد.

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش نقش رودبادها به منزلهٔ عامل به‌وجودآورندهٔ ARS (نیوئل، ۱۹۹۲) بررسی شد. رودبادها در ایران بیشتر در سطوح ۳۰۰ هکتوپاسکالی دیده می‌شود. ایران متأثر از هر دو نوع رودباد جنب حاره و جبههٔ قطبی است (علیجانی، ۱۳۸۷: ۲۷، ۳۴). بیش از ۹۰ درصد از رودبادهای سازندهٔ ARSها، رودبادهای جنب‌حاره‌ای است که عموماً در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکالی جریان دارد و سرعت آن‌ها به ۷۰m/s می‌رسد و در قسمت جلویی فرود موج بادهای غربی قرارمی‌گیرد. رودخانه‌های اتمسفری ایران از چهار جهت مختلف جنوب‌شرق، جنوب، جنوب‌غرب و غرب وارد ایران می‌شود. ترازی که ARS در آن‌ها جریان دارد در فصول مختلف از سطح ۳۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال را شامل می‌شود. بر اساس این بررسی ۳۹ رودخانهٔ اتمسفری شناسایی شد. مشخصات این ۳۹ رودخانهٔ اتمسفری در جدول ۱ آمده است.

با توجه به جدول ۲، میانگین سالانهٔ رخداد ARS طی دورهٔ مطالعاتی سیزده مورد است که از جهات مختلف وارد کشور می‌شود. در سال ۲۰۱۲ بیشترین رخداد ARS به‌وقوع پیوسته است که ۲۷ درصد آن غربی، ۸ درصد جنوب‌شرقی، ۴۶ درصد جنوب‌غربی و ۱۹ درصد از جنوب بوده است. رودخانه‌های اتمسفری غربی دارای بیشترین رخداد وقوع در ماه فوریه است و در فصل زمستان حدود ۸۰ درصد از آن اتفاق می‌افتد که با ورود بادهای غربی سطوح بالا و عقب‌نشینی پرفشارهای جنب‌حاره‌ای هم‌زمان است. همچنین، ۲۰ درصد آن در اواخر فصل پاییز و در ماه دسامبر به وقوع می‌پیوندد. می‌توان ARS غربی را مختص ارتفاع ۴۰۰ هکتوپاسکالی دانست، زیرا بیش از ۹۰ درصد آن در این ارتفاع شکل

1. GRADS

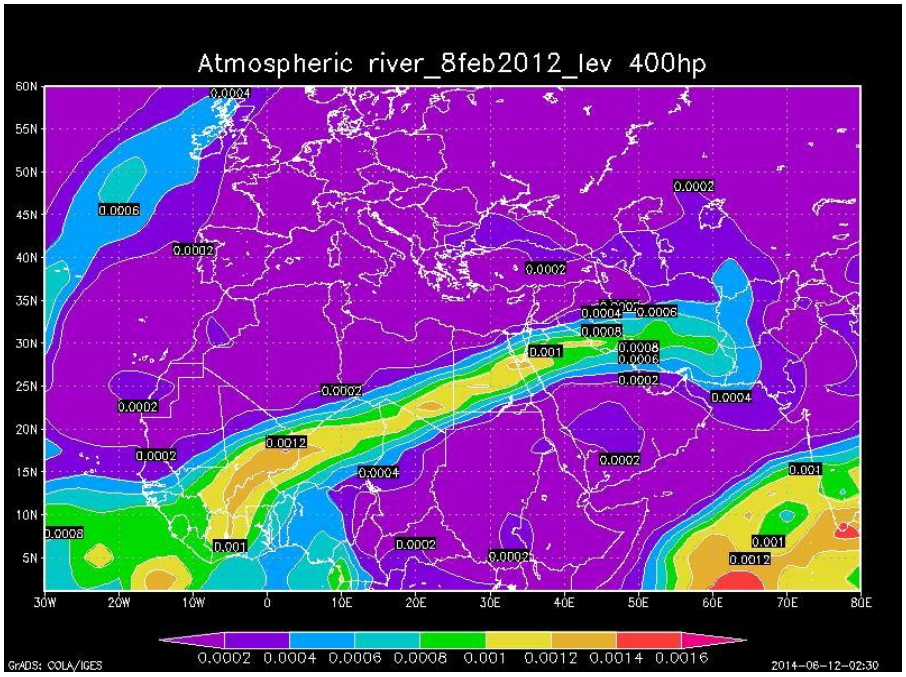
می‌گیرد. ARS جنوب‌شرقی دارای کمترین رخداد است که تنها ۸ درصد از کل رودخانه‌های اتمسفری را شامل می‌شود. از نظر فصلی، این رودخانه‌ها در تابستان بیشتر در ماه اوت و جولای فعال است که اثر فعالیت‌های مونسونی هند به ایران می‌رسد. تراز رودخانه‌های جنوب‌شرقی سطح ۶۰۰ هکتوپاسکالی است که نسبت به ARS غربی که در ارتفاع ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی جریان دارد بالاتر است. رطوبت جنوب ایران بیشتر در سطوح پایین‌تر از ۷۰۰ هکتوپاسکالی صورت می‌گیرد، هرچند که در سطوح ۳۰۰ و ۴۰۰ هکتوپاسکالی هم دیده شده است (قویدل و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۱).

جدول ۱. تاریخ و تراز رودخانه‌های اتمسفری ایران طی دورهٔ سه ساله (۲۰۱۱-۲۰۱۳)

تاریخ وقوع رخداد	جهت	سطح (هکتوپاسکال)					درصد وقوع
		۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	
۲ژانویهٔ ۲۰۱۲	غربی		*				
۴فوریهٔ ۲۰۱۱	غربی		*				
۵دسامبر ۲۰۱۲	غربی		*				
۵دسامبر ۲۰۱۱	غربی		*				
۸فوریهٔ ۲۰۱۲	غربی		*				
۱۲فوریهٔ ۲۰۱۲	غربی		*				۲۷
۱۵دسامبر ۲۰۱۲	غربی	*					
۱۵فوریهٔ ۲۰۱۲	غربی		*				
۲۶ژانویهٔ ۲۰۱۲	غربی		*				
۲۹فوریهٔ ۲۰۱۲	غربی		*				
۳ جولای ۲۰۱۲	جنوب‌شرقی				*		
۱۳اوت ۲۰۱۳	جنوب‌شرقی				*		۸
۲۴اوت ۲۰۱۳	جنوب‌شرقی				*		
۶ژانویهٔ ۲۰۱۱	جنوب‌غربی		*				
۱۰آوریل ۲۰۱۱	جنوب‌غربی		*				
۱۰ژانویه ۲۰۱۳	جنوب‌غربی					*	
۱۰نوامبر ۲۰۱۲	جنوب‌غربی		*				
۱۱ مارس ۲۰۱۱	جنوب‌غربی				*		
۱۳دسامبر ۲۰۱۳	جنوب‌غربی					*	
۱۳ژانویه ۲۰۱۲	جنوب‌غربی				*		۴۶
۱۳ مارس ۲۰۱۲	جنوب‌غربی			*			
۱۵ می ۲۰۱۱	جنوبغربی				*		
۱۵نوآمبر ۲۰۱۱	جنوب‌غربی				*		
۱۷ مارس ۲۰۱۲	جنوب‌غربی		*				
۱۹نوامبر ۲۰۱۳	جنوب‌غربی					*	

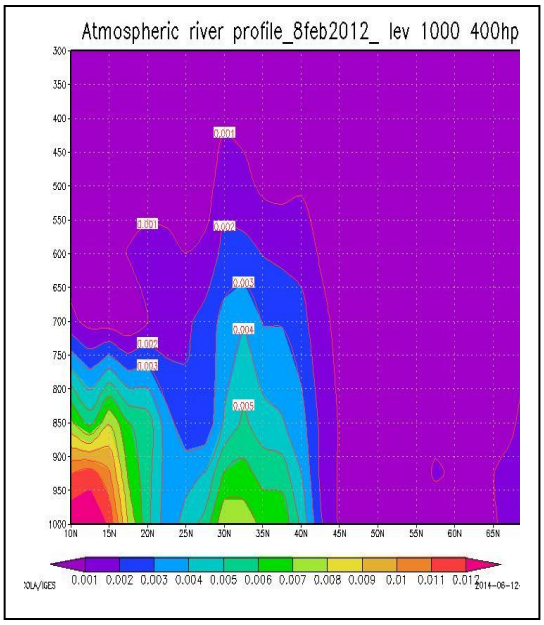
ادامه جدول ۱. تاریخ و تراز رودخانه‌های اتمسفری ایران طی دورهٔ سه ساله (۲۰۱۱-۲۰۱۳)

تاریخ وقوع رخداد	جهت	سطح (هکتوپاسکال) ۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	درصد وقوع
۱۹اکتبر ۲۰۱۳	جنوب‌غربی					*	
۲۱نوامبر ۲۰۱۱	جنوب‌غربی				*		
۲۲دسامبر ۲۰۱۲	جنوب‌غربی					*	
۲۵فوریه ۲۰۱۱	جنوب‌غربی		*				
۲۶اکتبر ۲۰۱۱	جنوب‌غربی					*	
۲۷اکتبر ۲۰۱۳	جنوب‌غربی				*		
۶ آوریل ۲۰۱۳	جنوبی					*	
۶ مارس ۲۰۱۳	جنوبی					*	
۸ژانویه ۲۰۱۲	جنوبی					*	
۱۱نوامبر ۲۰۱۳	جنوبی					*	
۱۶ مارس ۲۰۱۱	جنوبی		*				
۱۹ژانویهٔ ۲۰۱۱	جنوبی					*	۱۹
۲۵دسامبر ۲۰۱۲	جنوبی					*	
۲۷ می ۲۰۱۳	جنوبی				*		

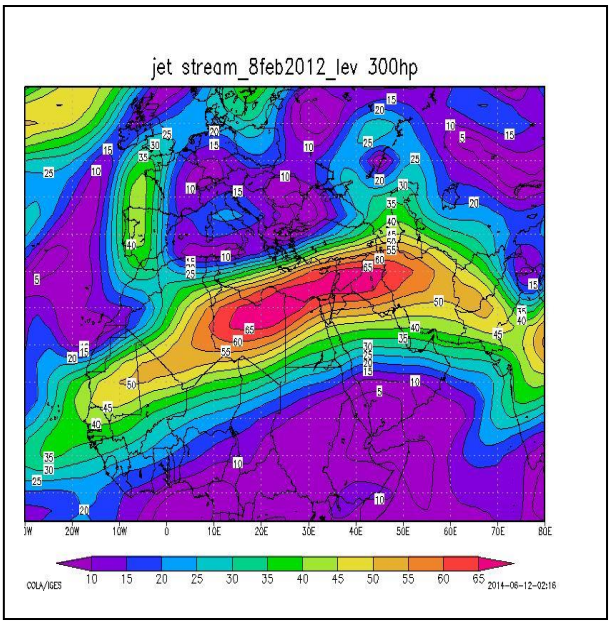


شکل ۱. رطوبت ویژه در تراز ۴۰۰ هکتوپاسکالی، رودخانهٔ اتمسفری غربی در ۸ فوریهٔ ۲۰۱۲

در حدود ۶۰ درصد از رودخانه‌های اتمسفری در فصل پاییز اتفاق افتاده است و در رتبهٔ بعدی فصل زمستان اهمیت دارد. علت این امر را باید در وزش بادهای غربی جستجو کرد که با آغاز فصل سرد شروع می‌شود. رودبادها نیز در جنوب بادهای غربی تشکیل می‌شود و به همراه آن حرکت می‌کنند (علیجانی، ۱۳۸۷: ۲۹۱). مسیر دیگر ARS، جنوبی است که از نظر فصل وقوع، آن را جزء بی‌نظم‌ترین رودخانه‌های اتمسفری قرارمی‌دهند که به جز فصل تابستان در همهٔ فصول اتفاق افتاده است. از نظر تعداد رخداد، دارای رتبهٔ سوم است و تنها ۱۹ درصد از کل ARS را شامل می‌شود. رودخانه‌های اتمسفری جنوبی بیشتر در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی جریان دارد و به‌ندرت در سطوح دیگر دیده شده است.



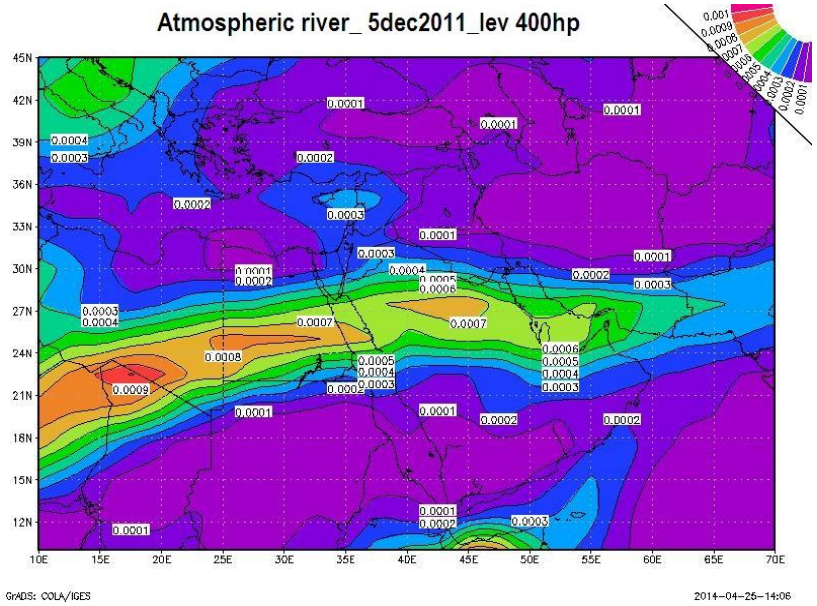
شکل ۲. نیمرخ عمودی رطوبت ویژه، رودخانهٔ اتمسفری غربی در ۸ فوریهٔ ۲۰۱۲ (عرض ۱۰-۷۰ درجهٔ شمالی و طول ثابت ۴۷ درجه)



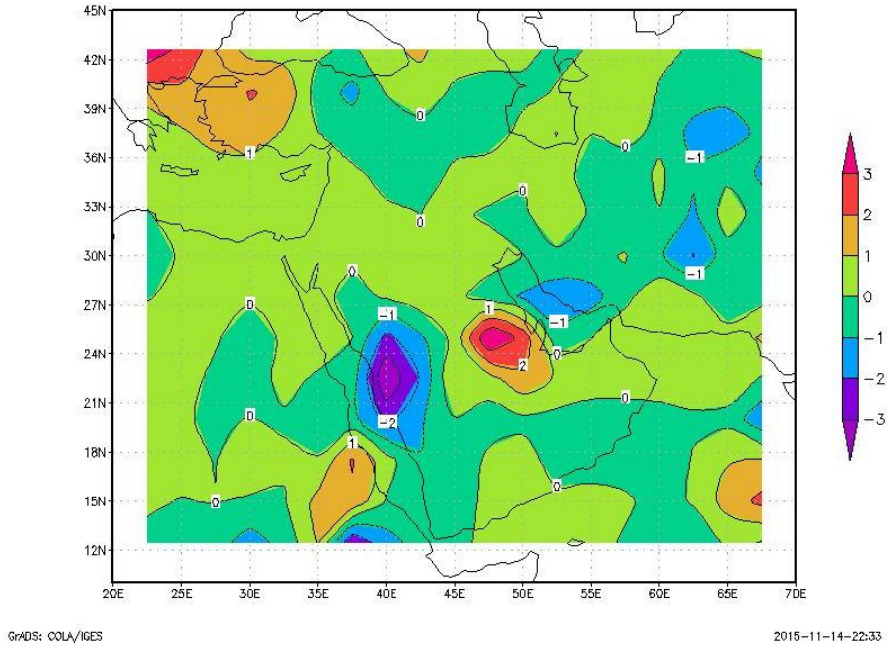
شکل ۳. سرعت باد در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال ۸ فوریهٔ ۲۰۱۲؛ جریان رودباد در این تراز با مسیر ورود رطوبت هماهنگ است.

باد جهت شمال‌شرقی منشعب‌شده که ویژگی ARS کامل را نشان می‌دهد. در مرکز این ARS، رطوبت ۶ برابر محیط اطرافش است. همانند اغلب رودخانه‌های اتمسفری با منشأ اقیانوس اطلس که با رطوبت همراه است، مقدار رطوبت در این رودخانهٔ اتمسفری نیز به 1g/kg هوای خشک می‌رسد. طول آن ۹۰۰۰km و عرض آن به ۷۰۰km است. این رودخانه در اطلس مرکزی شروع به شکل‌گیری می‌کند و همراه با رودبادها به سمت غرب در حرکت است. در بخش پایینی رودباد، یعنی در سطح ۴۰۰ هکتوپاسکالی، ARS به سمت شمال دریای سرخ و سپس به سمت ایران حرکت می‌کند و رطوبت را به جو بالایی ایران می‌رساند (شکل ۲). سرعت این رودباد به ۶۵ متر در ثانیه می‌رسد (شکل ۳). بر اساس پروفیل این ARS، مقدار ضخامت رطوبت در عرض ۳۳ درجه، از سطح زمین تا سطح ۴۰۰ هکتوپاسکالی گسترش

دارد. در رودخانهٔ اتمسفری ۵ دسامبر ۲۰۱۱، خلیج‌فارس و دریای سرخ دو چشمهٔ اتمسفری[1] تقویتی و تغذیه‌کنندهٔ رطوبتی در طول مسیر ARS است (شکل ۴) که می‌توان در نقشهٔ همگرایی/ واگرایی جریان رطوبت در شکل ۵ آن را مشاهده کرد. ارقام منفی واگرایی شار رطوبت و ارقام مثبت همگرایی شار رطوبت را نشان می‌دهد.



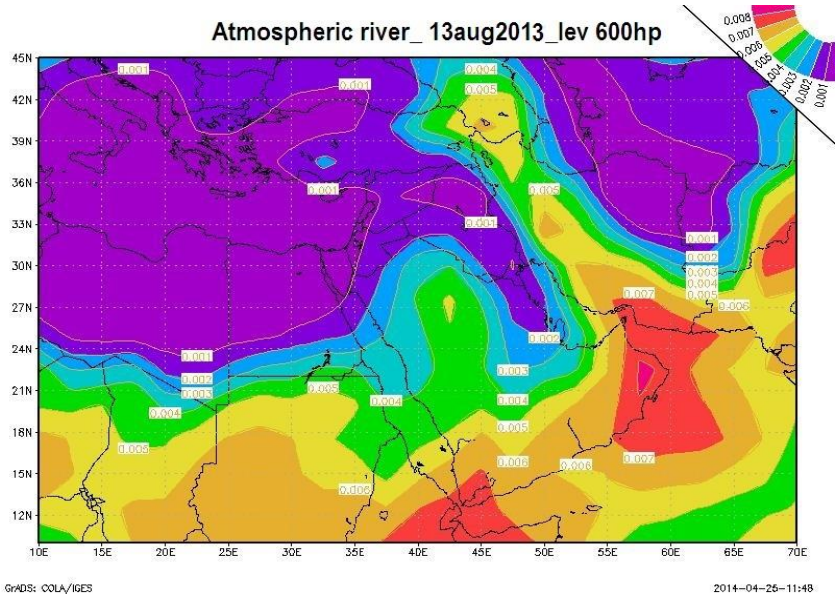
شکل ۴. رطوبت ویژه در تراز ۴۰۰ هکتوپاسکالی، رودخانهٔ اتمسفری غربی در ۵ دسامبر ۲۰۱۱



شکل ۵. نقشهٔ همگرایی / واگرایی جریان رطوبت، سطح hp۷۰۰، ۵ دسامبر ۲۰۱۱ (ارقام منفی: واگرایی، ارقام مثبت: همگرایی)

1. atmospheric waterspout

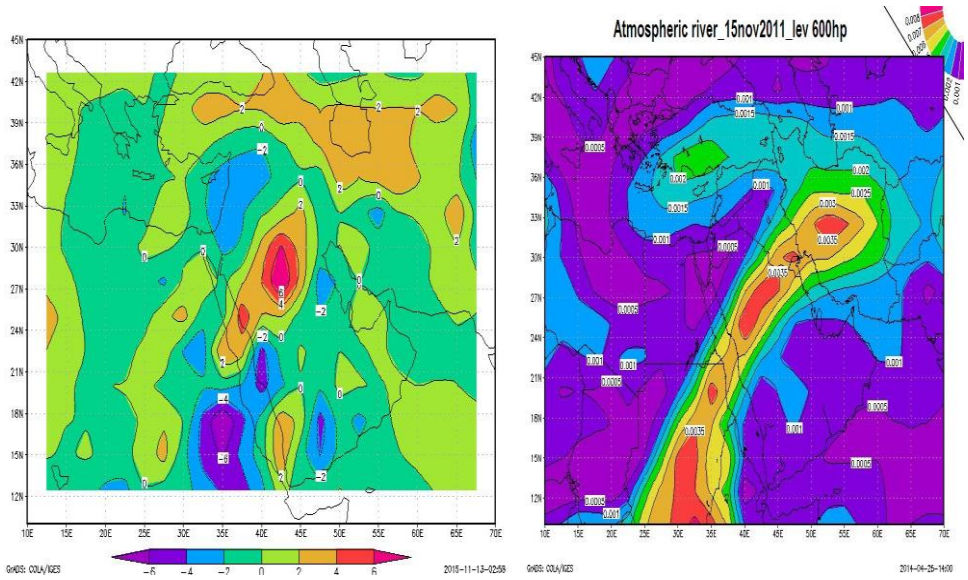
ARSجنوب‌شرقی ایران، از جمله محدودترین رودخانه‌های اتمسفری ایران است (شکل ۶)، که نسبت رخداد آن به کل ARS به حدود ۸ درصد می‌رسد. این رودخانه‌ها برخلاف ARS غربی، دارای حرکت نصف‌النهاری است. طول آن‌ها بسیار کمتر از ARS غربی است و در اوج خود به ۱۶۰۰ کیلومتر طول و ۵۰۰ کیلومتر عرض می‌رسد. در طول دورهٔ مطالعه، تنها دو رودخانهٔ جنوب‌شرقی مشاهده شد که در سطوح ۶۰۰ هکتوپاسکالی شکل گرفته است. می‌توان این ARS را رودخانه‌های اتمسفری دورهٔ گرم سال نامید، زیرا هم‌زمان با فعالیت مونسون هند در ماه جولای و اوت به‌وجود می‌آید. مسیر حرکت آن‌ها از جنوب‌شرق به شمال‌غرب است و از مرکز ایران می‌گذرد. این ARها از اقیانوس هند و دریای عمان منشأ می‌گیرد و در سطحی پایین‌تر نسبت به ARSهای غربی قراردارد. مقدار رطوبت در آن‌ها بیش از ARSهای غربی است. مقدار رطوبت در آن‌ها ۶ گرم در هر کیلوگرم از هواست و ۷ برابر مرطوب‌ترین ARS غربی رطوبت دارد.



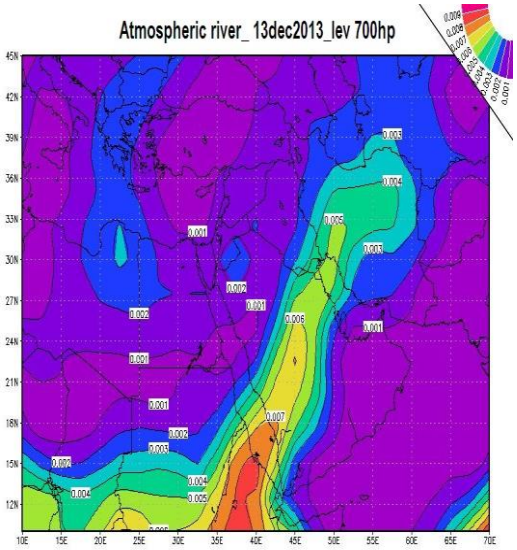
شکل ۶. رطوبت ویژه در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکالی، رودخانهٔ اتمسفری جنوب‌شرقی ۱۳اوت ۲۰۱۳

رودخانه‌های اتمسفری جنوب‌غربی بیشترین فراوانی وقوع را دارد. سهم آن در ARهای ایران برابر با ۴۶ درصد است. این رودخانه‌های اتمسفری با مسیر جنوب‌غربی شمال‌شرقی به سمت ایران حرکت می‌کند. طول آن در حدود ۵۰۰۰ کیلومتر و پهنای آن ۱۱۰۰ کیلومتر است. علت تشکیل این رودخانه‌ها، متأثر از رودبادهاست و زمانی به‌وجود می‌آید که رودباد در جلو فرود قراردارد و جهت آن جنوب‌غربی- شمال‌شرقی است. در ۱۵نوامبر ۲۰۱۱ ARSای در سطح ۶۰۰ هکتوپاسکالی شکل گرفته است این ARS در عرض‌های پایین از طریق چشمه‌های اتمسفری کم‌فشار سودانی و دریای سرخ و در عرض‌های بالا از طریق چشمهٔ اتمسفری دریای مدیترانه تغذیه و تقویت می‌شود (شکل ۷). پروفیل ارتفاعی رودباد نشان می‌دهد که دارای هستهٔ مرکزی در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکالی است و تا ارتفاع ۷۵۰ هکتوپاسکالی ضخامت دارد. این رودباد باعث شکل‌گیری رودخانهٔ اتمسفری در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکالی شده که رطوبت را به میزان ۳g/kg در هوا برای ایران مرکزی به ارمغان آورده است. در ۱۳ دسامبر ۲۰۱۳ رودبادی با همین وضعیت و با سرعت

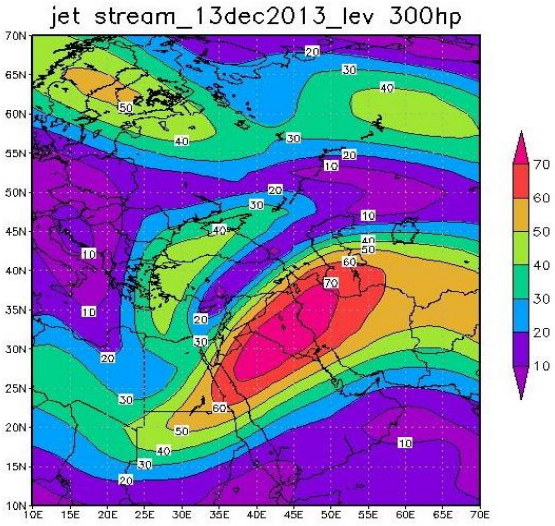
مرکزی ۷۰ متر بر ثانیه از سمت دریای سرخ به طرف شمال‌غرب ایران تشکیل شده است. ضخامت این رودباد بر اساس نیمرخ عمودی از تراز ۲۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکال گسترش دارد. در همین زمان ARS جنوب‌غربی را در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکالی به‌وجود آورده است. شکل ۸ نشان می‌دهد که رودخانهٔ اتمسفری در بخش تحتانی این رودباد شکل گرفته است. ARS جنوب‌غربی دارای میانگین عمری ۸ روزه است. این رودخانه‌ها برخلاف رودخانه‌های اتمسفری غربی که در سطوح بالا به‌وجود می‌آید بیشتر در سطوح پایین و ۷۰۰ و ۶۰۰ شکل می‌گیرد (شکل۸).



شکل ۷. رطوبت ویژه در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکالی رودخانهٔ اتمسفری جنوب‌غربی ۱۵ نوآمبر ۲۰۱۱ (سمت راست) و نقشهٔ همگرایی و واگرایی جریان رطوبت، سطح hp ۷۰۰، ۱۵ نوامبر ۲۰۱۱ (سمت چپ)

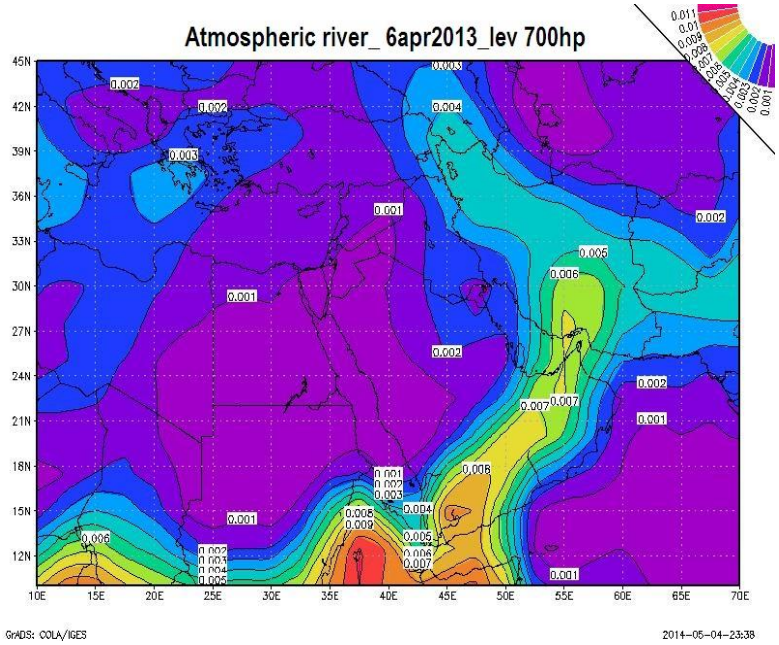


شکل ۸. رطوبت ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی، رودخانهٔ اتمسفری جنوب‌غربی ۱۳ دسامبر ۲۰۱۳



شکل ۹. سرعت باد در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکالی، هستهٔ رودباد در غرب ایران قراردارد. رودخانهٔ اتمسفری جنوب‌غربی ۱۳ دسامبر ۲۰۱۳

رودخانه‌های اتمسفری جنوبی، گروه چهارم از رودخانه‌های اتمسفری ایران است. این دسته از رودخانه‌های اتمسفری، ۱۹ درصد از سهم رودخانه‌های اتمسفری ایران را دارد. طول آن از نظر گستردگی، تا مرزهای شمالی کشور گسترده شده و رطوبت زیادی را با خود حمل می‌کند. این ARS در ترازهای پایین‌تر تروپوسفر یعنی سطح ۷۰۰ هکتوپاسکالی دیده می‌شود. در نتیجه به منابع رطوبتی سطح زمین هم نزدیک‌تر است. از نظر ایجاد بارندگی، ARS جنوبی، بیشتر در مناطق جنوبی تأثیرگذار است. اثر ناهمواری‌ها، به‌ویژه در مسیر حرکت این رودخانه‌های اتمسفری، باعث تقویت آن‌ها و افزایش بارش حاصل از آن‌ها در دامنه‌های رو به باد است. شکل ۱۰ رودخانهٔ اتمسفری ۶ آوریل ۲۰۱۳ را در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. رطوبت ویژه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی، رودخانهٔ اتمسفری جنوبی ۶ آوریل ۲۰۱۳

جدول ۲ ، ویژگی رودخانه‌های اتمسفری ایران را نشان می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد که ARS جنوبی دارای کمترین ارتفاع است و تقریباً همهٔ آن در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکالی تشکیل و حرکت می‌کند. اختلاف ارتفاع بین آن‌ها به ۳۰۰ هکتوپاسکال می‌رسد. ARS های غربی بیشترین ارتفاع را نسبت به بقیه دارد. بین ارتفاع و مقدار رطوبت در رودخانه‌های اتمسفری ایران رابطهٔ معکوس وجود دارد. کمترین مقدار رطوبت مربوط به ARSهای غربی است با بیشترین ارتفاع و بیشترین مقدار رطوبت به ARSهای جنوبی و جنوب‌غربی تعلق دارد. رودخانه‌های اتمسفری جنوبی علی‌رغم رطوبت زیاد، ضخامت زیادی نیز دارد که از سطح ۷۰۰ تا ۴۲۰ هکتوپاسکال گسترش دارد. کم‌عمق‌ترین آن‌ها، ARSهای جنوب‌شرقی و غربی است. از نظر مشخصات طول و پهنا یا عرض، می‌توان ARS غربی را در اولویت قرارداد، زیرا طول بعضی رودخانه‌های اتمسفری غربی حتی تا ۹۰۰۰ کیلومتر هم می‌رسد و عرض آن‌ها حداکثر تا ۱۳۰۰ کیلومتر

گسترده می‌شود. کوتاه‌ترین و کم‌عرض‌ترین رودخانه‌ها در جنوب‌شرق واقع شده است اما رطوبت زیادی با خود حمل می‌کند. دلیل فراوانی رطوبت در آن‌ها به علت هوای گرم با ظرفیت بالای رطوبتی است. از نظر زمان وقوع نیز تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای بین ARSها دیده می‌شود. رودخانه‌های اتمسفری جنوبی و جنوب‌غربی را می‌توان به جز در فصل گرم، در همهٔ فصول مشاهده کرد؛ در حالی که رودخانه‌های اتمسفری غربی فقط در فصل زمستان و رودخانه‌های جنوب‌شرقی در فصل تابستان مشاهده شده است. ARSها بیشتر در سطوح میانی و بالایی تروپوسفر جریان دارد. ارتفاع آن‌ها با میزان بارش رابطهٔ ناقص معکوس دارد. مقدار بارش در رودخانه‌های اتمسفری ابتدا به میزان رطوبت موجود در آن‌ها و در مرحلهٔ بعد به تراز ارتفاعی آن‌ها وابسته است.

جدول ۲. ویژگی‌ها و مشخصات رودخانه‌های اتمسفری ایران

ویژگی‌ها	ارتفاع(HP)ARS	حداکثر رطوبت (g) در kg هوا	پهنا(KM)	عمق(HP)	فصل وقوع	طول(km)
ARS جنوبی	۷۰۰	۷g/kg	۸۰۰–۶۵۰	۷۰۰–۴۲۰	نوامبر تا می	۲۵۰۰
ARSجنوب‌شرقی	۶۰۰	۶g/kg	۵۵۰–۵۰۰	۶۰۰–۵۰۰	جولای تا اوت	۱۶۰۰
ARS جنوب‌غربی	۷۰۰–۴۰۰	۷g/kg	۱۱۰۰–۷۵۰	۷۰۰–۴۰۰	اکتبر تا می	۵۰۰۰
ARSغربی	۴۰۰	۱g/kg	۱۳۰۰–۶۵۰	۵۰۰–۴۰۰	دسامبر تا فوریه	۹۰۰۰

رابطهٔ بین ARSها با شاخص باد مداری

بادهای سطوح بالا و میانی تروپوسفر، متناسب با تغییرات مکانی چرخندگی، دارای وزش مداری یا نصف‌النهاری است. نوع وزش و شدت آن از محاسبهٔ شاخص وزش مداری معلوم می‌شود. در وزش مداری، بادهای غربی تقریباً موازی مدارات می‌وزد و تفاوت‌های مداری در شرایط آب‌وهوایی کمتر است (علیجانی، ۱۳۹۰: ۶۲). در شاخص وزش مداری بالا، بادها دارای جهت غربی– شرقی است و در شاخص مداری ضعیف، جهت بادها از غربی– شرقی به حالت شمالی– جنوبی تغییر جهت می‌دهد. با توجه به جدول ۴ می‌توان مشاهده کرد که رابطهٔ بین ARS با شاخص مداری در هر ردیف متفاوت است و با توجه به جهت ARS میزان رابطه فرق می‌کند. رودخانه‌های اتمسفری غربی با توجه به سطح ارتفاعی زیادی که دارد در دوره‌هایی می‌وزد که عمدتاً بادهای غربی حاکم است و شاخص مداری قوی وجود دارد (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۶: ۲۹۹). لذا، ARSها با شاخص مداری همبستگی بالایی دارد. هسته‌های رودباد در بادهای غربی با داشتن سازوکار مکش یا ایجاد شرایط واگرایی، عامل به‌وجودآورندهٔ این نوع رودخانه‌های اتمسفری است. در رتبهٔ دوم و سوم به ترتیب میزان همبستگی، ARSجنوب‌غربی و جنوبی قراردارد. در حدود نیمی از رودخانه‌های جنوب‌غربی با شاخص مداری رابطه دارد. در ارتباط با ARS جنوب‌شرقی، شاخص مداری ضعیف حاکمیت دارد و جهت وزش باد از حالت غربی–شرقی خارج می‌شود و تقریباً جهت جنوبی– شمالی به خود می‌گیرد و جهت رودخانهٔ اتمسفری با شاخص وزش مداری ضعیف یا (نصف‌النهاری) رابطه دارد (جدول ۳).

جدول ۳. رابطهٔ بین رودخانه‌های اتمسفری با شاخص باد مداری

جهت ARS	مقدار رابطه بین ARS با شاخص مداری در تراز ۵۰۰hpa
غربی	٪۸۵
جنوب‌غربی	٪۵۳
جنوبی	٪۲۸

جذب رطوبت ARSها و چشمه‌های اتمسفری

رودخانه‌های اتمسفری با توجه به گسترهٔ مداری و نصف‌النهاری خود، عمدتاً از منابع آبی بزرگ و دوردست، مانند اقیانوس اطلس و هند منشأ می‌گیرد و به‌وسیلهٔ رودبادها به نقاط دیگر منتقل می‌شود. حدود نیمی از آن منشأ دوگانه دارد که از رطوبت مشترک دو اقیانوس مذکور برخوردار است. محل تلاقی آن‌ها قارهٔ آفریقاست و به صورت ARSهای جنوب‌غربی وارد کشور می‌شود. رودخانه‌های اتمسفری غربی، تقریباً به‌طور کامل از اطلس سرچشمه می‌گیرد. بخشی از ARSهای جنوب‌غربی نیز از اقیانوس اطلس می‌آید. منشأ رودخانه‌های اتمسفری جنوب‌شرقی نیز اقیانوس هند است.

رودخانه‌های اتمسفری در مسیرهای طولانی و هزار کیلومتری خود، از نظر مقدار رطوبت دچار تغییرات زیادی می‌شود. بعضی پهنه‌های آبی نقش تقویتی و تغذیه‌کنندگی رطوبت ARS را دارد و چشمه‌های اتمسفری نام دارد. علت نامگذاری این مناطق جوی به چشمه‌های اتمسفری، این است که اتمسفر بالای منابع آبی محلی و دارای مقیاسی کوچک‌تر از اقیانوس‌ها، رطوبت بیشتری دارد. این منابع آبی محلی، تغذیه‌کنندهٔ رودخانه‌های اتمسفری است و در افزایش رطوبت آن‌ها بسیار مؤثر است. دریای عمان، دریای مدیترانه، خلیج فارس و دریای سرخ و کم‌فشار سودانی از مهم‌ترین چشمه‌های اتمسفری منطقه محسوب می‌شود (جدول ۴).

جدول ۴. منشأ جذب رطوبت ARSها و چشمه‌های اتمسفری آن

منشأ	چشمه‌های اتمسفری (مناطق تقویت‌کننده)
اقیانوس اطلس	دریای سرخ و مدیترانه
اقیانوس هند	دریای عمان
اقیانوس اطلس– هند	دریای سرخ، خلیج‌فارس، دریای مدیترانه

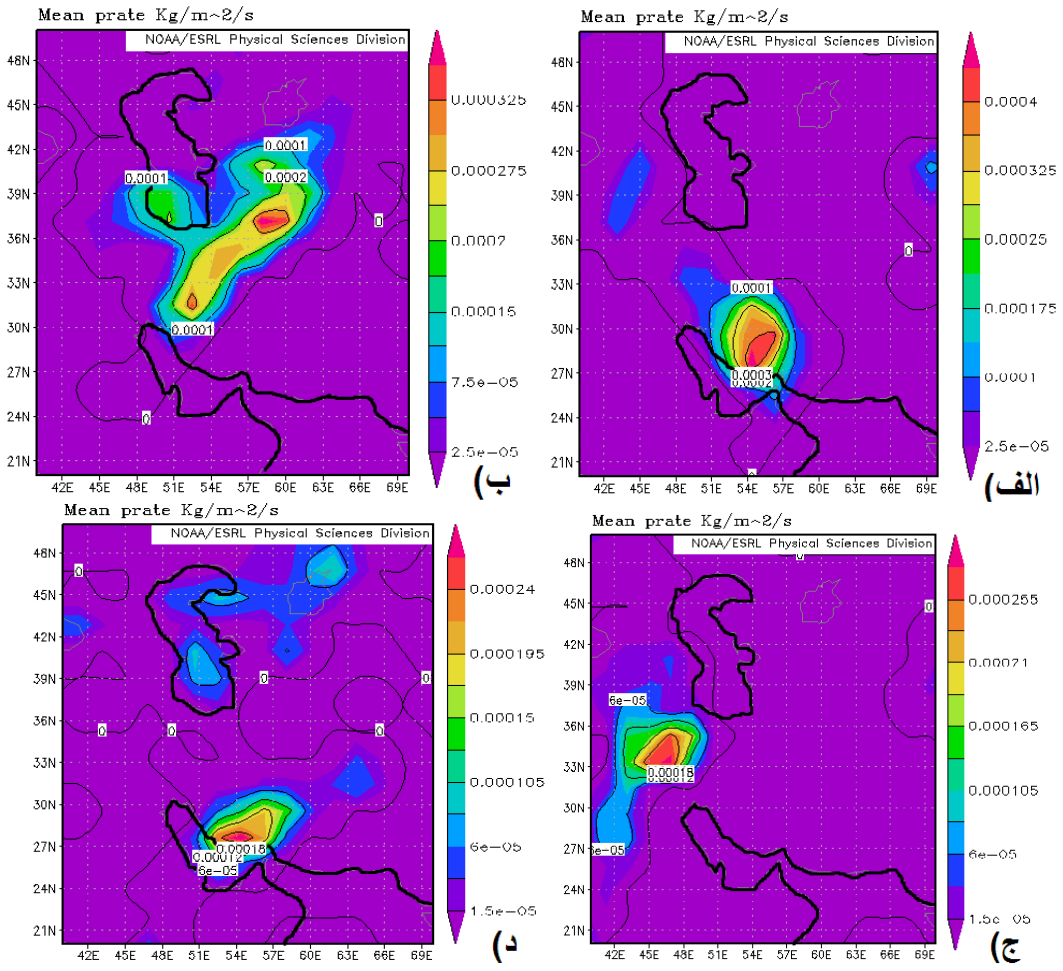
بارش در ARSها

رودخانه‌های اتمسفری ایران از جهات مختلفی وارد کشور می‌شود و چنانکه قبلاً اشاره کردیم همه ارتفاع و رطوبت یکسانی ندارد و به عواملی از جمله دوری و نزدیکی به منابع آبی و طول مسیر و قدرت مکش رودبادها بستگی دارد. به‌طور میانگین، میزان رطوبت در رودخانه‌های اتمسفری ایران حدود هفت برابر محیط اطرافش است که نشان از وجود اختلاف رطوبتی زیادی دارد که در محیط ایجاد می‌کند. رودخانه‌های اتمسفری غربی نسبت به دیگر رودخانه‌ها، کمترین مقدار رطوبت را با خود حمل می‌کند، زیرا:

۱. طولانی‌بودن مسیر حمل رطوبت از مبدأ (اقیانوس اطلس) تا مقصد و ازدست‌دادن رطوبت زیاد در طول مسیر

۲. ارتفاع بالای رودخانه‌های اتمسفری غربی نسبت به دیگر رودخانه‌ها و مطابقت با اصل رابطهٔ معکوس مقدار بخار آب با ارتفاع.

رودخانه‌های اتمسفری، نقش مؤثر و تقویتی در رخداد بارش ایفا می‌کند. در بررسی نقشه‌های بارشی، ARSهای غربی بارش کمتری دارد. در بین رودخانه‌های اتمسفری، بیشترین بارش به رودخانه‌های اتمسفری جنوبی اختصاص دارد (شکل ۱۱). با توجه به نقشهٔ شکل ۱۱الف، بارش‌های رودخانه‌های اتمسفری جنوبی در نواحی جنوبی ایران بسیار بااهمیت است. مقدار آن در هر مترمربع حدود ۴ گرم بوده است. شکل ۱۱ب گستردگی بارش ARS در ۶ مارس ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد که با روندی از جنوب‌غرب ایران شروع شده و تا مرزهای شمال‌شرقی ایران ادامه داشته و سبب بارش در نواحی مرکزی هم شده است. نقشه‌های میانگین بارشی روزانه در شکل ۱۱ج و ۱۱د نشان داده شده است. این شکل نقشهٔ هم‌بارش نواحی غربی و سواحل خلیج فارس را نشان می‌دهد. بارش‌های فراوان رودخانه‌های اتمسفری جنوبی عمدتاً به دلیل وجود شرایط دینامیکی مهیاشده در جو بالا توسط رودباد و با ایجاد حالت همگرایی در بخش زیرین خود و به دلیل وجود رطوبت زیاد و سطح ارتفاعی پایین رودخانه‌های اتمسفری است. این بارش‌ها سبب ایجاد سیلاب‌های مخرب هم شده است؛ از جمله، بارش ۶ آوریل ۲۰۱۳ سبب افت ۱۳ درجه‌ای دما در سیستان و بلوچستان و بارش شدید و آبگرفتگی معابر در آب پخش بوشهر و رعد و برق و بارش تگرگ در کرمان شده است. در موردی دیگر، در ۶ مارس ۲۰۱۳ سیلاب و آبگرفتگی معابر را در بروجرد سبب شده است.



شکل ۱۱. نقشه‌های میانگین بارش روزانه ($kg/m^2/s$) الف) ۶ آوریل ۲۰۱۳، ب) ۶ مارس ۲۰۱۳، ج) ۱۱ نوامبر۲۰۱۳، د) ۱۹ ژانویهٔ ۲۰۱۱

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه، مطالعات اقلیمی در ارتباط با مخاطرات متنوع آب‌وهوایی، مانند کم‌آبی و وقوع سیلاب‌ها، مبحث مهم جهانی است. ایران از جمله کشورهایی است که به‌ویژه طی چند سال اخیر با پدیدهٔ کمبود آبی و در بعضی نقاط با پدیدهٔ مخرب سیلاب‌های شدید مواجه شده است. بنابراین، ضروری است که به پژوهش در مورد رودخانه‌های اتمسفری، برای شناسایی مسیرهای ورودی رطوبتی و بارشی در سطوح مختلف تروپوسفری پرداخته شود. در این پژوهش ARSهای ایران شناسایی شد. برای این کار ابتدا برای دوره‌ای سه ساله (۲۰۱۱–۲۰۱۳)، روزهای همراه با رخداد پدیدهٔ رودخانهٔ اتمسفری استخراج شد. برای این کار از داده‌های دوباره پردازش‌شدهٔ رطوبت ویژه (shum) و برگرفته از سازمان نوآ استفاده شد. سپس، با استفاده از داده‌های Vwind و Uwind، نقشهٔ رودبادهای همراه با این پدیده تهیه شد. با توجه به تحقیقات نیوئل (۱۹۹۲) رودبادها عامل به‌وجودآورندهٔ رودخانه‌های اتمسفری است. بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش نیز نشان داد که رودبادها نقش اولیه و مؤثر در تشکیل رودخانه‌های اتمسفری دارد. نتایج نشان داد که میانگین سالانهٔ این رخداد برای کشور ایران طی دورهٔ مطالعهٔ سه ساله، سیزده مورد بوده است. مسیر ورود این رودخانه‌های اتمسفری متفاوت است. رودخانه‌های اتمسفری به چهار دستهٔ جنوب‌شرقی، جنوبی، جنوب‌غربی و غربی تقسیم می‌شود. ویژگی‌های رطوبتی و زمانی رخداد آن‌ها کاملاً متفاوت از هم است. ARSهای غربی دارای بیشترین وقوع در ماه فوریه است و در حدود ۸۰ درصد از آن‌ها در فصل زمستان اتفاق می‌افتد که هم‌زمان است با اوج ورود بادهای سطوح بالا و عقب‌نشینی پرفشار جنب‌حاره‌ای. همچنین، ۲۰ درصد آن‌ها هم در اواخر فصل پاییز و در ماه دسامبر به‌وقوع می‌پیوندد. می‌توان ARS غربی را مختص ارتفاع ۴۰۰ هکتوپاسکالی دانست. بیش از ۹۰ درصد آن‌ها در این ارتفاع قراردارد. رودخانه‌های اتمسفری جنوب‌شرقی تنها ۸ درصد از کل رودخانه‌های اتمسفری را شامل می‌شود. از نظر فصلی، این رودخانه‌ها در تابستان و بیشتر در ماه اوت و جولای اتفاق می‌افتد که دلیل آن در ارتباط با اوج فعالیت مونسون‌های هند است. تراز حرکت این رودخانه‌های اتمسفری سطح ۶۰۰ هکتوپاسکالی است و نسبت به ARSهای غربی دارای ارتفاع کمتری است.

رودخانه‌های اتمسفری جنوب‌غربی را می‌توان مهم‌ترین مسیر اصلی ورود ARSها به ایران دانست، زیرا در حدود ۴۶ درصد از ARSها منشأ جنوب‌غربی دارد. این رودخانه‌های اتمسفری بیشتر در ترازهای پایین و ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی جریان دارد. ۶۰ درصد از رودخانه‌های اتمسفری جنوب‌غربی در فصل پاییز اتفاق افتاده است. در رتبهٔ دوم، فصل زمستان قرار دارد این رودخانه‌ها در طول مسیر معمولاً با چشمه‌های اتمسفری کم‌فشار سودانی و دریای سرخ و خلیج‌فارس تغذیه و تقویت می‌شود.

مسیر دیگر رودخانه‌های اتمسفری منشأ جنوبی دارد که از نظر فصل وقوع، جزء بی‌نظم‌ترین رودخانه‌های اتمسفری قرارمی‌گیرد. از نظر تعداد رخداد، دارای رتبهٔ سوم است و تنها ۱۹ درصد از کل ARSها را شامل می‌شود. از این مسیر، رودخانه‌های اتمسفری در تراز hpa ۷۰۰ جریان دارد. رودخانه‌های اتمسفری سبب ایجاد اختلاف رطوبتی زیادی در جو می‌شود، زیرا رطوبت موجود در هستهٔ این رودخانه‌های اتمسفری حدود هفت برابر محیط اطراف است.

از نظر میزان بارش، ARSهای جنوبی در رتبهٔ اول قرار دارد. دلیل آن این است که تراز رخداد رودبادهای آن پایین‌تر از بقیه است و متعاقباً قدرت مکش و همگرایی بیشتری را برای جذب رطوبت دارد. به دلیل اینکه منشأ آن‌ها از

اقیانوس هند است و با دو چشمهٔ اتمسفری دریای عمان و خلیج‌فارس تقویت می‌شود، بارش‌های سیل‌آسا را بـه همـراه دارد. از نظر گسترش بارش نیز تا نواحی شمال‌شرقی کشور کشیده می‌شود.

در بررسی ارتباط رودخانه‌های اتمسفری با شاخص مداری به ترتیب اولویت، ARSهای جنوبی، جنوب‌غربی و غربی به ترتیب دارای همبستگی‌های ۲۸، ۵۳، ۸۵ درصدی است. رودخانه‌های اتمسفری ایران از دو منطقهٔ اقیـانوس اطلـس و اقیانوس هند یا هر دو سرچشمه می‌گیرد و به‌وسیلهٔ رودبادها حمل و وارد کشور می‌شود. رودخانـه‌هـای اتمسـفری سـبب رخداد مخاطرات اقلیم از جمله توفان‌های بزرگ و سیلاب‌ها در برخی نواحی ایران شده اسـت. رودخانـه‌هـای اتمسـفری سبب ایجاد سیلاب و آبگرفتگی‌های شدید در سطح شهرهایی همچون کرمان، سیستان و بلوچسـتان، آبـپخش بوشـهر و بروجرد شده است. حتی سبب بارش تگرگ و رعد و برق، و واردکردن خسارات زیاد به کشاورزی و مناطق مسکونی شـده است. با توجه به کمبود منابع آبی و به‌منظور پیشگیری از وقوع خسارت سیلاب‌های خطرناک، مطالعهٔ بیشتر رودخانه‌های اتمسفری، مسیر آن‌ها و تراز استقرار آن‌ها، به‌منظور شناسایی و پیش‌بینی لازم به نظر می‌رسد.

منابع

علیجانی، ب. (۱۳۹۰). *اقلیم‌شناسی سینوپتیک*، چاپ چهارم، انتشارات سمت، تهران.

علیجانی، ب. (۱۳۸۷). *آب‌وهوای ایران*، چاپ هشتم، انتشارات پیام نور، تهران.

فرجزاده، م.؛ کریمی احمدآباد، م.؛ قائمی، ه. و مباشری، م.ر. (۱۳۸۸). چگونگی انتقال رطوبت در بارش زمستانهٔ غـرب ایـران، *فصـلنامهٔ مـدرس علوم انسانی*، ۱۳(۱): ۱۹۴-۲۱۷.

قویدل، ی.؛ فرجزاده، م. و احمدی، س. (۱۳۹۲). منابع ودینامیسم انتقال رطوبت بارش‌های سـنگین بـه سـواحل ایـران درجریـان توفـان گونـو، *فصلنامهٔ فضای جغرافیایی دانشگاه اهر*، ۱۳(۴۴): ۱۱۱-۱۳۳.

کاویانی، م.ر. و علیجانی، ب.؛ (۱۳۸۶). *مبانی آب و هواشناسی*، چاپ سیزدهم، انتشارات سمت، تهران.

کریمی، م. و فرجزاده، م. (۱۳۹۰). شار رطوبت و الگوهای فضایی- زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران، *نشریهٔ تحقیقات کاربردی علـوم جغرافیایی*، ۱۹(۲۲): ۱۱۰-۱۲۷.

Alijani, B. (2011). *The synoptic climatology*, Samt, Tehran.

Alijani, B. (2008). *The Climate of Iran*, Payamnoor, Tehran.

Farajzadeh, M.; Karimi Ahmadabad, M.; Ghaemi, H. and Mabasheri, M.R. (2009). The transfer of moisture in winter precipitation in the West of Iran. *Journal of Humanities Teacher*, 13(1): 194-217.

Karimi, M. and Farajzadeh, M. (2011). Flux transfer of moisture and Spatio-temporal patterns humidity resources In Precipitation of Iran, *Journal of Research in Applied Geographical Sciences*, 19(22): 110-127.

Kawiani, M.R. and Alijani, B. (2007). *The foundation of climatology*, Samt, Tehran.

Kerr, R.A. (2006). Rivers in the Sky Are Flooding The World With Tropical Waters, *Science*, 313 (5786): 435. doi:10.1126/science .313.5786.435.PMID 16873624.

McGuirk, J.P., Thompson, A.H. and Smith, N.R. (1987). Moisture bursts over the tropical Pacific Ocean, *Mon. Wea. Rev*; 115, 787-798.

National Research Council (1999). The GEWEXGlobal Water Vapor Project (GVaP) - u.s.

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

Neiman, P. (2009). Land falling Impacts of Atmospheric Rivers: From Extreme Events to Long-term Consequences, *The 2010 Mountai,Climate Research Conference*.

Neiman, P. (2008). Meteorological Characteristics and Overland Precipitation Impacts of Atmospheric Rivers Affecting the West Coast of North America Based on Eight Years of SSM/I Satellite Observations, *Journal of Hydrometeorology*, 9 (1): 22–47. Bibcode:2008JHyMe.9.22N, doi:10.1175/2007JHM855.1.

Newell, R.E.; Newell, N.E.; Zhu, Y. and Courtney, S. (1992). Troposphere rivers, A pilot study, G*eophysics. Res. Lett*., 19 (24): 2401–2404. Bibcode: 1992GeoRL.19.2401N, doi:10.1029/92GL02916.

Qhavidel, Y.; Farajzadeh, M. and Ahmadi, S.A. (2013). Heavy rain and moisture trans ferdynamics of the coast in the storm Genoa, *Journal of Geographic Space*, 13(44): 111-133.

Qhavidel, Y.; Farajzadeh, M. and Ahmadi, S. (2013). Resources and the dynamics of moisture transport to the shores of heavy precipitation during the storm Gonu. *Journal of Geographic space Ahar* , 13(44): 111-133.

Ralph, F. Martin, et al. (2006). Flooding on California's Russian River: Role of atmospheric rivers, *Geophys. Res. Lett*., 33(13): L13801. Bibcode: 2006GeoRL. 3313801R, doi: 10.1029/2006GL026689.

Richard Kerr, A. (2006). Rivers in the Sky Are Flooding The World With Tropical Waters, *Science*, 313 (5786): 435. doi:10.1126/science .313.5786.435.PMID 16873624.

Smith, B. and Sandrea, Y. (2009). Water Vapor Fluxesand Orographic Precipitation over Northern California Associated with a Land falling Atmospheric RiverAmerican, *Journal of Monthly Weather Review*, 138: 74-100.

Stohl, A.; Forster, C. and Sodermann, H. (2008). Remote sources of water vapor forming precipitation on the Norwegian west coast at 60°N–a tale of hurricanes and an atmospheric river, *Journal of Geophysical Research* 113, Retrieved 10 July 2012.

White, Allen B. (2009). The NOAA coastal atmospheric river observatory, *34th Conference on Radar Meteorology*. www.cri.ac.ir.

Zhu, Y. and Newell, R.E. (1994). Atmospheric rivers and bombs, *Geophys. Res. Lett*., 21 (18): 1999–2002. Bibcode:1994GeoRL.21.1999Z, doi:10.1029/94GL01710.