

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره دوازدهم، شماره چهل و پنجم، پاییز ۱۴۰۰

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۷ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

صص ۱-۱۳

ارتباط بین انتقال بخار آب جوئی و بارش‌های روزانه‌ی ایران

آرزو نصرتی، کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

جعفر معصوم‌پور سماکوش*، دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

حسن ذوالفقاری، دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

امین‌الله قهرمانی، دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

چکیده

رطوبت و تغییرپذیری زمانی و مکانی آن می‌تواند باعث تغییر در بارش هر ناحیه شود؛ از این رو درک انتقال رطوبت برای فهم رفتار بارش بسیار مهم است. با هدف بررسی ارتباط بین بارش روزانه‌ی ایران و مقدار انتقال بخار آب جوئی و محاسبه‌ی انتگرال شار قائم رطوبت (IVT) و مقدار بخار آب جوئی (IWV)، داده‌های مؤلفه‌های رطوبت ویژه (q)، باد مداری (u) و نصف‌النهاری (v) برای یک دوره‌ی ۳۱ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۸) در محدوده‌ی ایران و با دقت مکانی ۱*۱ درجه از مرکز پیش‌بینی‌های اروپایی میان مدت جوئی (ECMWF) اخذ شد. از آماره‌ی ضریب تعیین (R^2) نیز برای ارائه‌ی ارتباط بین بارش و مؤلفه‌های رطوبت جوئی استفاده شد. نتایج نشان داد که از مجموع ۹۴۴۳ روز بارشی، بارش روزانه‌ی ایران ارتباط بیش‌تری با مقدار بخار آب جوئی را دارا بوده و بیش‌ترین ارتباط در دو قسمت غرب و شرق ایران به شکل پهنه‌ای نسبتاً وسیع مشاهده می‌شود. در بین مؤلفه‌ی شار رطوبت مداری و نصف‌النهاری و نیز بارش روزانه‌ی ایران، بیش‌ترین ارتباط را با مؤلفه‌ی نصف‌النهاری آن دارد که در این بین، سهم نیمه‌ی غربی ایران بیش‌تر از سایر نقاط است. مؤلفه‌های تأثیرگذار شار رطوبت در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال، بیش‌ترین ارتباط را با بارش‌های روزانه‌ی ایران دارد. نتایج فصلی نشان داد که از نظر مقدار و گستره، روابط بین بارش و مقدار و انتقال بارش در فصل زمستان قوی‌تر از سایر فصول بوده و مؤلفه‌ی نصف‌النهاری نیز بیش‌ترین نقش را در انتقال رطوبت این فصل بازی می‌کند و در واقع، حدود ۵۵٪ از تغییرات بارش زمستانه در غرب و جنوب غرب ایران (با بیشینه‌ی شهرکرد و یاسوج) توسط این مؤلفه توصیف می‌شود؛ از این رو می‌توان استنباط کرد که مؤلفه‌های شار رطوبت می‌توانند به‌عنوان یک متغیر پیش‌بینی‌کننده در بارش روزانه‌ی غرب ایران به کار روند؛ چراکه حدود ۵۰ درصد تغییرات بارش روزانه‌ی این مناطق به واسطه‌ی این متغیرها توصیف می‌شود.

واژگان کلیدی: انتقال بخار آب، ضریب تعیین، مؤلفه‌ی باد نصف‌النهاری، بارش روزانه، ایران.

* Email: j.masoompour@razi.ac.ir

نویسنده‌ی مسئول:

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آرزو نصرتی است که به راهنمایی جعفر معصوم‌پور سماکوش در دانشگاه رازی دفاع شده است.

۱- مقدمه

چرخه‌ی هیدرولوژیکی، حرکت آب را در کل سیستم زمین-زمین-اقیانوس توصیف می‌کند (Gimeno et al, 2012: 3). این چرخه شامل تبخیر رطوبت در یک منطقه (منبع اصلی اقیانوس‌ها)، انتقال آن توسط جو و بارش در منطقه‌ی دیگر است؛ جایی که تبخیر و تعرق بر روی خشکی رخ می‌دهد و رواناب، آب را به اقیانوس (Lavrs and Villarini, 2014: 2187). بارش در عرض‌های میانی با جبهه‌ها (Catto et al, 2012: 2) و سیکلون‌های برون‌حاره‌ای، فرآیندهای همرفتی و اثرات کوهساری مرتبط است (ذوالفقاری، ۱۳۹۳: ۱۶).

با توجه به اینکه وقوع بارش ارتباط مستقیمی با رطوبت موجود در جو یا سامانه‌های بارش‌زا دارد، بررسی میزان رطوبت جو به شکل آب قابل بارش و نیز انتقال بخار آب به یکی از موضوعات موردتوجه در مطالعات جوئی تبدیل گردیده است؛ در بررسی‌های مربوط به شار رطوبت و سطوح تأمین‌کننده‌ی رطوبت بارش‌ها، مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش‌تر موردتوجه قرار گرفته‌اند.

لیندسا و دابرتون^۱ (۱۹۹۳) اذعان داشته‌اند در بررسی انتقال رطوبت و شار بخار آب بر روی جنوب آفریقا با توجه به جریان‌های باد، مشاهده شده که قسمت جنوب غرب اقیانوس هند مهم‌ترین منبع رطوبتی بارش‌های نواحی مرکز جنوب آفریقا بوده است. ویاله و نونز^۲ (۲۰۱۱) شار شدید بخار آب از اقیانوس آرام به سمت بادگیر کوه‌های آند را دلیل بارش‌های سیل‌آسای این منطقه دانسته‌اند. ژانگ^۳ (۲۰۰۱) ارتباط بین انتقال بخار آب مونسون هند به جنوب شرق آسیا و نقش آن را در بارش تابستانه‌ی چین بسیار مؤثر می‌داند.

یکی دیگر از مؤلفه‌های مؤثر گردش جو در انتقال رطوبت، رودباد است. رودباد جنب حاره، هوای گرم و مرطوب را از نواحی جنوبی (حاره‌ای آفریقای شرقی و خلیج عدن) در ترازهای میانی و فوقانی وردسپهر بر روی خاورمیانه به‌خصوص مصر و اردن منتقل می‌کنند (Dayan and Abramski, 1999: 1138). این جریان رودباد به همراه ناهه دریای سرخ به صورت توأمان در انتقال بخار آب از دریای عرب به خاورمیانه و شرق مدیترانه مشارکت دارند (Krichak and Alpert, 1998: 9453). انتقال مقادیر زیاد بخار آب غرب اقیانوس آرام استوایی طی ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست، بارش‌های سنگینی در چین خاوری ایجاد می‌کند (Zhou and Yu, 2005: 1). در بررسی شار رطوبت و الگوی فضایی-زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران مشخص شد 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 (کریمی احمدآباد و فرج زاده، ۱۳۹۰).

رورده (۱۳۸۵) با استفاده از نقشه‌های نم و ویژه، چگونگی و مقدار گسترش آنکه محدود به سواحل جنوبی دریای خزر بوده، درصد میزان تأمین رطوبت توسط سطوح آبی اطراف ایران را برای بارش‌های ناحیه‌ی مذکور ارائه کرده است. یافته‌های این بررسی علاوه بر تأیید یافته‌های قبلی مبنی بر تأثیر دریای خزر، دریای مدیترانه و دریای سیاه بر بارندگی سواحل جنوبی دریای خزر، دریای سرخ و منابع جنوبی (دریای عمان و دریای عرب) را نیز دخیل دانست. سهم دریای سرخ در تأمین رطوبت بارندگی‌های فصل پاییز و بارندگی‌های سالانه‌ی منطقه، بالاتر از دریای مدیترانه و دریای سیاه بوده است.

جانباز قبادی و همکاران (۱۳۹۰) سه الگوی گردش جوی تأمین منابع رطوبتی را برای کرانه‌ی جنوبی خزر ارائه داده‌اند. آن‌ها نشان دادند که بارش‌های شدید زمستانه در سواحل جنوبی دریای خزر، نتیجه‌ی استقرار سه الگوی پرفشار، زوجی و کم‌فشار بر روی منطقه‌ی خزری بوده و در تمامی الگوها، بادهای شمالی در ترازهای زیرین جو بر دریای خزر تسلط دارد. در نتیجه همگرایی جریان‌ات مرطوب جنوبی و شمالی در سواحل جنوبی دریای خزر برخلاف دو

1- Lindesay and Dabreton

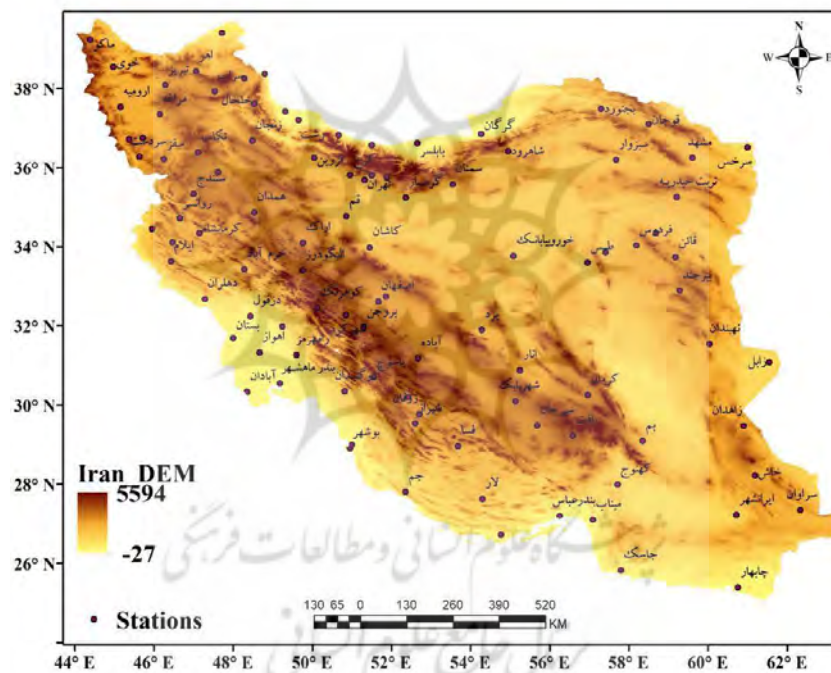
2- Viale and Nunez

3- Zhang

الگوی زوجی و پرفشار، تنها دریای خزر منبع تأمین رطوبت بارش‌ها نبوده و دریاهای دوردست جنوبی نیز منابع رطوبتی بارش‌های شدید سواحل خزری هستند. مسعودیان و همکاران (۱۳۸۵) با خوشه‌بندی داده‌های فشار بخار آب، شش ناحیه رطوبتی را برای ایران ارائه داده‌اند که بیش‌تر از دریاهای مجاور ایران متأثر می‌باشند. رالف و همکاران^۴ (۲۰۱۳) در بررسی ۹۱ مورد رودخانه‌ی جوی و اثر آن بر رطوبت خاک و رواناب در کالیفرنیا بیان کردند که ۷۵ درصد از واریانس بارندگی با انتقال کل بخار آب توجیه می‌شود. این نتیجه به‌ویژه ارتباط قوی بین بارندگی و انتقال بخار آب را نشان می‌دهد. لاورز و ویلارینی^۵ (۲۰۱۴) نشان دادند که در اروپا، ارتباط بین بارش تابستان و انتقال بخار آب نسبت به زمستان ضعیف است. همچنین نتایج حاکی از آن است که بارش شرق فرانسه، آلمان و غرب سویس با جهت مداری و بارش مناطق اطراف مدیترانه (مثل جنوب فرانسه، غرب ایتالیا) با انتقال رطوبت نصف‌النهاری در ارتباط است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

برای نمایش دادن روزهای بارشی و تطبیق آن با داده‌های شبکه‌ای، از داده‌های بارش روزانه‌ی ۱۰۵ ایستگاه سینوپتیکی در گستره‌ی ایران طی دوره‌ی آماری ۳۱ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۸) استفاده شده است (شکل ۱). صحت داده‌های بارش پایگاه یادشده توسط دارند و زند کریمی (۱۳۹۴: ۶۵۴) تأیید شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در گستره‌ی ایران

۳- مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر، تحلیل بر اساس داده‌های ECMWF و در محدوده‌ی ایران زمین (از ۲۵ تا ۴۰ درجه‌ی شمالی و ۴۲/۵ تا ۶۵ درجه‌ی شرقی) است. برای استخراج روزهای بارشی، بارش بیش از صفر میلی‌متر برای هر روز مدنظر بوده است. لازم به ذکر است که مؤلفه‌ی روزهای بارشی (TP) نیز از این سایت در دو زمان (۰، ۱۲)، با واحد متر استخراج شد که با تبدیل واحد آن به میلی‌متر و به صورت مجموع این زمان برای بارش روزانه مورد استفاده قرار گرفت. مجموع روزهای بارشی در سایت ECMWF در گروه داده‌های سطحی قرار دارد و بر اساس گام ۱۲ ساعته، بدین معنی که از

4- Ralph et al

5- Lavers and villarini

مجموع دو پیش‌بینی ۱۲ ساعته اخذ شده است (از ساعت ۰-۱۲ مربوط به ۱۲ ساعت اول؛ و ۱۲-۲۴ مربوط به ۱۲ ساعت بعدی است). این داده‌ها در نرم‌افزار گرس به میلی‌متر تبدیل شدند.

از داده‌های ۶ ساعته رطوبت ویژه (q)، باد مداری (u) و باد نصف‌النهاری (v)، برای محاسبه‌ی انتگرال شار قائم رطوبت (IVT) استفاده شده است. مقدار آب قابل بارش (IWB) نیز با انتگرال‌گیری مقدار رطوبت ویژه در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال مشخص شد.

تمامی داده‌های اخذ شده از پایگاه ECMWF با استفاده از نرم‌افزار گرس استخراج و بازخوانی شدند. داده‌های استخراج شده در نرم‌افزار Excell و نیز Spss مرتب گردید و پس از تهیه‌ی پایگاه داده به منظور شناسایی ارتباط بین بارش روزانه و مؤلفه‌های موردنظر از قبیل باد مداری و نصف‌النهاری، نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شدند. جهت نشان دادن ارتباط بارش‌های روزانه با مؤلفه‌های رطوبتی از آماره‌ی ضریب تعیین (R^2) استفاده شده است. نقشه‌های مقدارهای R^2 بارش‌های روزانه با مؤلفه‌های یاد شده برای تمام روزهای بارش هم به صورت کلی و هم فصلی تهیه شدند. این نقشه‌ها به ما کمک می‌کنند تا میزان انتقال و حجم بخار آب جوی و ارتباطشان را با بارش روزانه‌ی ایران در بازه‌ی زمانی دوره‌ی آماری یاد شده بررسی کنیم. ضریب تعیین یک شاخص کمی برای بررسی نیکویی برازش و قدرت پیش‌بینی یک مدل رگرسیونی خطی و همچنین میزان همبستگی خطی یک متغیر موردنظر (پاسخ) با یک مجموعه از متغیرها است (Magee, 1990: 253). به‌عنوان مثال مقدار ۰/۳۵ بیانگر آن است که ۳۵ درصد از تغییرات متغیر موردنظر (پاسخ) توسط ترکیب خطی از سایر متغیرها قابل تبیین یا پیش‌بینی است. در صورتی که ضریب همبستگی فقط ارتباط بین دو متغیر را نشان می‌دهد.

R^2 اندازه‌گیری آماری نزدیکی داده‌ها به خط رگرسیون برازش شده است. این معیار تنها نشان‌دهنده‌ی نسبی از مجموع مربعات کل است که به وسیله‌ی تغییر Xها قابل توجیه است (آساد و حیدری، ۱۳۹۰: ۱۵۰).

ضریب تعیین (R^2) نشان می‌دهد که چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته، تحت تأثیر متغیر مستقل مربوطه بوده و مابقی تغییرات متغیر وابسته به سایر عوامل مرتبط است؟ یا به عبارتی بیانگر نسبی از متغیر وابسته است که توسط رابطه‌ی خطی با سایر متغیرها توجیه می‌شود و اینکه کدام متغیر می‌تواند به‌عنوان متغیر پیش‌بینی‌کننده به کار رود تا درصد خطای پیش‌بینی کاهش یابد. دامنه‌ی ضریب تعیین بین صفر تا یک متغیر است و از طریق رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود (شاکر خطیبی و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۱۹).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N [P_i - \bar{O}_i]^2}{\sum_{i=1}^N [P_i - \bar{O}]^2} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

در این رابطه، N: تعداد کل مشاهدات، P_i : تعداد متغیرهای پیش‌بینی‌شده یا برآورد شده و \bar{O}_i میانگین مقادیر برآورد شده است.

به منظور محاسبه و تعیین مقدار آب قابل بارش جو یک مکان و منطقه، از مجموع بخار آب انتگرال‌گیری‌شده‌ی ستون جو در ترازهای مختلف (از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال) استفاده می‌شود. چون در تراز پایین جو، مقدار رطوبت جو بیش‌تر از ترازهای فوقانی آن است. معمولاً مقدار بخار آب مجموع جو یا آب قابل بارش را از ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ و گاهی تا ۳۰۰ هکتوپاسکال به دلیل نامشخص بودن مقدار و حجم رطوبت در ترازهای مختلف، به روش انتگرال‌گیری محاسبه می‌کنند. مقدار آب قابل بارش با رابطه‌ی (۲) و در نرم‌افزار گرس به دست آمد و نقشه‌های خروجی آن در نرم‌افزار Arc GIS ترسیم شد.

$$IWB = \sqrt{\left(\frac{1}{g} \int_{1000}^{300} q \, dp\right)^2} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

IWV مقدار بخار آب مجموع جو یا آب قابل بارش که به روش انتگرال گیری حجم کلی بخار آب در ستون جو از ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال محاسبه می شود.

تمرکز انتقال رطوبت جو در حوالی سطح ۷۰۰ تا ۹۰۰ میلی باری (۱ تا ۳ کیلومتر) جو واقع شده است. در این سطح بخار آب هنوز در حد بالایی قرار داشته و سرعت باد نیز با افزایش ارتفاع افزایش می یابد (Barry and Makkim, 1394: 83).

مقدار شار قائم رطوبت جو یا انتقال بخار آب که مقدار آن در ستون جو در ترازهای مختلف نامشخص است، از مجموع انتگرال گیری شده ی مقدار رطوبت ویژه در باد مداری و نصف النهاری هر تراز جو در کل ستون جو به دست می آید (Nayak and et al, 2014: 43551) و واحد آن کیلوگرم متر بر ثانیه است. برای نمایش مقادیر انتقال رطوبت، داده های باد مداری و نصف النهاری و رطوبت ویژه از مرکز اروپایی پیش بینی های میان مدت (ECMWF) با تفکیک ۱*۱ درجه در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال دریافت و با کمک رابطه (۳)، مقدار انتقال رطوبت محاسبه و خروجی نقشه های آن در نرم افزار ArcGIS ترسیم شد.

$$IVT = \sqrt{\left(\frac{1}{g} \int_{1000}^{100} qu \, dp\right)^2 + \left(\frac{1}{g} \int_{1000}^{100} qv \, dp\right)^2} \quad \text{رابطه ی ۳}$$

IVT: انتگرال قائم انتقال بخار آب یا شار رطوبت که از ضرب مقدار رطوبت ویژه در باد مداری و نصف النهاری و انتگرال گیری آن در ستون جو از ۱۰۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال به دست می آید.
 q: رطوبت ویژه بر حسب kg/kg و u و v : به ترتیب مؤلفه های مداری و نصف النهاری باد بر حسب متر بر ثانیه (m/s^{-1}),
 g: شتاب گرانش و dp : اختلاف فشار بین دو سطح فشار مجاور.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- توزیع زمانی روزهای بارشی در ایران

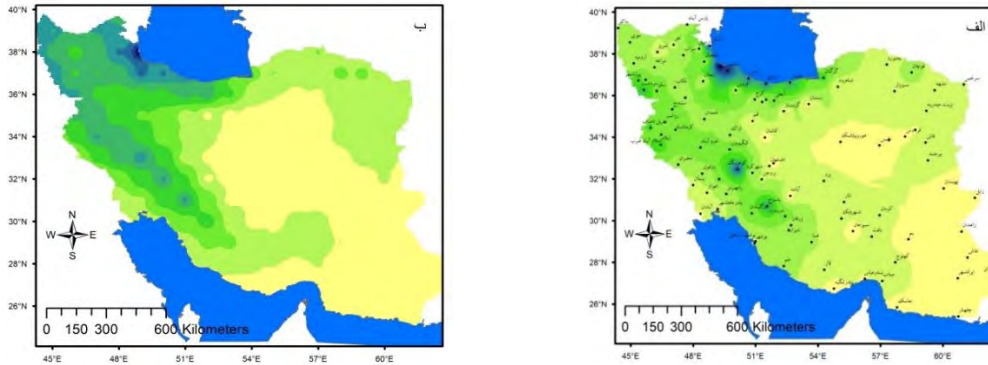
در بررسی ارتباط بین انتقال بخار آب و بارش های روزانه ی ایران طی دوره ی آماری، در مجموع ۹۴۴۳ روز بارشی بیش تر از صفر میلی متر ($P > 0 \text{ mm}$) مشخص شد (شکل ۲ ب). در بررسی فصلی، فصل بهار (۲۷ درصد روزهای بارشی) بیش ترین تعداد روزهای بارشی را نسبت به سایر فصول داراست (شکل ۲ الف).



شکل ۲: درصد (الف) و توزیع (ب) فراوانی روزهای بارشی در فصول مختلف سال (۱۹۸۸-۲۰۱۸)

جهت ارزیابی داده ها، نقشه ی مقدار بارش داده های ایستگاهی (شکل ۳ الف) و شبکه ای (شکل ۳ ب) ترسیم شدند. نتایج حاکی از صحت بالای داده های شبکه ای در مقابل داده های ایستگاهی داشت و با نتایج دارند و زند کریمی

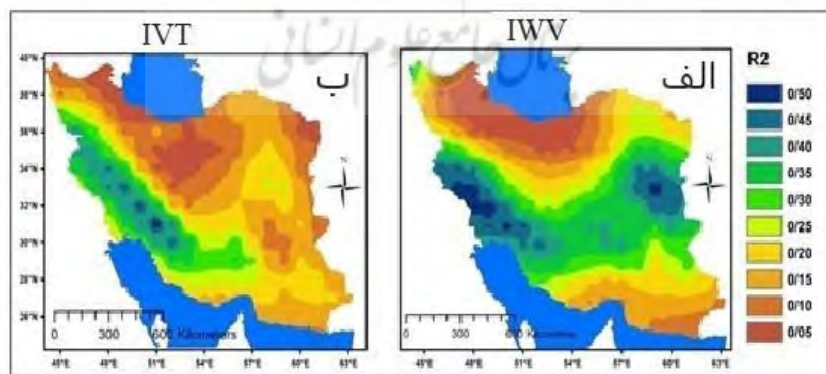
(۱۳۹۴) نیز منطبق بود. چنانکه در هر دو نقشه، بیشینه‌ی بارش روزهای بارشی مطابق با کرانه‌های سواحل جنوبی دریای خزر و بالأخص غرب آن و زاگرس میانی (یاسوج و شهرکرد) است و در سمت مقابل، کم‌ترین میزان بارش را در خور و بیابانک و جنوب شرق کشور شاهد هستیم (شکل ۲ الف و ب).



شکل ۳: نقشه‌ی هم‌باران داده‌های ایستگاهی (الف) و شبکه‌ای (ب) روزهای بارشی (دوره‌ی آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۸)

۴-۲- ارتباط بارش روزانه‌ی ایران با مقدار بخار آب (IWV) و انتقال بخار آب (IVT)

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی مجموع ۹۴۴۳ روز بارشی نشان می‌دهد که در مقایسه با انتقال بخار آب (IVT) (شکل ۴ ب)، بارش روزانه در ایران، ارتباط بیش‌تری با مقدار بخار آب (IWV) دارد (شکل ۴ الف) و بدین معنی است که جهت انتقال بخار آب در توضیح تنوع بارندگی حیاتی است. بیش‌ترین ارتباط بین مقدار بخار آب (که از آن به‌عنوان آب قابل بارش نیز یاد می‌شود) و بارش روزانه‌ی ایران، در دو قسمت غرب و شرق ایران مشاهده می‌شود که در هر دو جهت به سمت ایران مرکزی کشیده شده و به هم‌پیوستگی دارد (شکل ۴ الف). در مقابل، بیش‌ترین ارتباط بین بارش روزانه و IVT، بر روی غرب و جنوب غرب ایران مشاهده می‌شود (شکل ۴ ب). نکته‌ی جالب‌توجه اینکه، عدم ارتباط بارش‌های روزانه‌ی سواحل جنوبی دریای خزر و سواحل جنوبی ایران با IVT و IWV و دیگر مؤلفه‌های رطوبتی در این تحقیق است. این قضیه احتمالاً به خاطر وجود دائمی رطوبت در این مناطق است. از آنجاکه این تحقیق بر مبنای ارتباط بارش روزانه با مؤلفه‌های انتقال رطوبت (بخار آب) بنا شده است؛ بنابراین زمانی که رطوبت در یک ناحیه به حد مطلوب وجود داشته باشد، بارش، ارتباطی را با مؤلفه‌ی انتقال رطوبت نشان نمی‌دهد؛ در صورتی که در دیگر نواحی ایران، شکل‌گیری بارش منوط به انتقال رطوبت از ناحیه‌ای دیگر به این مناطق است.

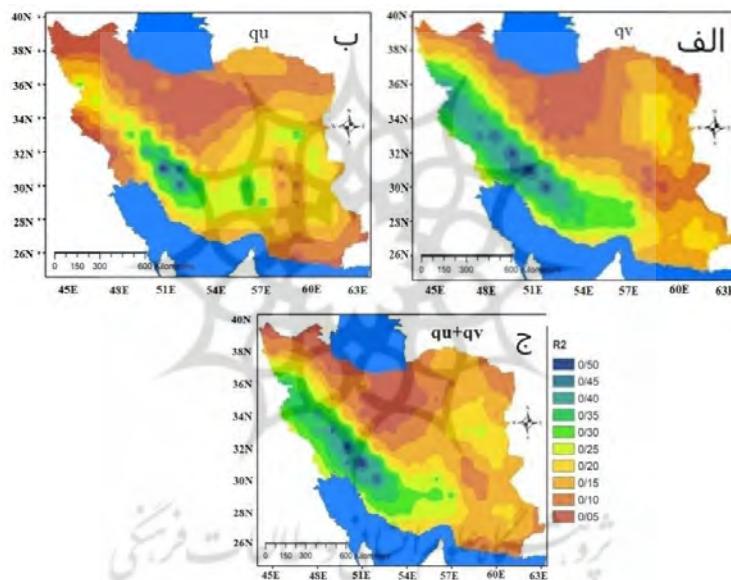


شکل ۴: مقدار R^2 کل بارش روزانه با مقدار بخار آب (الف) و انتقال بخار آب (ب) (دوره‌ی آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۸)

۴-۳- ارتباط بارش روزانه با شار رطوبت مداری و نصف‌النهاری

با مقایسه‌ی قسمت (الف و ب شکل ۵) می‌توان بیان کرد که در کدام مناطق، بارش بیش‌تر مربوط به انتقال بخار آب مداری است یا نصف‌النهاری. در بین مؤلفه‌ی شار رطوبت مداری و نصف‌النهاری، بارش روزانه‌ی ایران بیش‌ترین ارتباط را با مؤلفه‌ی نصف‌النهاری آن دارد (شکل ۵ الف) که احتمالاً نشان از انتقال رطوبت از عرض‌های جنوبی و حاره-ای به ایران دارد.

بیش‌ترین ارتباط بین بارش روزانه و مؤلفه‌ی شار رطوبت نصف‌النهاری، در غرب و جنوب غرب ایران مشاهده می‌شود و کلاً در این مناطق قوی‌تر از سایر نقاط کشور است (شکل ۵ الف) و این نشان می‌دهد که برای بارش روزانه در این مناطق، به یک جریان جنوبی مرطوب (به‌طور مثال خلیج فارس و دریای سرخ) نیاز است. قوی‌ترین ارتباط بین بارش روزانه‌ی ایران و مؤلفه‌ی مداری انتقال رطوبت، در جنوب غرب ایران (یاسوج، شهرکرد، شیراز (۵/۰)) مشاهده می‌شود، بدین معنی که یک جریان مرطوب با جهت عمدتاً مداری تمایل به تولید بارش در این مناطق را دارد و تأثیر آن در انتقال رطوبت به جنوب غرب کشور و ریزش بارش این مناطق مؤثرتر است. در دیگر مناطق ارتباط قوی و معناداری بین بارش روزانه و انتقال مداری شار رطوبت دیده نمی‌شود (شکل ۵ ب).



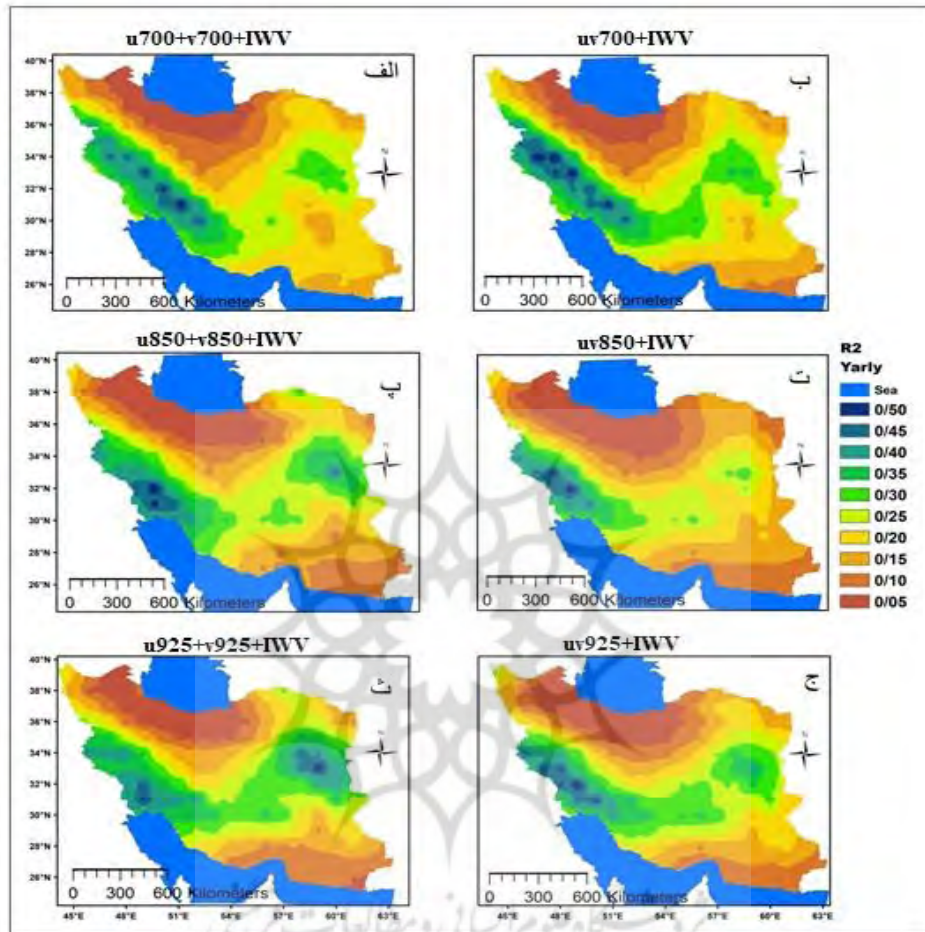
شکل ۵: مقدار R^2 بارش روزانه با شار رطوبت به همراه (با مداری (qu) الف)، (با نصف‌النهاری (qv) ب) و (با $qu+qv$) ج) (دوره‌ی آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۸)

۴-۴- ارتباط بارش روزانه‌ی ایران و مؤلفه‌های انتقال رطوبت سطوح ۹۲۵، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال

در بررسی ارتباط بین بارش روزانه با مؤلفه‌های انتقال رطوبت در سطوح پایینی و میانی جو، مشخص شد که سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال بیش‌ترین ارتباط را در انتقال رطوبت بارش‌های ایران داراست (شکل ۶). این ارتباط در غرب و جنوب غرب ایران بیش‌تر از سایر نقاط است و بصورت نواری نسبتاً ضخیم تا شرق ایران نیز کشیده می‌شود (شکل ۶ الف و ب). ۵۰٪ تغییرات بارش غرب و جنوب غرب ایران به واسطه‌ی تغییرات مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری شار رطوبت در این تراز قابل توصیف است.

در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و در مجموع مؤلفه‌های نامبرده و ارتباط آن بارش روزانه، بیش‌ترین ارتباط در غرب و جنوب غرب و اندکی نیز در شرق ایران (خراسان جنوبی) مشاهده می‌شود و گستره‌ی عدم ارتباط، در جنوب شرق

ایران نسبت به سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال بیش‌تر شده است (شکل ۶ پ). از ضرب بادهای مداری و نصف‌النهاری، بیش‌ترین ارتباط بارش روزانه و انتقال بخار آب، فقط بر روی غرب ایران متمرکز شده است (شکل ۶ ت). از مجموع مؤلفه بادهای مداری و نصف‌النهاری و مقدار بخار آب و ارتباط آن با بارش روزانه در سطح ۹۲۵ هکتوپاسکال مشخص شد که برخلاف دو سطح قبلی، قوی‌ترین ارتباط در شرق (خراسان جنوبی) و سپس جنوب غرب ایران مشاهده می‌شود و علاوه بر آن، این ارتباط در پهنه‌ی شرق-غرب، قوی‌تر از سطوح دیگر است (شکل ۶ ث).



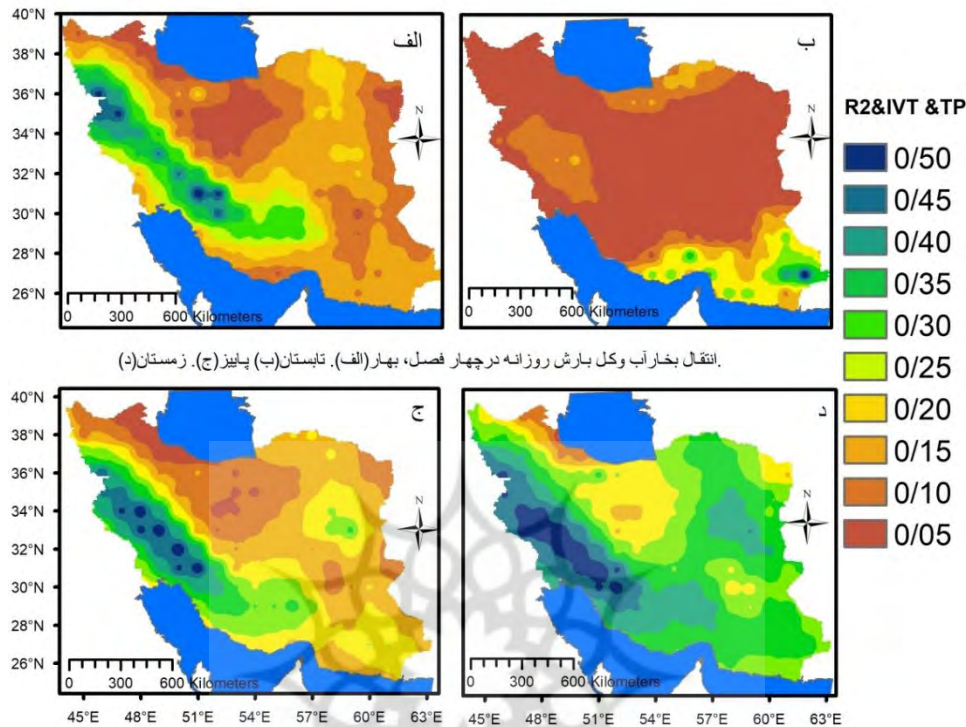
شکل ۶: مقدار R^2 کل بارش روزانه و $u700+v700+IWV$ (الف) و $uv700+IWV$ (ب) و $u850+v850+IWV$ (پ) و $uv850+IWV$ (ت) و $u925+v925+IWV$ (ث) و $uv925+IWV$ (ج) (دوره‌ی آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۸)

۴-۵- ارتباط بارش فصلی ایران با مؤلفه‌های انتقال رطوبت

بارش تغییرپذیرترین عنصر اقلیمی است. فصل بهار از جمله فصول انتقالی در ایران به شمار می‌آید. بیش‌ترین ارتباط بین مقدار انتقال رطوبت و بارش در فصل بهار به شکل ضعیفی در غرب و جنوب غرب مشاهده می‌شود و تقریباً در سایر نقاط ارتباطی وجود ندارد (شکل ۷ الف).

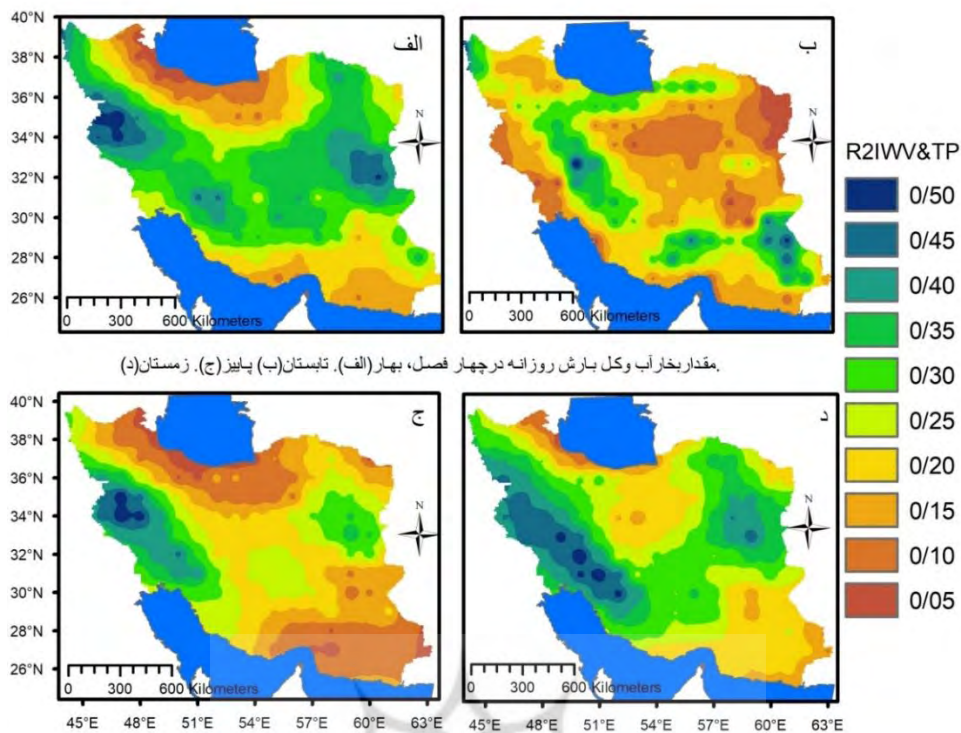
با توجه به اینکه در فصل تابستان پرفشار جنب حاره بر روی ایران تسلط دارد و الگوی کلی انتقال رطوبت نیز وابستگی شدیدی به الگوی جریان گردش جو در منطقه دارد، می‌توان گفت که در این فصل، ارتباط شار رطوبت و بارش از این الگوها تبعیت می‌کند که منجر به شار رطوبت ضعیف‌تری در تابستان می‌شود. این ارتباط را تنها در جنوب شرق کشور به صورت مؤثر شاهد هستیم و در بقیه‌ی نقاط کشور تقریباً صفر است (شکل ۷ ب) که نشان از تأثیر جریانات موسمی در بارش تابستانه و انتقال رطوبت به جنوب شرق ایران دارد و با نتایج علیچانی و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت دارد.

موقعیت و ویژگی‌های جغرافیایی ایران و کنش این عوامل با گردش جو در منطقه باعث شده تا در ایام مختلف سال، مقادیر زیادی از بخار آب به سمت ایران انتقال یابد. فصل پاییز آغاز نفوذ بادهای غربی، بر محدوده‌ی ایران است و این بادهای ناپایداری و رطوبت را با خود به ارمغان می‌آورند. ارتباط بارش و انتقال بخار آب در فصل پاییز، بر غرب و جنوب غرب کشور متمرکز است. به صورت ضعیف‌تری نیز در شرق و جنوب شرق کشور دیده می‌شود (شکل ۷ ج).



شکل ۷: مقدار R^2 بارش روزانه‌ی فصلی و مقدار انتقال بخار آب در فصل‌های بهار (الف)، تابستان (ب)، پاییز (ج) و زمستان (د) (دوره‌ی آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۸)

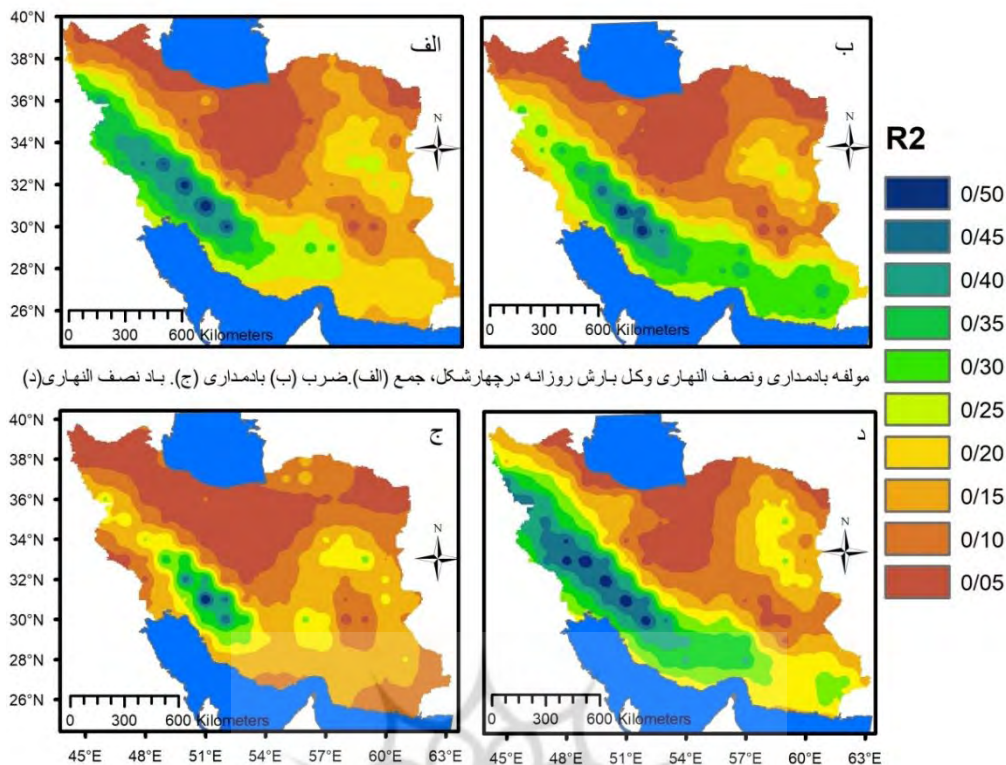
در دوره‌ی سرد سال با جابه‌جایی رودباد جنب حاره به عرض‌های پایین، بادهای غربی به ایران وارد شده و با موج‌های کوتاه و بلند خود بر روی بارندگی‌های ایران تأثیر می‌گذارند. بیش‌ترین ارتباط بین بارش‌های فصلی و انتقال بخار آب و مقدار بخار آب در فصل زمستان وجود دارد (شکل ۷ و ۸)، که شاهد بیش‌ترین ارتباط در مناطق غرب، جنوب غرب با پیشینه‌ی شهرکرد و یاسوج (حدود ۰/۵۵) و قسمت‌هایی از شرق (خراسان جنوبی) هستیم (شکل ۷ د). در واقع می‌توان گفت که در فصل زمستان از نظر مقدار و گستره، ارتباط بیش‌تری بین پارامترهای انتقال رطوبت و بارش وجود دارد و نشان از مقدار رطوبت جوی بیش‌تر فصل زمستان نسبت سایر فصول دارد. این نتایج در ارتباط بارش فصل زمستان با مقدار بخار آب نیز مشاهده می‌شود (شکل ۸).



شکل ۷: مقدار R^2 بارش روزانه‌ی فصلی و مقدار بخار آب در فصل‌های بهار (الف)، تابستان (ب)، پاییز (ج) و زمستان (د) (دوره‌ی آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۸)

۴-۶- ارتباط بارش زمستان با مؤلفه‌های انتقال رطوبت

با توجه به اینکه بیش‌ترین ارتباط در فصل زمستان مشاهده شده است (شکل ۷ و ۸) بر آن شدیم تا جزئیات بیش‌تری از این ارتباط را نمایش دهیم. در بررسی ارتباط بارش زمستانه با مؤلفه‌های انتقال رطوبت مشخص شد که مؤلفه‌ی نصف‌النهاری بیش‌ترین نقش را در انتقال رطوبت این فصل در غرب و جنوب غرب ایران داراست و ۵۵ درصد تغییرات بارش زمستانه توسط این مؤلفه توصیف می‌شود (شکل ۸).



شکل ۸: مقدار R^2 بارش روزانه فصل زمستان و مؤلفه‌ی مجموع v و U (الف)، ضرب v و U (ب)، مؤلفه‌ی مداری (ج) و نصف‌النهاری شار رطوبت (د) (دوره‌ی آماری ۱۹۸۸-۲۰۱۸)

۵- نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف بررسی (الف) مقدار انتقال بخار آب به‌عنوان یک متغیر پیش‌بینی‌کننده برای بارش روزانه‌ی ایران و همچنین (ب) چند درصد تغییرات بارش روزانه‌ی ایران می‌تواند توسط مؤلفه‌های انتقال رطوبت توصیف شود، تدوین شده است؛ از این‌رو، از ضریب تعیین (R^2) و داده‌های شبکه‌ای مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جو استفاده شده است. ارتباط بخار آب با بارش‌های روزانه‌ی ایران طی ۳۱ سال در گستره‌ی ایران مورد بررسی قرار گرفت. فراوانی سالانه و فصلی روزهای بارشی مطالعه‌شده نشان داد که از مجموع ۹۴۴۳ روز بارشی، به ترتیب بیش‌ترین فراوانی بارش، مربوط به فصل بهار (۲۵۳۳ روز و با فراوانی ۲۷ درصد)، زمستان (۲۴۹۱ روز و ۲۶ درصد)، پاییز (۲۵ درصد و ۲۳۵۶ روز بارشی) و درنهایت کم‌ترین آن مربوط به فصل تابستان (۲۰۶۳ روز و ۲۲ درصد) است.

در تمامی نقشه‌های سالانه به خوبی ارتباط شار رطوبت و بارش‌های آن و نیز تأثیر مؤلفه‌های رطوبت ویژه، باد مداری و نصف‌النهاری دیده می‌شود. این موضوع با نتایج رالف (۲۰۰۴) نیز تطابق دارد که در مطالعه‌ی خود ارتباط قوی بین بارندگی و انتقال بخار آب را نشان می‌دهد. تمامی نقشه‌های خروجی مربوط به مؤلفه‌ی سالانه، از یک الگو پیروی می‌کنند و تنها در برخی از قسمت‌ها با هم متفاوت‌اند. مثلاً مؤلفه‌ی باد مداری به تنهایی در انتقال رطوبت بخشی از بارش‌های جنوب غرب کشور (یاسوج و شهرکرد) مؤثر بوده، درحالی‌که مؤلفه‌ی نصف‌النهاری به همراه نم ویژه، ارتباط مؤثرتری با بارش روزانه‌ی ایران دارد و سراسر غرب تا جنوب غرب (سراسر ارتفاعات زاگرس) را پوشش می‌دهد؛ به طوری که ۵۰ درصد تغییرات بارش روزانه توسط این مؤلفه در مناطق ذکرشده توصیف می‌شود؛ بنابراین می‌توان گفت که مؤلفه‌ی نصف‌النهاری باد، بیش‌ترین نقش را در انتقال رطوبت بارش روزانه‌ی ایران بازی می‌کند.

در بررسی ارتباط بین بارش روزانه و مؤلفه‌های رطوبتی رد سطوح ۷۰۰، ۸۵۰ و ۹۲۵ مشخص شد که سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال ارتباط قوی‌تری را نسبت به دو سطح دیگر نشان می‌دهد. این موضوع تا حدودی با نتایج کریمی و

فرج‌زاده (۱۳۹۰) که سطوح میانی جو را در انتقال رطوبت بارش‌های ایران تأثیرگذار می‌داند، مطابقت دارد. هرچند این ارتباط در سطوح دیگر اما به شکلی ضعیف‌تر نیز مشاهده می‌شود، اما تغییرات بارش در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکالی، با مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری، گستره‌ی بیش‌تری را توصیف می‌کند.

با مشاهده‌ی نقشه‌های تمام روزهای بارشی و فصلی، می‌توان گفت که ارتباط انتقال بخار آب و بارش‌های روزانه بیش‌تر در غرب و جنوب غرب و به صورت ضعیف‌تری در بخش‌هایی از مناطق شرق کشور مشاهده می‌شود، اما در یک نگاه کلی می‌توان گفت که بیشینه‌ی ارتباط در جنوب غرب قرار دارد و تأثیر مؤلفه‌ی باد مداری و نصف‌النهاری بر شار رطوبت این منطقه قابل توجه است. نکته‌ی جالب توجه اینکه، عدم ارتباط بارش‌های روزانه سواحل جنوبی دریای خزر و سواحل جنوبی ایران با IVT و IWV و دیگر مؤلفه‌های رطوبتی در این تحقیق است. این قضیه احتمالاً به خاطر وجود دائمی رطوبت در این مناطق است. از آنجاکه این تحقیق بر مبنای ارتباط بارش روزانه با مؤلفه‌های انتقال رطوبت (بخار آب) بنا شده است؛ بنابراین زمانی که رطوبت در یک ناحیه به حد مطلوب وجود داشته باشد، بارش، ارتباطی را با مؤلفه‌ی انتقال رطوبت نشان نمی‌دهد؛ در صورتی که در دیگر نواحی ایران، شکل‌گیری بارش منوط به انتقال رطوبت از ناحیه‌ای دیگر به این مناطق است.

بررسی فصلی نشان داد که بیش‌ترین ارتباط بین بارش‌های فصلی ایران و انتقال بخار آب و مقدار بخار آب مربوط به فصل زمستان است که با نتایج لاورز و ویلارینی (۲۰۱۴) در اروپا نیز همسو است. آن‌ها در بررسی بارش روزانه‌ی اروپا و ارتباط آن با مقدار بخار آب نشان دادند که ارتباط بین بارش زمستان و انتقال بخار آب نسبت به تابستان قوی‌تر است. این ارتباط، همچون بارش روزانه در غرب و جنوب غرب ایران بیش‌تر از سایر نقاط است؛ به طوری که ۵۵٪ تغییرات بارش زمستانه به واسطه‌ی رابطه‌ی خطی با این مؤلفه‌ها در مناطق ذکر شده توصیف می‌شود. در واقع می‌توان گفت که در فصل زمستان (از نظر مقدار و گستره)، ارتباط بیش‌تری بین پارامترهای انتقال رطوبت و بارش وجود دارد و نشان از انتقال بیش‌تر رطوبت جوی فصل زمستان نسبت سایر فصول دارد. در مقابل، ضعیف‌ترین ارتباط بین بارش و انتقال بخار آب در تابستان مشاهده شد که احتمالاً به واسطه‌ی استیلای پرفشار جنب حاره در عدم نفوذ شار رطوبت به داخل کشور و همچنین وقوع بیش‌تر سیستم‌های همرفتی در تابستان است.

در نهایت می‌توان گفت که استفاده از مؤلفه‌های شار رطوبت مداری و نصف‌النهاری می‌تواند تغییرپذیری بارش را نشان دهد و به‌عنوان یک شاخص در بررسی بارش روزانه‌ی ایران استفاده شود. همچنین می‌تواند مناطقی که در آن بارش، بیش‌ترین ارتباط را با انتقال بخار آب مداری و نصف‌النهاری دارد، مشخص نماید، از این‌رو می‌توان استنباط کرد که مؤلفه‌های شار رطوبت می‌توانند به‌عنوان یک متغیر پیش‌بینی‌کننده در بارش روزانه‌ی غرب ایران به کار روند؛ چراکه حدود ۵۰ درصد تغییرات بارش روزانه‌ی این مناطق، به واسطه‌ی این متغیر توصیف می‌شود. این نشان می‌دهد که اجزای انتقال افقی بخار آب (از ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال) به شدت با بارش مرتبط هستند.

۶- منابع

- ۱- آساد، محمدتقی، حیدری، بهرام (۱۳۹۰). تحلیل رگرسیون کاربردی، مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، چاپ اول.
- ۲- بری، راجر جی، آیلین، ا، هال، مک‌کیم (۱۳۹۴). مبانی سامانه‌ی اقلیمی زمین، ترجمه‌ی حسن ذوالفقاری، کرمانشاه: انتشارات دانشگاه رازی.
- ۳- جانباز، قبادی، غلامرضا، مفیدی، عباس، زرین‌آذر (۱۳۹۰). شناسایی الگوهای هم‌دید بارش‌های شدید زمستانه در سواحل جنوبی دریای خزر، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره‌ی ۴۲، صص ۲۳-۴۰.
- ۴- دارند، محمد، زند کریمی، سوما (۱۳۹۴). واکاوی سنجش دقت زمانی- مکانی بارش پایگاه داده‌ی مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF) بر روی ایران زمین، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره‌ی ۴۷، شماره‌ی ۴، صص ۶۷۵-۶۵۱.
- ۵- ذوالفقاری، حسن (۱۳۹۳). آب‌وهوای کره‌ی زمین، کرمانشاه: انتشارات دانشگاه رازی.

- ۶- رورده، همت‌الله (۱۳۸۵). تعیین منابع رطوبتی بارندگی‌های سواحل جنوبی دریای خزر، رساله‌ی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم.
- ۷- علیجانی، بهلول، مفیدی، عباس، جعفرپور، زین‌العابدین، علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی (۱۳۸۶). الگوهای گردش جو بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران در ماه جولای ۱۹۹۴، نشریه‌ی علوم جغرافیایی ایران، شماره‌ی ۱۰، صص ۳۶-۸.
- ۸- کریمی احمدآباد، مصطفی، فرج‌زاده منوچهر (۱۳۹۰). شار رطوبت و الگوهای فضایی-زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران، نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۹، شماره‌ی ۲۲، پاییز ۱۳۹۰، صص ۱۲۷-۱۰۹.
- ۹- محمدی، ناهیده، ظروفچی بنیس، خالد، شاکر خطیبی، محمد، فاتحی‌فر، اسماعیل، بهروزسرنند، علیرضا، محمودیان، امیر، شیخ‌الاسلامی، فرید (۱۳۹۵). پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های گازی در هوای شهر تبریز با استفاده از شبکه‌ی عصبی، نشریه‌ی مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۶، شماره‌ی ۲، پیاپی ۸۳، صص ۹۴-۸۷.
- ۱۰- مسعودیان، سید ابوالفضل، قائدی، سهراب، محمدی، بختیار (۱۳۸۵). نواحی رطوبتی ایران، علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز، شماره‌ی ۱۲.
- 11- Catto J.L., Jakob, C., Berry, G., & Nicholls, N. (2012). Relating Global Precipitation to Atmospheric Fronts. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 39: L10805, doi: 10.1029/2012GL051736.
- 12- Dayan, U., & Abramski, R. (1983). Heavy rain in the Middle East related to unusual jet stream properties. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64(10), 1138-1140.
- 13- Gimeno, L., Stohl, A., Trigo, R.M., Dominguez, F., Yoshimura, K., Yu, L., Drumond, A., Durán-Quesada, A.M., & Nieto, R. (2012). Oceanic and Terrestrial Sources of Continental Precipitation. *Rev. Geophys.* Vol. 50: RG4003, doi:10.1029/2012RG000389.
- 14- Krichak, S. O., & Alpert, P. (1998). Role of large scale moist dynamics in November 1-5, 1994, hazardous Mediterranean weather. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D16), 19453-19468.
- 15- Lavers, D.A., & Villarini, G. (2014). The relationship between daily European precipitation and measures of atmospheric water vapour transport, *International Journal of Climatology* 35.8 (2015): 2187-2192.
- 16- Lindesay J. A., & Dabreton P. C. (1993). Water vapor transport over southern Africa during wet and dry early and late summer months. In. *J. climatology*, Vol. 13, pp: 151-170.
- 17- Magee, L. (1990). R2 measures based on Wald and likelihood ratio joint significance tests, *The American Statistician*, Vol. 44, No. 3: 250-253, doi:10.1080/00031305.1990.10475731.
- 18- Nayak, M. A., G. Villarini & Lavers, D.A. (2014). On the skill of numerical weather prediction models to forecast atmospheric rivers over the central United State, *Geophys. Res. Lett.*, 41: 4354-4362, doi:10.1002/2014GL060299.
- 19- 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, *Mon. Wea. Rev.*, 132, 1721-1745.
- 20- Ralph, F.M., Coleman, T., Neiman, P.J., Zamora, R., & Dettinger, M.D. (2013). Observed impacts of duration and seasonality of atmospheric-river landfalls on soil moisture and runoff in coastal northern California, *J. Hydrometeorol.* 14: 443-459.
- 21- Viale, M., & Nunez, M. N. (2011). Climatology of Winter Orographic Precipitation over the Subtropical Central Andes and Associated Synoptic and Regional Characteristics, *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 12 Issue 4, pp: 481.
- 22- Zhang, R. (2001). Relations of water vapor transport from Indian monsoon with that over East Asia and the summer rainfall in china. *Advances in Atmospheric Science*, Vol. 18, No. 5, pp: 1005-1017.
- 23- Zhou, T. J., & Yu, R. C. (2005). Atmospheric water vapor transport associated with typical anomalous summer rainfall patterns in China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 110, and D08104, doi: 10.1029/2004JD005413.