

## الگوی فرارفت رطوبتی بارش‌های فراگیر ایران

یونس خسروی<sup>۱</sup> و مهدی دوستکامیان<sup>۲</sup>

تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۱/۱۷، تاریخ تایید: ۱۳۹۶/۴/۳

### چکیده

انتقال بخار آب در جو، وابستگی مستقیمی به شرایط گردش جوی دارد و با تغییرات گردش جو در طی سال میزان و مسیر انتقال رطوبت نیز تغییر می‌یابد. یکی از مؤلفه‌های گردش جوی مؤثر در وزش و انتقال رطوبت، مراکز پرفشار هستند که در صورت قرارگیری بر روی سطح آب و منابع تأمین رطوبتی می‌تواند موجب وزش رطوبتی در سطح گسترده‌ای شوند. با این حال نقش سامانه‌های کم‌فشار و سیکلون‌ها در وزش و شار رطوبت اگرچه به اندازه سامانه‌های پرفشار نیست، ولی نقش به‌سزایی نیز در انتقال و نحوه وزش رطوبتی دارند. هدف از این پژوهش، بررسی و مطالعه وزش رطوبتی بارش‌های ایران می‌باشد. برای این منظور داده‌های فشار، رطوبت ویژه، مؤلفه مداری و نصف‌النهار سطوح ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال از پایگاه داده NCEP/NCAR وابسته به سازمان جو و اقیانوس‌شناسی ایالات متحده آمریکا استخراج مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که وزش رطوبتی بارش‌های ایران ناشی از الگوی وزش رطوبتی کم‌فشار دو هسته‌ای سودان و شرق مدیترانه - پرفشار اروپا، الگوی وزش رطوبتی کم‌فشار چند هسته‌ای ایران مرکزی، شرق مدیترانه و جنوب شرق عربستان، الگوی وزش رطوبتی پرفشار شمال غرب اروپا - کم‌فشار خلیج فارس، الگوی وزش رطوبتی پرفشار سیبری و قزاقستان - کم‌فشار جنوب شرق ایران و کم‌فشار مدیترانه بوده است. در مجموع نتایج نشان داد که دریای عرب در تراز پایین و دریای مدیترانه در تراز بالا بیشترین نقش را در وزش رطوبتی بارش‌های ایران داشته‌اند.

کلیدواژگان: وزش رطوبتی، مؤلفه مداری و نصف‌النهار باد، توزیع مکانی، بارش، ایران

۱. استادیار گروه علوم محیط زیست، زنجان، دانشگاه زنجان، نویسنده مسئول

۲. دانشجوی دکتری تغییر اقلیم، زنجان، دانشگاه زنجان

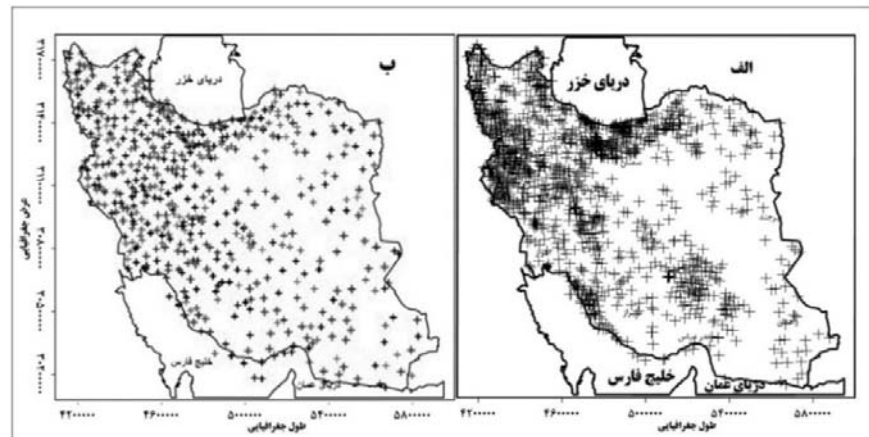
## مقدمه

بخارآب هم به‌صورت مرئی (ابر) هم به‌صورت نامرئی (بخارآب) در جو وجود دارد و بر انتقال امواج تابشی زمین و خورشید و همین‌طور تغییر شکل بخارآب در جو اثر می‌گذارد. بخارآب موجود در جو به شکل‌های گوناگونی مانند ابر، مه و بارندگی که معمولاً از آن‌ها به وضعیت جوی تعبیر می‌شود در جو ظاهر می‌گردد. از این‌رو اندازه‌گیری بخارآب موجود در جو، مفهوم و تأثیر ترمودینامیکی آن در هواشناسی بسیار مهم و لازم است (قائم، هوشنگ، ۱۳۸۶: ۲۷۴). محتوای بخارآب در هر نقطه از جو نتیجه توأمان تبخیر محلی و انتقال رطوبت در راستای افقی و عمودی است و در نقاط مختلف و عرض‌های جغرافیایی متفاوت یکسان نیست. به‌گونه‌ای که توزیع رطوبت جو در راستای افقی به دمای هوا و ناهمواری‌های سطح بستگی دارد و از آنجاکه میزان رطوبت جو به دمای هوا بستگی دارد، میزان بخارآب موجود در جو (رطوبت ویژه) با کاهش دما از استوا به سمت قطبین کاهش می‌یابد (شریعتمداری، ۱۳۹۱: ۱۸۶)؛ به‌گونه‌ای که طبق معادله کلازیوس-کلاپیرون رابطه دما با ظرفیت نگهداری آب در جو نمایی است و به‌طور تقریبی با افزایش ۱ درجه کلوین ۷ درصد گنجایش رطوبتی جو افزایش می‌یابد (منیب و ویتزالد، ۱۹۶۷: ۱؛ آلن و اینگرام، ۲۰۰۲: ترینبرث و همکاران، ۲۰۰۷). محتمل است که با افزایش دما در مناطقی که ذخایر آب نامحدود است (نظیر اقیانوس‌ها) مقدار نم ویژه نیز افزایش یابد؛ اگر نم نسبی ثابت بماند و تغییری نکند (ترینبرث، ۱۹۹۹: ۱۳۶۸). در مناطقی که رطوبت محدود است (نظیر مناطق خشک)، مقدار نم ویژه کمتر افزایش می‌یابد و از این‌رو، دما به بیشترین حد خود می‌رسد و نم نسبی کاهش می‌یابد. به‌طور کلی فرض بر این است که پراکنش نم نسبی در جو در مقیاس‌های زمانی طولانی مدت ثابت بماند (آلن و اینگرام، ۲۰۰۲: ۲۲۴). به‌گونه‌ای که حداکثر مقدار رطوبت جو به دلیل دمای بالا و گسترش وسیع اقیانوس‌ها در نواحی حاره و کمترین مقدار رطوبت جو در نواحی برون حاره و قطبی قابل مشاهده می‌شود. درحالی‌که مقدار رطوبت نسبی هوا در دو منطقه حاره و قطب تقریباً برابر است چراکه رطوبت نسبی درجه اشباع بخارآب جو را بیان می‌کند و کاملاً در کنترل دمای هوا است (شریعتمداری، ۱۳۹۱: ۱۸۶). روند تغییرات زمانی و مکانی رطوبت به‌گونه‌ای است که تغییرات آن در راستای افقی و عمودی از تغییرات شبانه‌روزی و فصلی تا تغییرات سالانه متفاوت است و بسته به شرایط دمایی، ناهمواری، ارتفاع، عرض جغرافیایی و دوری و نزدیکی به دریا کاملاً متفاوت است (شریعتمداری، ۱۳۹۱: ۱۸۹). فرایندها و عوامل دخیل در پدیده بارش از دیرباز مورد توجه محققین بوده و از جنبه‌های مختلف مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. یکی از این جنبه‌ها بررسی سازوکار انتقال و شناسایی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران است؛ از آنجاکه ایران در محل گذار شرایط اقلیم حاره‌ای و عرض‌های میانه واقع شده است، تغییرپذیری زمانی و مکانی شدید بارش، موضوعات مرتبط با بارش و منابع آبی از مهم‌ترین مسائل مورد توجه در این سرزمین می‌باشد (فرج‌زاده و کریمی، ۱۳۹۰: ۱۰۹). از آنجاکه ایران از یک‌طرف در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته و منابع رطوبتی سرشاری در این نواحی وجود ندارد و از طرف دیگر دریاچه‌ها و رودهای داخلی توان تأمین رطوبت بارش‌های کشور را ندارند بنابراین؛ رطوبت بارش‌های ایران از منابع آبی و رطوبتی نواحی مجاور به‌وسیله بادهای منطقه‌ای و سیاره‌ای از دریای سرخ، دریای سیاه، دریای عمان، خلیج بنگال، دریای مدیترانه تأمین می‌شود (علیجانی، ۱۳۸۹: ۱۰۸) درزمینه وزش رطوبتی و تأثیر آن بر بارش در داخل و خارج از ایران تحقیقات زیادی انجام گرفته است؛ ولی از آنجاکه اکثر این مطالعات به‌صورت کلی بوده است؛ بنابراین در این مطالعه سعی بر آن است تا

وزش رطوبتی بارش‌ها در پهنه ایران مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. از جمله مطالعات صورت گرفته در خارج کشور می‌توان به مطالعه مؤلفه‌های مؤثر گردش جو و انتقال رطوبت به وسیله جت جنب حاره که یکی از عوامل مؤثر در کاهش بارش‌های خاورمیانه است اشاره کرد چراکه جت جنب حاره‌ای هوای گرم و مرطوب را از نواحی جنوبی (حاره‌ای آفریقای شرقی و خلیج عدن) در ترازهای میانی و فوقانی و ردسپهر بر روی خاورمیانه به خصوص مصر و اردن منتقل می‌کنند (دایان و ابرامسکی، ۱۹۹۸: ۱۱۳۸). این جریان جت به همراه ناوه دریای سرخ به صورت توأمان در انتقال بخار آب از دریای عرب به خاورمیانه و شرق مدیترانه مشارکت دارند (کریچاک و آلبرت، ۱۹۹۸: ۱۹۴۵۳). همچنین انتقال مقادیر زیاد بخار آب از سوی آب‌های استوایی توسط رودباد سومالی یا همراهی و اچرخند استرالیا طی ماه‌های خرداد، تیر و مرداد بارش‌های سنگینی در چین خاوری ایجاد کرده است (ژاو و یو، ۲۰۰۵: ۱). شبیه‌سازی هسته‌های همرفتی قوی کوتاه‌مدت در حرکات صعودی کلان‌مقیاس به وسیله مدل پژوهش و پیش‌بینی هوا در بارش سنگین ۲۶ ژوئیه سال ۲۰۰۵ بمبئی هندوستان نشان داد که منبع رطوبت این سامانه جریان‌های شمال و شمال‌غربی با منشأ دریای عرب بوده است (کومر و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۸۷۹). در مطالعات داخلی بررسی و مطالعه منشأ رطوبتی بارش‌های ایران طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۱۹۹۶ نشان داد که دریای عرب و مدیترانه به علت انتقال حجم زیادی از رطوبت بر روی ایران مهم‌ترین نقش را در تأمین رطوبت بارش‌های ایران دارند (کریمی احمدآبادی، ۱۳۸۶: ۲۰۲). همچنین در مطالعه‌ای دیگر بررسی بارش‌های سیل‌زا در استان کهگیلویه و بویراحمد طی دوره آماری ۱۳۶۸-۱۳۷۸ نشان داد که نفوذ، تقویت و تشدید کم‌فشار سودان و همگرایی دریای سرخ به همراه منطقه همگرایی دیگر بر روی قسمت استوایی آفریقا و خلیج گینه موجب بارش‌های سیل‌زا در این منطقه شده است (انصاری، ۱۳۸۲: ۲۰۲)؛ بنابراین با توجه به اهمیت زیاد بارش و رطوبت در ایران و اینکه عوامل مرتبط با بارش در ایران هنوز کاملاً شناخته نشده‌اند. بررسی و شناسایی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران جهت استفاده در برنامه‌ریزی، مدیریت منابع آب، پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیمی لازم به نظر می‌رسد. پس با توجه به اینکه ضرورت انجام کارهای تحقیقاتی در این زمینه لازم به نظر می‌رسد. هدف پژوهش حاضر، بررسی و مطالعه سازوکار انتقال رطوبت و شناسایی منابع رطوبتی بارش‌های ایران می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور بررسی وزش رطوبت جو با تأکید بر الگوهای وزش رطوبتی بارشی ایران از دو پایگاه داده استفاده شد. نخست پایگاه داده محیطی حاصل میان‌یابی مشاهدات بارش روزانه ۱۴۶۰ ایستگاه همدیدی و اقلیمی و رطوبت ۴۸۳ ایستگاه سینوپتیکی و اقلیمی از ابتدای سال ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۳ از پایگاه داده‌های اسفزاری و همچنین پایگاه داده تکمیل شده داده‌های بارش از سال ۱۳۸۳ تا انتهای ۱۳۹۰ می‌باشد. تفکیک مکانی این داده‌ها ۱۵×۱۵ کیلومتر است که در سیستم تصویر لامبرت مخروطی هم‌شکل نگاشته شده‌اند. بدین ترتیب تعداد یاخته‌ها در سراسر ایران ۷۱۸۷ یاخته می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: الف. پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده در پایگاه اسفزاری و ب. پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده برای تکمیل پایگاه اسفزاری بعد از تشکیل پایگاه داده‌ای به منظور تعیین روز بارشی از سه شرط استفاده شده است: ۱. روزی که بارش یک میلی‌متر و بالاتر را تجربه کرده باشد؛ ۲. حداقل دو روز تداوم داشته باشد و ۳. حداقل ۵۰ درصد پوشش داشته باشد. با تعریف این شرط‌ها فقط بارش‌های فراگیر برای هر کدام از یاخته‌های مورد بررسی مورد توجه قرار می‌گیرند و مفهوم نسبی بودن بارش فراگیر برای مناطق مختلف کشور رعایت می‌شود. شرط دوم نیز تداوم این بارش‌ها به مدت حداقل ۲ روز می‌باشد. با در نظر گرفتن این شرط بارش‌های با منشأ سامانه‌ای از بارش‌های محلی که بر اثر عوامل محیطی (مانند ارتفاع) رخ می‌دهند تفکیک می‌شوند. پایگاه داده دوم داده‌های جوی است که از داده‌های فشار تراز دریا، مؤلفه باد مداری و نصف‌النهار، رطوبت ویژه و ارتفاع ژئوپتانسیل پایگاه داده‌ای (NCEP/NCAR) وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس‌شناسی ایالات متحده آمریکا در ترازهای ۸۵۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال استخراج شده است. پس از استخراج روزهای بارشی فراگیر به منظور شناسایی الگوهای فرارفت رطوبتی بارش فراگیر ایران از تحلیل خوشه‌ای استفاده شده است. در گام بعدی با هدف انجام طبقه‌بندی بر روی داده‌های فشار سطح دریا و شناسایی روزهای نماینده اقدام به تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌ها شد. به منظور انتخاب روزهای نماینده حاصل از گروه‌های به دست آمده از روش همبستگی لوند استفاده شده است. به این ترتیب برای انتخاب روز نماینده، روزی که بالاترین شباهت را با بیش‌ترین تعداد روزهای گروه دارد انتخاب شد. ضریب همبستگی معرف درجه همانندی الگوهای دو نقشه با همدیگر است. برای این کار باید ضریب همبستگی آستانه معینی را پذیرفت. مقدار ضریب همبستگی در این‌گونه موارد نوعاً بین ۰/۵ تا ۰/۷ تغییر می‌کند. روزهای نماینده بر پایه آستانه ۰/۵۱ استخراج شد. بنابراین روزی که با تعداد روزهای بیشتری ضریب همبستگی ۰/۵۱ داشته باشد به عنوان روز نماینده انتخاب گردید.

#### یافته‌ها

الف. مشخصات توصیفی: در شکل ۲ نقشه توزیع مکانی وزش رطوبتی و میزان ضریب تغییرات مربوط به فصل بهار در ماه فروردین نشان می‌دهد که در اکثر مناطق منطقه مورد مطالعه وزش رطوبتی مثبت برقرار است. به طوری که

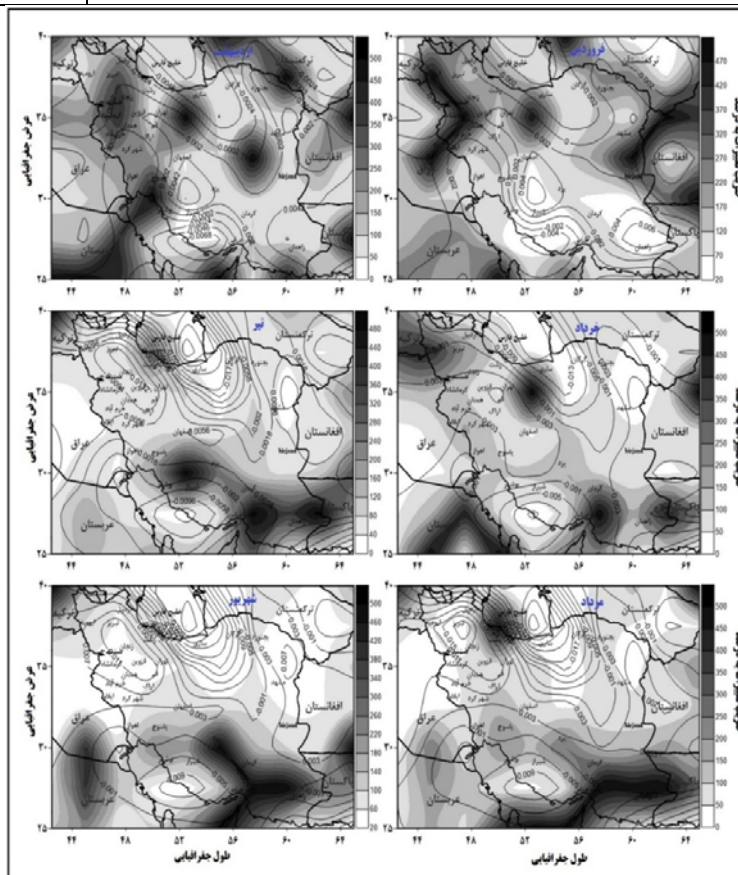
حداکثر وزش رطوبتی مثبت در نواحی جنوب شرق به مقدار (۰/۰۰۶ گرم بر کیلوگرم) و حداقل میزان وزش رطوبتی در نواحی سواحل خلیج فارس به مقدار (۰/۰۰۴- گرم بر کیلوگرم) می‌باشد. از طرفی دیگر کم‌ترین میزان ضریب تغییرات در ماه فروردین مربوط به جنوب استان فارس، جنوب شرق کشور (زاهدان) و پس از آن در ایران مرکزی و بیشترین میزان ضریب تغییرات مربوط به نواحی غربی و شمال غربی و نواحی جنوبی خراسان بوده است. میزان ضریب تغییرات ماه اردیبهشت در سطح کشور دارای پراکندگی مکانی زیادی است و پیوستگی خاصی در مناطق مختلف کشور دیده نمی‌شود به طوری که در اکثر مناطق کشور ضریب تغییرات بالایی به چشم می‌خورد. بیشترین میزان ضریب تغییرات در ماه خرداد مربوط به شمال غرب، قسمت‌هایی از شمال و جنوب شرق کشور است که دارای میزان وزش رطوبتی (۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۳) و کمترین میزان ضریب تغییرات مربوط به قسمت‌هایی از سواحل خلیج فارس که دارای وزش رطوبتی منفی به مقدار (۰/۰۰۵- گرم بر کیلوگرم) بوده است. حداقل وزش رطوبتی منفی در ماه آبان به مقدار (۰/۰۰۹-) در سواحل دریای خزر و دریای خلیج فارس و حداکثر میزان وزش رطوبتی به مقدار (۰/۰۰۱) گرم بر کیلوگرم) در نواحی مرکزی، شرقی، جنوب شرقی و شمال شرقی قرار دارد. حداکثر مقدار وزش رطوبتی در ماه آذر به مقدار (۰/۰۰۳ گرم بر کیلوگرم) در نواحی مرکزی ایران (اصفهان و یزد) و حداقل میزان وزش رطوبتی منفی در نواحی سواحل خلیج فارس به میزان (۰/۰۰۷- گرم بر کیلوگرم) بوده است (شکل ۲). کمترین میزان ضریب تغییرات (شکل ۳) در مهر و آبان مربوط به مناطق شمال، شمال شرق و نواحی سواحل خلیج فارس و بیشترین میزان ضریب تغییرات در نواحی مرکزی و شرقی و قسمت‌هایی از شمال غرب کشور بوده است. به طوری که شدت ضریب تغییرات در ماه آبان در نواحی شمال غربی بیشتر از عنوان مشابه خود در ماه مهر است. تفاوت اساسی میزان حداقل ضریب تغییرات در فصل پاییز مربوط به ماه آذر در نواحی ساحلی خلیج فارس است. حداکثر وزش رطوبتی فصل زمستان (شکل ۳) در ماه دی به میزان (۰/۰۰۴ گرم بر کیلوگرم) مربوط به مناطق شمال شرق، جنوب شرق و شمال غرب و بعد از آن در ماه بهمن به میزان (۰/۰۰۴) در نواحی ایران مرکزی (یزد و اصفهان) و کمترین میزان وزش رطوبتی مثبت در ماه اسفند به میزان (۰/۰۰۴۸) در نواحی جنوب شرقی و مرکزی کشور وجود دارد و حداقل وزش رطوبتی منفی در فصل زمستان به میزان (۰/۰۰۶۸- تا ۰/۰۰۳۲- گرم بر کیلوگرم) در نواحی سواحل خلیج فارس مربوط به ماه دی و میزان (۰/۰۰۰۵-) در نواحی غربی، جنوب غربی و سواحل دریای خزر مربوط به ماه بهمن است. میزان ضریب تغییرات در فصل زمستان در ماه دی (شکل ۳) مربوط به سواحل دریای خزر و شمال شرق و در ماه اسفند نوار کوهستانی البرز و شمال شرق کشور و در ماه اسفند شمال غرب، شمال شرق، نواحی از جنوب شرق (کرمان) و کمترین میزان ضریب تغییرات در فصل زمستان در نواحی ساحلی خلیج فارس، جنوب استان فارس قرار دارد. کمترین میزان ضریب تغییرات وزش رطوبتی (شکل ۲) در فصل تابستان (تیر، مرداد و شهریور) بوده است به طوری که کمترین میزان ضریب تغییرات در نواحی شمالی، شرقی و قسمت‌هایی از غرب کشور و بیشترین مقدار ضریب تغییرات در نواحی جنوبی و جنوب شرق کشور بوده است. حداقل وزش رطوبتی منفی در فصل تابستان در نواحی شمالی کشور مربوط به ایستگاه‌های ساری، گرگان و در نواحی ساحلی خلیج فارس می‌باشد که بر حداقل ضریب تغییرات در تمام فصل تابستان منطبق است در حالی که مناطق حداکثر وزش رطوبتی بر مناطق دارای حداکثر ضریب تغییرات منطبق نمی‌باشد. حداکثر میزان وزش رطوبتی مثبت فصل پاییز در ماه مهر به مقدار (۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۷ گرم بر کیلوگرم) در شرق و شمال شرق و

همین‌طور در ایستگاه‌های تهران و قزوین و حداقل میزان وزش رطوبتی منفی به مقدار (۰/۰۰۸- گرم بر کیلوگرم) در نواحی شمال‌غربی و جنوبی کشور در سواحل خلیج فارس وجود دارد.

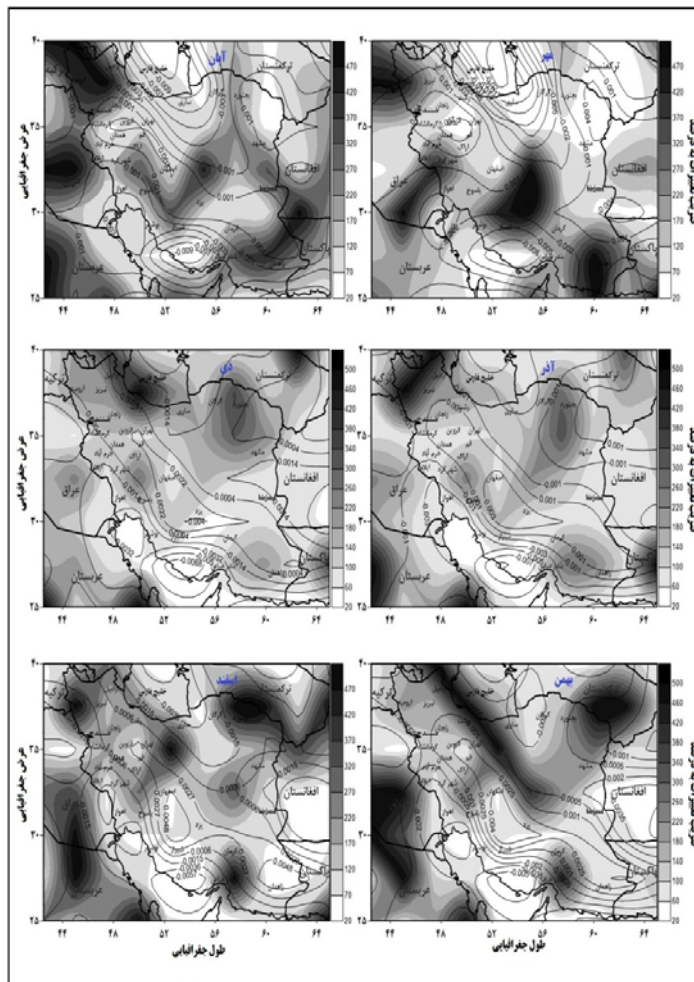
ب. تحلیل الگوی وزش رطوبتی بارش‌های ایران: شکل ۴ دندروگرام الگوهای وزش رطوبتی بارش‌های فراگیر ایران را نشان می‌دهد. پس از ترسیم دندروگرام با کمک همبستگی لوند روز نماینده برای هر ناحیه شناسایی شده است که مشخصات آنها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات الگوی وزش رطوبتی بارش ایران

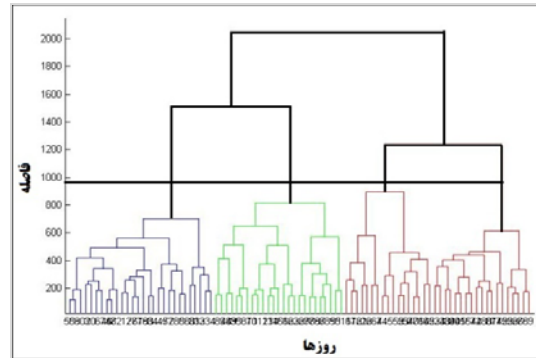
الگو	فراوانی
کم فشار دو هسته‌ای سودان و شرق مدیترانه- پر فشار اروپا	۸۹
کم فشار چند هسته‌ای ایران مرکزی، شرق مدیترانه و جنوب شرق عربستان	۳۸
پر فشار شمال غرب اروپا- کم فشار خلیج فارس	۴۱
پر فشار سیبری و قزاقستان- کم فشار جنوب شرق ایران و کم فشار مدیترانه	۵۳



شکل ۲: توزیع مکانی میانگین و ضریب تغییرات وزش رطوبتی (گرم بر کیلوگرم)



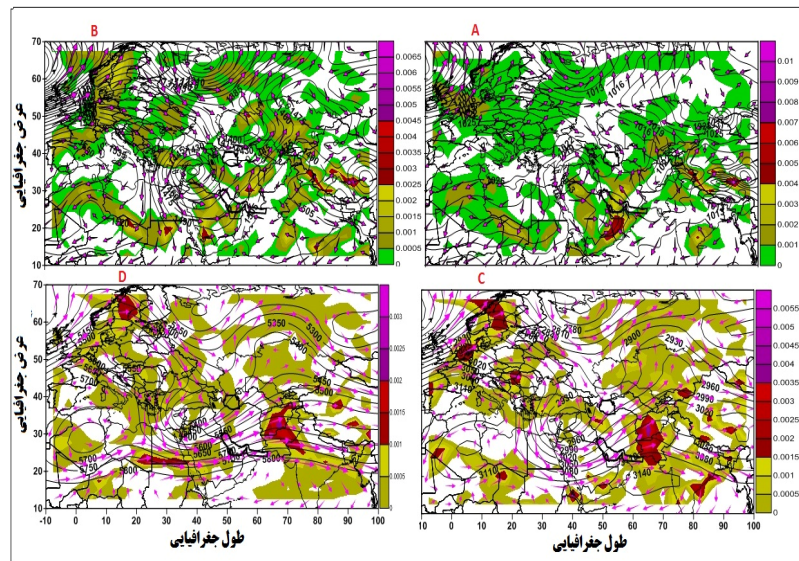
شکل ۳: توزیع مکانی میانگین و ضریب تغییرات وزش رطوبتی (گرم بر کیلوگرم)



شکل ۴: دندروگرام حاصل تحلیل خوشه‌ای برای الگوی فرارفت رطوبتی بارش‌های فراگیر ایران

الگوی وزش رطوبتی کم‌فشار دو هسته‌ای سودان و شرق مدیترانه - پرفشار اروپا (۱۹۷۴/۱/۲۳): شکل (۵) توزیع مکانی الگوی هم‌مدیدی - دینامیکی و وزش رطوبتی ناشی از (کم‌فشار دو هسته‌ای سودان و شرق مدیترانه - پرفشار اروپا) نشان می‌دهد. در نقشه فشار تراز دریا به همراه باد مداری و نصف‌النهاری و وزش رطوبتی (شکل ۱- A) سامانه کم‌فشار سودانی با پیشروی به سمت نواحی شمالی و عرض‌های بالاتر بر روی جنوب شرق عربستان و حوضه خلیج فارس قرار گرفته و منجر به وزش رطوبتی به میزان  $0/005$  گرم بر کیلوگرم به سمت نواحی جنوبی ایران شده است، این در حالی است که وزش رطوبتی دریای خزر به سمت نواحی داخلی ایران نسبت به دریای عرب و خلیج فارس بسیار ضعیف و ناچیز است. در همین راستا سامانه کم‌فشار شرق مدیترانه بر روی نواحی مرکزی سوریه و عراق قرار گرفته است و از آنجا که پرفشار اروپا از روی دریای مدیترانه و دریای سیاه عبور کرده و وارد نواحی شمال غربی ایران شده است. از یک طرف، موجب شیو فشاری شدید با کم‌فشار شرق مدیترانه در نواحی شمال غربی ایران و شرق ترکیه شده است و از طرف دیگر، منجر به ایجاد شیو فشاری شدیدی در نواحی غربی دریای خزر به دلیل حضور سامانه کم‌فشار قزاقستان و ترکمنستان شده است. سامانه پرفشار مستقر بر روی مدیترانه به سمت نواحی شمالی دریای سرخ پیشروی کرده و در برخورد با کم‌فشار سودانی موجب دینامیکی شده کم‌فشار سودانی شده است، از آنجا که بارش‌های جنوب غربی ایران نتیجه‌ی تقویت و تشدید فعالیت مرکز کم‌فشار سودانی و منطقه همگرایی دریای سرخ و تبدیل آن به سیستم دینامیکی و ترمودینامیکی است (لشکری، ۱۳۷۵: ۱۴۶) با تقویت شار رطوبتی از سوی دریای سرخ، خلیج فارس و دریای عمان موجب بارش فراگیر در نواحی جنوبی و جنوب غربی کشور شده است. در تراز  $850$  هکتوپاسکال (شکل ۵- B) کم‌فشار مستقر در نواحی شرقی مدیترانه موجب ایجاد پدیده بلوکی‌نگ و ایجاد سرد چالی شده است که منجر به انحراف جریانات شرق سو از نواحی شرقی مدیترانه تا دریای سرخ شده است. به گونه‌ای که در تراز  $850$  هکتوپاسکال مسیر وزش رطوبت به سمت نواحی داخلی ایران از سوی دریای مدیترانه به واسطه حضور کم‌فشار بلوکه شده مذکور و در دریای سرخ و خلیج فارس به واسطه جریانات نزولی عرض‌های بالاتر به سمت این منابع آبی و مناطق تأمین رطوبت بوده است. در تراز  $700$  و  $500$  هکتوپاسکال (شکل C و D) چرخند شرق مدیترانه همچنان در نواحی سوریه، عراق، اردن و ترکیه برقرار است و وزش رطوبتی به مقدار  $0/001$  گرم بر کیلوگرم به سمت نواحی شمال غرب ایران را به وجود آورده است؛ این در حالی است که بیشترین مقدار وزش رطوبتی در نواحی جنوب شرقی کشور به میزان  $0/002$  گرم بر کیلوگرم از سوی شبه‌قاره هند و خلیج بنگال برقرار است؛ بنابراین از آنجا که ترکیب سامانه‌های سودانی و چرخندهای شرق مدیترانه بهترین حالت را برای ایجاد بارش‌های شدید در جنوب غرب ایران ایجاد می‌کنند (سبزی‌پور، ۱۳۷۰: ۷۸)، این وضعیت کاملاً در این الگوی بارشی با وزش رطوبتی از سوی دریای مدیترانه، دریای سیاه، خلیج فارس، دریای عرب و دریای سرخ به واسطه حضور چرخند قوی با گسترش قائم از سطح زمین تا تراز  $500$  هکتوپاسکال در شرق مدیترانه و نفوذ کم‌فشارهای سودانی به سمت نواحی جنوبی ایران موجب ایجاد بارش فراگیر در نیمه جنوبی کشور شده است. در همین راستا ایجاد شیو فشاری شدید در نواحی شمالی و شمال غربی کشور به واسطه حضور پرفشار اروپا و کم‌فشار مستقر در نواحی شرقی دریای خزر و تأمین رطوبت مورد نیاز از سوی دریای خزر، مدیترانه و سیاه منجر به ایجاد بارش فراگیر در نیمه شمالی کشور شده است.

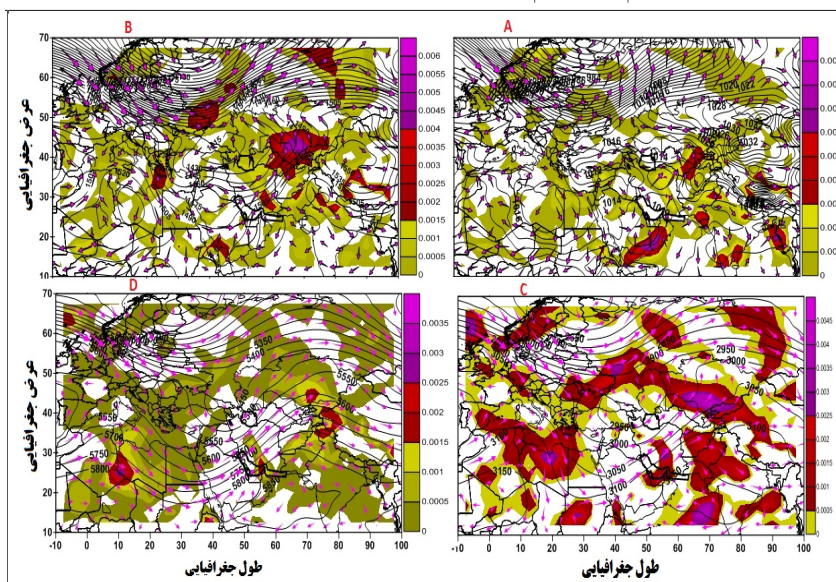




شکل ۵: (A): فشار تراز دریا برحسب هکتوپاسکال و وزش رطوبتی برحسب گرم بر کیلوگرم، (B): فشار تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و وزش رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم، (C): فشار تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و وزش رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم، (D): فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و وزش رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم

الگوی وزش رطوبتی کم‌فشار چندهسته‌ای ایران مرکزی، شرق مدیترانه و جنوب شرق عربستان (۱۹۷۲/۳/۲۳): شکل (۶) توزیع مکانی الگوی همدیدی-دینامیکی و وزش رطوبتی ناشی از کم‌فشار چندهسته‌ای ایران مرکزی، شرق مدیترانه و جنوب شرق عربستان نشان می‌دهد. در تراز دریا (شکل ۶-A) در نواحی داخلی ایران دو سامانه کم‌فشار در نواحی شمالی و جنوبی تشکیل شده است. به گونه‌ای که سامانه کم‌فشار نیمه شمالی کشور تا روی دریای خزر و کم‌فشار جنوبی تا روی نوار ساحلی و خلیج فارس کشیده شده است. این در حالی است که دو سامانه کم‌فشار دیگر در نواحی جنوب شرق عربستان و شرق مدیترانه مستقر است و به سمت نواحی داخلی ایران متمایل شده‌اند؛ بنابراین تمام منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر سامانه‌های کم‌فشار داخلی و مهاجر قرار گرفته است؛ و از آنجایی که سامانه‌های کم‌فشار در کنار منابع آبی و رطوبتی تشکیل شده‌اند منجر به وزش رطوبتی به سمت نواحی داخلی ایران شده‌اند. این در حالی است که کم‌فشار نوار ساحلی خلیج فارس به دلیل گستره مکانی پایین و قرار نگرفتن بر روی آب‌های خلیج فارس شار و وزش رطوبتی چندانی را در این منطقه ایجاد نکرده است. در حالی که حداکثر میزان وزش رطوبتی از سوی دریای عرب و شبه جزیره عربستان به مقدار  $0.004$  گرم بر کیلوگرم و وزش رطوبتی در نیمه شمالی کشور از شمال غرب تا شمال شرق به واسطه کم‌فشار شرق مدیترانه و نواحی شمالی به میزان  $0.002$  گرم بر کیلوگرم برقرار است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل ۶-B) سامانه کم‌فشار جنب قطبی با حجم گسترده و وسیع در حال حرکت به سمت عرض‌های پایین است. به گونه‌ای که هسته امگایی شکلی با ماهیت سرد از آن جدا شده و موجب ایجاد پدیده بلوکینگ بر روی دریای سیاه و شرق مدیترانه شده است.

وضعیت پدیده بلوکینگ به‌گونه‌ای است که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال کاملاً مشخص است درحالی‌که در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶-C) تبدیل به فرود عمیقی شده که از نواحی شرق مدیترانه تا دریای سرخ کشیده شده است؛ و منجر به وزش جریانات سرد و انتقال رطوبت دریای سیاه از سمت نواحی غربی و شمال‌غربی ایران شده است. در این شرایط برخلاف وضعیت سینوپتیکی و همدیدی حاکم بر تراز ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال که تقریباً شرایطی یکسان دارند به لحاظ شرایط وزش رطوبتی شرایط کاملاً متفاوتی برقرار است؛ به‌گونه‌ای که در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال وزش رطوبتی به مقدار ۰/۰۰۱ گرم بر کیلوگرم از سمت دریای خزر و دریای عرب به سمت نواحی داخلی ایران در جریان است و بیشترین مقدار وزش رطوبتی به مقدار ۰/۰۰۴ گرم بر کیلوگرم در خارج از ایران در ناحیه ازبکستان و قزاقستان و در نواحی داخلی به مقدار ۰/۰۰۲ گرم بر کیلوگرم در جنوب شرق کشور برقرار است. درحالی‌که در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال وزش رطوبتی از سوی خلیج فارس به سمت نواحی جنوبی کشور به مقدار ۰/۰۰۲ گرم بر کیلوگرم برقرار است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶-D) فرود شرق مدیترانه با فرود شمال آفریقا هم‌محور شده است و حجم وسیعی از جریان هوا را بر روی دریای سرخ منتقل کرده است و از آنجا که تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نقش چندانی در شار و انتقال رطوبت دریای سرخ ندارد وزش رطوبتی مثبتی در این نواحی مشاهده نمی‌شود. درحالی‌که بیشترین مقدار وزش رطوبتی به مقدار ۰/۰۰۲ گرم بر کیلوگرم بر روی دریای عرب به سمت نواحی جنوبی کشور برقرار است.

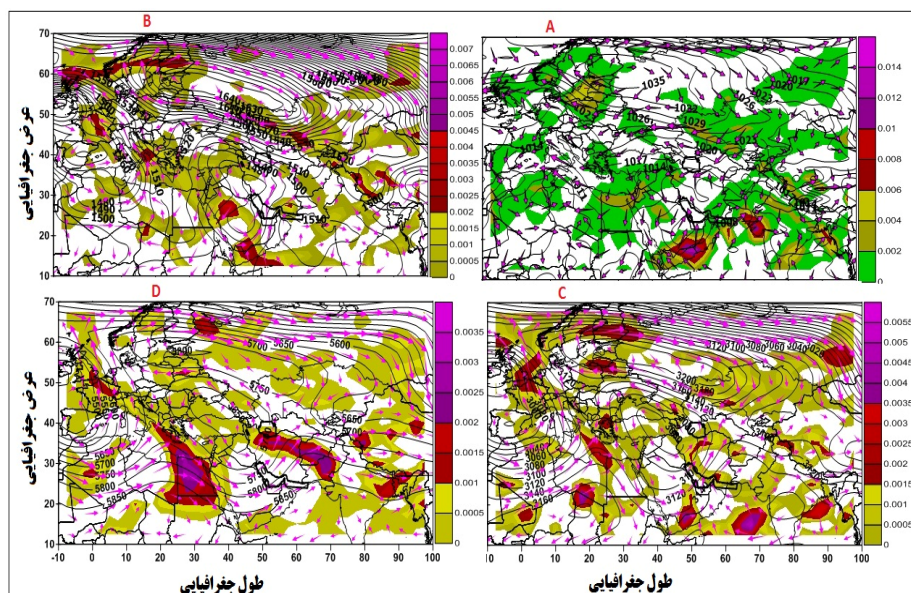


شکل ۶: (A): فشار تراز دریا برحسب هکتوپاسکال و وزش رطوبتی برحسب گرم بر کیلوگرم. (B): فشار تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و وزش رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم. (C): فشار تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و وزش رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم. (D): فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و وزش رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم

الگوی وزش رطوبتی پرفشار شمال غرب اروپا-کم فشار خلیج فارس (۱۹۹۵/۴/۲۳): شکل (۷) توزیع مکانی الگوی همدیدی-دینامیکی و وزش رطوبتی ناشی از (پرفشار شمال غرب اروپا-کم فشار خلیج فارس) را نشان می‌دهد. در نقشه فشار تراز دریا (شکل ۷-A) سامانه کم‌فشاری بر روی خلیج فارس و جنوب شرق عربستان تشکیل شده است و از آنجا که

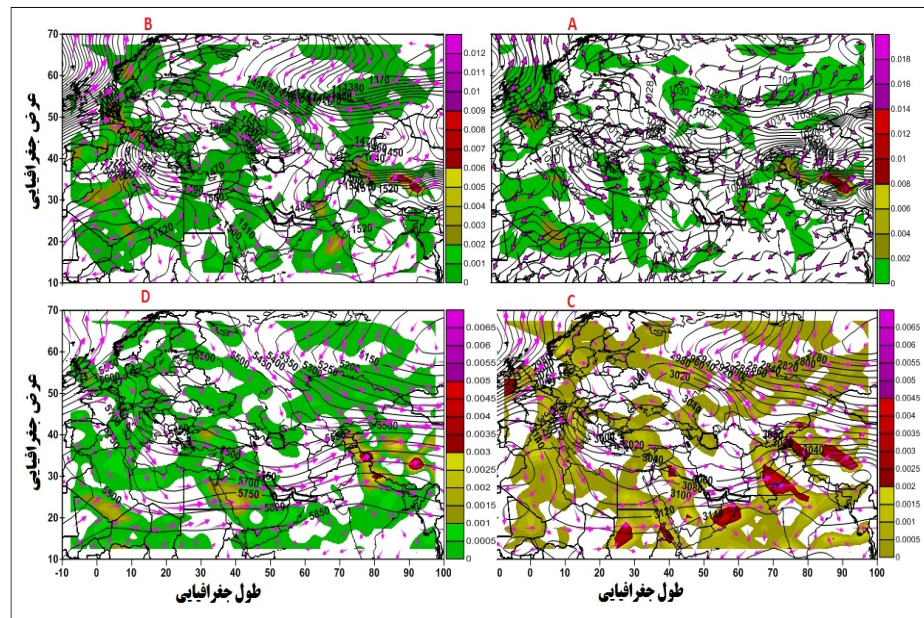
از جریان باد مداری و نصف‌النهاری مشخص است این سامانه با حرکت سیکلونی خود به سمت نواحی مرکزی عراق و سوریه کشیده شده است. این در حالی است که سامانه کم‌فشار دیگری بر روی نواحی شمالی آفریقا و سامانه پرفشاری بر روی اروپا قرار دارد و موجب انتقال و شار رطوبت دریای مدیترانه به مقدار  $0/002$  گرم بر کیلوگرم به سمت نواحی شمال‌غربی و غربی کشور شده است. بیشترین مقدار وزش رطوبتی در تراز دریا مربوط به مناطق جنوب‌شرق عربستان به مقدار  $0/01$  گرم بر کیلوگرم است؛ درحالی‌که میزان شار و وزش رطوبتی حاکم در نواحی جنوب‌شرقی کشور به دلیل حضور زبانه‌ای از کم‌فشار مستقر بر روی دریای عرب به مقدار  $0/002$  گرم بر کیلوگرم می‌باشد. در تراز  $850$  هکتوپاسکال شکل (شکل ۷-B) سامانه کم‌فشاری که در تراز دریا حضور داشت در این تراز نیز قابل مشاهده است با این تفاوت که این سامانه کم‌فشار تمام منطقه مورد مطالعه را دربر گرفته است. علاوه بر این حرکت پر ارتفاع شمال‌غرب اروپا به سمت نواحی جنوب‌غربی روسیه و نواحی شمالی دریای خزر موجب ایجاد حداکثر شیو فشار در نواحی شمالی ایران به واسطه حضور سامانه کم‌فشار شده است. ولی از آنجایی که دو هسته کم‌فشار به هم پیوسته بر روی غرب مدیترانه و نواحی جنوب‌غربی اروپا حاکم است در حرکت شرق سوی خود موجب وزش رطوبت به مقدار  $(0/015)$  گرم بر کیلوگرم از سوی دریای مدیترانه و دریای سیاه به سمت نواحی شمال‌غربی ایران شده است. با این حال بیشترین مقدار وزش رطوبتی در تراز  $700$  هکتوپاسکال (شکل ۷-C) در نواحی مرکزی ایران به مقدار  $0/004$  گرم بر کیلوگرم حاکم است چراکه همان‌طور که از جریان باد مشخص است از یک‌طرف، وزش رطوبتی از سوی دریای عرب و خلیج فارس و از طرف دیگر، از سوی دریای مدیترانه و دریای سیاه به واسطه حضور سامانه‌های کم‌فشار به نواحی داخلی ایران برقرار است. این در حالی است که بیشترین مقدار وزش رطوبتی تراز  $500$  هکتوپاسکال (شکل ۷-D) در نواحی شمالی و شمال‌شرقی کشور به واسطه استقرار کم‌فشار بر روی دریای سیاه و دریای خزر و دریای مدیترانه می‌باشد؛ بنابراین حاکمیت سامانه‌های کم‌فشار بر روی ایران و نواحی اطراف به خصوص بر روی منابع تأمین رطوبت دریای مدیترانه، سیاه و خلیج فارس موجب شار و انتقال رطوبت به نواحی مختلف کشور شده است و از آنجایی که شیو فشاری شدید در نواحی شمالی کشور به واسطه پرفشار حاکم بر روی جنوب‌غربی روسیه ایجاد شده است می‌تواند منجر به ایجاد ناپایداری شدید و صعود قائم هوا و در نهایت، منجر به بارش‌های فراگیر در سطح کشور شود.

**الگوی وزش رطوبتی پرفشار سبیری و قزاقستان - کم‌فشار جنوب شرق ایران و کم‌فشار مدیترانه (۲۰۰۹/۱۲/۹):**  
در نقشه تراز دریا (شکل ۸-A) سامانه پرفشار سبیری در مکان تشکیل خود موجب ایجاد دو هسته پرفشار با فشار مرکزی  $1036$  هکتوپاسکال بر روی غرب و  $1034$  هکتوپاسکال در شرق قزاقستان شده است به گونه‌ای که تا روی دریای خزر کشیده شده است و از آنجاکه جریان باد نحوه انتقال و جابه‌جایی رطوبت را در نقشه‌های وزش رطوبتی نشان می‌دهند جهت جریان باد از روی دریای خزر به سمت نواحی داخلی ایران است و بیانگر انتقال و وزش رطوبت به سمت نواحی مرکزی و شمال‌غرب کشور است. این در حالی است که سامانه کم‌فشاری بر روی دریای مدیترانه شکل گرفته و جریان وزش رطوبتی از سمت مدیترانه به سمت نواحی سوریه، عراق و شمال‌غرب ایران است. این در حالی است که در تراز  $850$  هکتوپاسکال (شکل ۸-B) وزش رطوبتی جنوب‌شرق کشور منطبق بر حضور کم‌فشار مستقر در جنوب‌شرق، در غرب کشور به واسطه حضور کم‌فشار مدیترانه و در نواحی شمالی ایران در ارتباط با حضور



شکل ۷: (A): فشار تراز دریا برحسب هکتوپاسکال و وزش رطوبتی برحسب گرم بر کیلوگرم. (B): فشار تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و وزش رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم. (C): فشار تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و وزش رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم. (D): فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و وزش رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم

پرفشار قزاقستان است که در حرکت آنتی سیکلونی خود موجب جریان باد و انتقال رطوبت دریای خزر به سمت نواحی شمالی و داخلی کشور شده است. جریان وزش رطوبتی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸- C) به گونه‌ای است که از یک طرف، استقرار سامانه کم ارتفاع بر روی دریای سیاه منجر به ایجاد جریان باد و به تبع آن وزش رطوبتی به سمت نواحی شرقی ترکیه و شمال غربی کشور شده است و از طرف دیگر، بر ارتفاع مستقر در نواحی شمالی خزر همچنان فعال است و در حال ایجاد جریان باد و وزش رطوبتی به سمت نواحی ساحلی دریای خزر است. در حالی که جریان باد مداری و نصف‌النهاری منطقه شرق مدیترانه بیانگر جریان‌ات شرق سوی منشأ گرفته از مدیترانه در سطحی وسیع به سمت نواحی غربی کشور است، با این تفاوت که علاوه بر نواحی غربی کشور با عبور از دریای سرخ و شبه‌جزیره عربستان وارد نواحی جنوب غربی کشور شده است. به گونه‌ای که وزش رطوبتی جریان یافته به سمت نواحی غربی و جنوب غربی را تقویت کرده و در سطح وسیعی منجر به وزش رطوبتی شده است. جریان وزش رطوبتی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸- D) از سمت نواحی دریای مدیترانه و نواحی مرکزی اروپا برقرار است به طوری که خطوط هم‌ارتفاع در حال ریزش هوای سرد عرض‌های بالا به نواحی جنوبی و غربی کشور است و منجر به وزش رطوبتی به مقدار ۰/۰۰۰۵ گرم بر کیلوگرم شده است.



شکل ۸: (A) فشار تراز دریا برحسب هکتوپاسکال و وزش رطوبتی برحسب گرم بر کیلوگرم. (B) فشار تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و وزش رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم. (C) فشار تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و وزش رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم. (D) فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و وزش رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم

### بحث و نتیجه‌گیری

بررسی سازوکار انتقال و شناسایی منابع تأمین رطوبت بارش‌های یک منطقه و شناسایی مؤلفه‌های چرخه آب بر روی آن از موضوعات موردتوجه در علوم جوی می‌باشد. پژوهش حاضر، باهدف شناسایی منابع تأمین‌کننده رطوبت بارش‌های ایران و نحوه وزش رطوبتی بر روی ایران انجام گرفته است. بدین‌منظور از مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، فشار و وزش رطوبتی تراز دریا، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال استفاده شده است. نتایج نشان داده است که وزش رطوبتی بارش‌های ایران از سوی دریای عرب، خلیج فارس، دریای خزر، دریای مدیترانه، دریای سیاه و دریای سرخ بوده است. این در حالی است که الگوی کلی وزش رطوبت به نحوه جریان و گردش‌های جوی در منطقه وابسته است. به‌گونه‌ای که سامانه‌های کم‌فشار سودان، جنوب شرق عربستان، حوضه خلیج فارس و دریای عرب به همراه کم‌فشارهای شرق مدیترانه و دریای سیاه بیشترین نقش را در وزش رطوبت و نحوه شار رطوبتی به منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. جریان وزش رطوبت به‌گونه‌ای است که بیشترین مقدار وزش رطوبت به سمت نواحی داخلی ایران از سوی دریای عرب، مدیترانه و خلیج فارس بوده است، این در حالی است که بیشترین مقدار وزش رطوبتی به سمت ایران زمانی اتفاق افتاده است که حرکت کم‌فشار سودانی و کم‌فشارهای حوضه خلیج فارس با چرخند شرق مدیترانه همراه بوده است. وزش رطوبتی از سمت منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران به‌گونه‌ای است که بیشترین مقدار وزش و شار رطوبت در تراز پایین جو (تراز دریا تا ۸۵۰ هکتوپاسکال) از سمت دریای عرب و در ترازهای بالاتر از سوی دریای مدیترانه و دریای سیاه و دریای سرخ بوده است. نقش برتر دریای عرب و مدیترانه در تأمین رطوبت بارش‌های ایران

می‌تواند ناشی از عواملی همچون وسعت و عمق زیاد در مقابل دیگر سطوح آبی باشد. علاوه بر این نقش پررنگ‌تر دریای عرب نسبت به دریای مدیترانه به علت واقع شدن در عرض‌های پایین است، چراکه این نواحی معمولاً از ذخیره انرژی زیادی برخوردارند و در دوره سرد سال اختلاف دمای زیادی با هوای بالای سطح خود دارد که این امر بر میزان وزش و شار رطوبتی به سمت نواحی مجاور می‌افزاید.

### کتابشناسی

۱. انصاری، سپهدار (۱۳۸۲)، بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زا در حوضه‌های آبریز کهگیلویه و بویراحمد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر بهلول علیجانی، استاد مشاور، زین‌العابدین جعفر پور، دانشگاه تربیت معلم گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم؛
۲. سبزی‌پور، علی‌اکبر (۱۳۷۰)، بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زا در جنوب‌غرب ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران؛
۳. شریعتمداری، زهرا (۱۳۹۱)، هواشناسی عمومی، چاپ اول، تهران، انتشارات پارسیا؛
۴. کریمی احمدآبادی، مصطفی (۱۳۸۶)، تحلیل منابع رطوبت بارش‌های ایران. پایان‌نامه دکتری، استاد راهنما: دکتر منوچهر فرج‌زاده، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا؛
۵. علیجانی، بهلول (۱۳۹۱)، آب و هوای ایران، چاپ اول، تهران، انتشارات پیام نور؛
۶. قائمی، هوشنگ (۱۳۸۶)، هواشناسی عمومی، چاپ چهارم، انتشارات سمت، تهران؛
۷. لشکری، حسن (۱۳۸۲)، الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران. پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس؛
8. Allen, M.R. and Ingram, W.J. (2002), Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle", Nature. No. 419. pp. 224-232;
9. Allan, R.P. Slingo, A. and Ringer, M.A. (2002), Influence of dynamics on the changes in tropical cloud radiative forcing during the 1998 El Niño, J. Climate. No. 15. pp. 1979-1986;
10. Dayan, U. and Abramski, R. (1983), Heavy rain in the Middle East related to unusual jet stream properties, Bull Amer Meteor Soc, Vol. 64, pp. 1138-1140;
11. Krichak, SO. And Alpert, P. (1998), Role of large scales moist dynamics in November 1-5, 1994, hazardous Mediterranean weather. J Geophysics Res, 103: D16, pp. 19453-19468;
12. Kumar, A., Dudhia, J., Rotunno, R., Niyogi, D. and Mohanty, U.C. (2008), Analysis of the 26 July 2005 heavy rain event over Mumbai, India using the Weather Research and Forecasting (WRF) model, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 134(636), pp.1897-1910;
13. Manabe, S. and Strickler, R.F. (1964), Thermal equilibrium of the atmosphere with a convective adjustment, J. Atmos. Sci. No. 21. pp. 361-385;
14. Trenberth, K.E. (1999), Atmospheric moisture recycling: Role of advection and local evaporation, J. Climate. No. 12. pp. 1368-1381;
15. Trenberth, K.E. et al. (2007), Observations: Surface and atmospheric climate change, in Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contributions of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by S. Solomon et al. U. K. Cambridge: Cambridge Univ. Press;
16. Zhou, T. J. and Yu, R. C. (2005), Atmospheric Water Vapor Transport Associated with Typical Anomalous Summer Rainfall Patterns in China, Journal of Geophysical Research, Vol. 110, pp. 1-10.