بارش‌های ایران
و ارتباط آن‌ها با رودبادها

دکتر میربهروز زکی‌زاده
دکترای اقلیم‌شناسی از دانشگاه خوارزمی
دکتر محمد سلیقه
دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی

اشاره

هدف این پژوهش، شناخت تأثیر جت‌استریم‌ها (رودباد) بر بارش‌های کشور ایران است. در این پژوهش از داده‌های بارش روزانهٔ ایستگاه‌های همدید مرکز استان‌های کشور در دورهٔ زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۸ استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های بادمداری، فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، سرعت قائم جو، رطوبت جو و داده‌های بارش روزانهٔ ۳۱ ایستگاه همدید مراکز استان‌های کشور است. به منظور طبقه‌بندی و شناسایی الگوهای مقدار بارش از روش مؤلفه‌های اصلی و نیز روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی استفاده شد. با استفاده از تحلیل عاملی با رویکرد مؤلفه‌های اصلی با دوران واریمکس بر روی داده‌های بارشی ۱۳ عامل که ۹۲ درصد پراش داده‌ها را تبیین می‌کردند، انتخاب شدند. در مرحلهٔ بعد با استفاده از تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی به روش وارد ۸ روز بارشی شناسایی شد که ۸۵ درصد پراش داده‌ها را تبیین می‌کردند. سپس با استفاده از هم‌بستگی درون‌گروهی، روز نمایندهٔ هر الگو انتخاب شد. با بررسی همدیدی روزهای نمایندهٔ الگوها می‌توان نتیجه گرفت که در تمامی الگوهای بارشی استقرار جت‌استریم‌های قوی با سرعت مرکزی بالای ۵۰ متر در ثانیه و قرارگیری اکثر مناطق ایران در جلوی فرود بلند مدیترانه و همچنین استقرار ناوهٔ سردچالی روی دریای خزر و دریای سیاه باعث ایجاد واگرایی در سطح بالا و ایجاد همگرایی در سطوح پایین شده و با تزریق رطوبت از دریای سرخ و خلیج‌فارس به اتمسفر ایران، شرایط را برای رخداد بارش در اکثر مناطق کشور ایران فراهم کرده است.

کلیدواژه‌ها: ایران، بارش، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل همدیدی، جت‌استریم، ژئوپتانسیل، امگا

مقدمه

جت‌استریم‌ها در نقشه‌های هوا به‌صورت کمربند یا نوارهایی با سرعت زیاد بیش از ۳۰ متر در ثانیه دیده می‌شوند که تا مسافت‌های طولانی ادامه دارند. روی نقشه‌های هوا، جت‌استریم‌ها به‌صورت هسته‌هایی کاملاً منفرد مشخص شده‌اند که از نظر مکانی نیز کاملاً متغیر است. هسته‌های سرعت یکی در حاشیهٔ استوایی بادهای غربی و دیگری روی جبههٔ قطبی منطقهٔ برون‌حاره، بیش از نواحی دیگر حرکت می‌کنند. در نتیجه، دو بستر نسبتاً متمایز را به وجود می‌آورند که جت‌استریم جبههٔ قطبی و جت‌استریم جنب حاره نامیده می‌شوند که از نظر ارتفاع و مدار جغرافیایی با هم متفاوت‌اند. این جت‌استریم‌ها مخصوصاً جت‌استریم جبههٔ قطبی در اقلیم سطح زمین نقش مؤثری ایفا می‌کنند که به‌طور عمده به تشکیل چرخندهای برون‌حاره و هدایت آن‌ها و نیز ایجاد ناپایداری در جو زیرین خود کمک می‌کنند و سبب صعود هوا و در صورت وجود هوای گرم و مرطوب، سبب بارش می‌شوند (علیجانی، ۱۳۸۱). تغییرات در الگوهای زمانی بارش در تمامی مقیاس‌های روزانه، ماهانه، سالانه و درازمدت دارای رفتار متفاوت‌اند. تاکنون پژوهش‌های زیادی دربارهٔ نقش برخی از این سامانه‌های جوی در آب و هوای پاره‌ای از ایستگاه‌های هواسنجی ایران انجام شده است.

در گذشته اکثر قریب به اتفاق این تحقیقات به کمک نقشه‌های سنتی ماهانه انجام می‌شد، اما امروزه تحلیل (واکاوی) رقومی داده‌های روزانه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. به همین دلیل در پژوهش‌های اخیر امکان انجام تحلیل‌های همدید فرین مانند تحلیل هم‌بستگی، تحلیل مؤلفهٔ اصلی و تحلیل خوشه‌ای فراهم شده است. کشور ایران از جمله مناطق جغرافیایی است که اقلیم خشک و نیمه‌خشک بر پهنهٔ وسیعی از آن گسترش یافته است. لذا مشکل کمبود منابع آبی و وجود خشک‌سالی‌های مکرر، تهدیدی جدی برای بسیاری از عرصه‌های فعالیت‌های اقتصادی، کشاورزی، محیط زیستی و غیره است. بنابراین، شناخت صحیح از تغییرات و دگرگونی‌های مؤلفه‌های آب و هوایی تأثیرگذار بر نوسانات مقادیر بارش، کمک شایانی به مدیریت منابع و ذخیرهٔ آبی کشور می‌کند. نظر به اهمیت بارش که مؤلفهٔ تأمین آب در اقلیم نیمه‌خشکی مانند ایران است، تحقیقات بسیاری در داخل و خارج کشور سعی داشته سازوکارهای حاکم بر آن و نیز اثرهای آن را که گاه نامطلوب بوده است (مانند سیلاب)، شناسایی کند.

پیشینهٔ پژوهش

فرجزاده و همکاران (۱۳۸۴) ضمن تحلیل موقعیت رودباد در ارتباط با سامانه‌های بارشی غرب کشور به این نتیجه رسیدند که هسته‌های سرعت در روزهای آغاز و حداکثر بارش در دو قسمت متمرکز شده‌اند. منطقهٔ مطالعاتی در حالت اول و در مورد هستهٔ اطراف دریای سرخ در قسمت خروجی هوای سرد (ناحیهٔ چپ خروجی یا ربع دوم) هسته قرار گرفته و در مورد هستهٔ مستقر در جنوب غربی دریای خزر در ناحیهٔ ورودی هوای گرم (ناحیهٔ راست ورودی یا ربع چهارم) قرار گرفته است. خداداد (۱۳۹۰) به بررسی تحلیل همدید موقعیت جریان‌های رودبادی و ارتباط آن با بارش‌های شدید در شمال غرب ایران پرداخته است.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در روزهای بارش، محور رودباد با حرکت سینوسی، ناوهٔ خود را در شرق مدیترانه و روی دریای سرخ عمیق کرده و با انحنای چرخندی از غرب و جنوب غرب وارد کشور شده و به روی دریای خزر شارش می‌یابد. همچنین با ادغام رودباد جبههٔ قطبی با رودباد جنب حاره، هسته‌ها در امتداد بازوی شمالی رودباد تقویت می‌شوند. ابراهیمی‌نیک (۱۳۹۱) در بررسی نقش موقعیت رودباد جنب حاره‌ای و قطبی بر ترسالی و خشک‌سالی‌های جنوب غرب ایران با انتخاب ۴ سامانهٔ بارشی و با استفاده از پارامترهای فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰، ۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، نقشه‌های نم ویژه و سرعت قایم باد و نیز رودباد ترازهای ۳۰۰، ۲۵۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال به تحلیل همدیدی و دینامیکی پرداخته است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در روزهای بارش، محور رودباد با حرکت سینوسی، ناوهٔ خود را در شرق مدیترانه و روی دریای سرخ عمیق کرده و با ریزش هوای سرد از نواحی شمالی عرض‌های جغرافیایی بالا به پشت سامانهٔ سودانی و تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی در لایه‌های زیرین و بالایی وردسپهر و ایجاد رودباد قوی در لایه‌های مذکور باعث تقویت دینامیکی و ناپایداری می‌شود و بارش‌های شدید در منطقه ایجاد می‌کند، در حالی‌که الگوی خشک‌سالی کاملاً عکس الگوی حاکم در طی دوره‌های ترسالی است. هسته‌های پرسرعت رودباد کاملاً از منطقهٔ مورد مطالعه فاصله گرفته و در موقعیت مناسبی واقع نشده که نتیجهٔ آن پایداری هوا بوده است. حلبیان و حسینعلی پورجزی (۱۳۹۲) ضمن تحلیل فراوانی رودبادهای مرتبط با بارش‌های حدّی و فراگیر در کرانه‌های غربی خزر به این نتیجه رسیدند که رودبادها از نظر زمانی به جز در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال که در ساعت ۰۶:۰۰ فراوانی بالایی را نشان می‌دهند، در ترازهای ۳۰۰ و ۴۰۰ هکتوپاسکال عمدتاً در ساعت ۱۸:۰۰ روی منطقهٔ مطالعاتی، نمودی آشکار دارند. در عین حال، نقشه‌های میانگین سرعت رودبادها در این ساعت‌ها که از یک سو منطبق بر رخداد بیشینهٔ فراوانی رودبادها و از دیگر سو مقارن با وقوع بیشینهٔ سرعت رودبادها در پهنهٔ مطالعاتی است، بیانگر قرارگیری ربع‌چهارم هستهٔ رودباد (که با افزایش تاوایی مثبت و همچنین واگرایی سطوح فوقانی و همگرایی سطوح پایین جو همراه است) روی کرانه‌های غربی خزر است.

یانکین (۱۹۷۲) بارش‌های سنگین آمریکا را با جت‌استریم جبههٔ قطبی در ارتباط می‌داند. در این مطالعه به گسترش مدل‌های ترکیب بارش‌های سنگین و جت‌استریم همراه آن‌ها پرداخته شده است و مدلی از بارش‌های سنگین آمریکا ارائه شده که یک تراف عمیق روی منطقهٔ همراه با جت‌استریم سطح بالاست. در پایان ذکر شده که بسیاری از بارش‌های سنگین مستلزم وجود جت‌استریم قطبی و جت‌استریم جنب حاره یا هر دو است.

کارلسون و رامان (۱۹۸۲) به منظور کاهش هزینه‌های هواپیمایی کشور آمریکا، اقدام به تعیین مسیر جت‌استریم در تروپوسفر فوقانی و استراتوسفر کردند. به این منظور از شبکه‌ای راداری در این کشور استفاده شده که مسیر جت و هستهٔ آن را به همراه مشخصات سرعت و غیره در ۲۴ ساعت تعیین می‌کند. نتیجهٔ تحقیق نشان داد که این

مسیرها در کاهش سوخت و افزایش سرعت هواپیما تأثیر مستقیم دارند.

پریزراکوس[1] و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی موردی رابطهٔ میان رودباد جبههٔ قطبی و رودباد جنب‌حاره در چرخندزایی شرق مدیترانه به این نتیجه رسیدند که هرگاه رودباد جبههٔ قطبی نسبت به موقعیت معمولی فصلی خود به طرف جنوب کشیده شود و با رودباد جنب‌حاره که نسبت به موقعیت معمولی خود به طرف شمال گسترش یافته است در هم آمیزد، فرایند چرخندزایی تشدید می‌شود. آنان با بررسی چرخندهای ۱۵ مارس ۱۹۹۸ ناحیهٔ قبرس به این نتیجه رسیدند که مجاورت رودباد جبههٔ قطبی و رودباد جنب‌حاره با یک افزایش ناپایداری هیدرودینامیکی همراه است و این موضوع نقش مهمی در فرایند چرخندزایی این ناحیه دارد.

دگیرمنزیک و ویبیگ[2] (۲۰۰۷) الگوهای اصلی رودبادها را روی اروپا مشخص کردند و سپس به طبقه‌بندی و مطالعهٔ ویژگی‌های آماری آن‌ها پرداختند. آن‌ها ویژگی‌های مهم گردش تراز بالا و هوای سطحی را در زمان هریک از الگوهای به دست آمده تحلیل کردند و سرانجام آماره‌های اساسی الگوی رودبادها (فراوانی، دوام و تغییرات روزبه‌روز ساختار رودباد) و روند آن‌ها را تشریح کردند. یکی از الگوها موجب تغییرات دمایی شدیدی در غرب اروپا و سه الگوی دیگر سبب وزش گرمایی قابل توجهی در شرق و مرکز اروپا شدند و همچنین تفاوت‌های فصلی در فراوانی و مدت دوام الگوهای رودبادها نیز مشاهده شد.

کشور ما از جمله کشورهایی است که دارای تنوع آب و هوایی زیادی است و با توجه به گستردگی و بزرگی مساحت آن و همچنین موقعیت ریاضی و جغرافیایی خاص در معرض انواع پدیده‌ها و مخاطرات آب و هوایی، مانند توفان، سیل، خشک‌سالی، گرد و غبار و رودباد قرار می‌گیرد. با توجه به تأثیرات جت‌استریم‌ها بر عناصر آب و هوایی مطمئناً کشف و پیدا کردن این تأثیرات به‌خصوص بر بارش‌های ایران که در حال حاضر مطالعهٔ آن برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در کشور کم‌آبی مثل ایران اهمیت دارد و با دقت به اینکه موقعیت جغرافیایی ایران به گونه‌ای است که در طول سال مدتی عرصهٔ فعالیت جت‌استریم‌ها واقع می‌شود با شناخت الگوهای جت‌استریم می‌توان روند حرکتی آن را پیش‌بینی کرد و از آثار مخرب جت‌استریم‌ها بر پدیده‌هایی مانند سیل، توفان و خسارت‌های ناشی از آثار جت‌استریم جلوگیری کرد. همچنین در ایران هنوز به‌طور جدی در زمینهٔ الگوهای جت‌استریم پژوهشی جامع صورت نگرفته و فقط به‌صورت جزئی و در خلال تحقیقات به‌صورت اجمالی اشاره‌ای به این مطالب شده است.

مراحل انجام پژوهش

۱. بعد از مشخص کردن ایستگاه‌های مورد مطالعه، آمار بارش روزانهٔ مربوط به ایستگاه‌های همدید از مرکز خدمات ماشینی سازمان هواشناسی و پژوهشکدهٔ آب‌وهواشناسی دریافت شد.

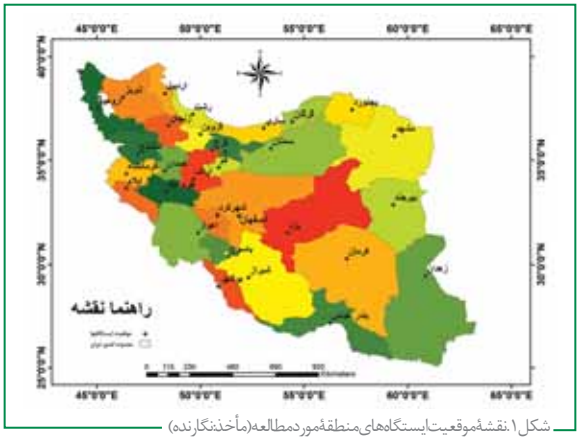
۲. داده‌های مورد نیاز برای شناسایی الگوها از آرشیو NCEP/NCAR گرفته شده است.

۳. برای استخراج الگوهای گردشی موجد بارش‌های ایران از شیوهٔ تحلیل عاملی با روش مؤلفه‌های مبنا (PCA) استفاده شد. برای اطمینان از مناسب بودن داده‌ها به منظور اجرای تحلیل عاملی از معیار KMO و نیز آزمون بارتلت استفاده شد.

۴. در آخرین مرحله، با اجرای گروه‌بندی خوشه‌ای سلسله‌مراتبی روی بارهای عاملی استخراج شده، روزهای مورد مطالعه در ۸ گروه قرار داده شدند. در خوشه‌بندی از روش وارد برای تعیین خوشه‌ها و از معیار مربع فاصلهٔ اقلیدسی برای تعیین فاصلهٔ بین خوشه‌ها استفاده شد.

داده‌ها و روش‌ها

برای انجام کارهای تحقیقاتی و پژوهشی لازم است محدودهٔ مکانی مشخص شود تا مطالعه از لحاظ مکانی محدود شود. بنابراین در این پژوهش پهنهٔ ایران به دلیل بزرگ‌مقیاس بودن جریان جت‌استریم‌ها به‌عنوان محدودهٔ مکانی مورد مطالعه انتخاب شد. سپس بعد از انتخاب مکان و منطقه، بازهٔ زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۸ انتخاب شد. در مرحلهٔ بعد، ایستگاه‌ها براساس توزیع پراکندگی مناسب در سطح منطقهٔ مورد بررسی قرار گرفتند و ۳۱ ایستگاه سینوپتیک مرکز استان‌ها انتخاب شدند. بعد از مشخص کردن ایستگاه‌های مورد مطالعه، آمار بارش روزانهٔ مربوط به ایستگاه‌های همدید از مرکز خدمات ماشینی سازمان هواشناسی دریافت شد. داده‌های مورد نیاز برای شناسایی الگوها نیز از آرشیو NCEP/NCAR گرفته شد. برای استخراج الگوهای گردشی موجد بارش‌های ایران از شیوهٔ تحلیل عاملی با روش مؤلفه‌های مبنا (PCA) استفاده شد. برای اطمینان از مناسب بودن داده‌ها به منظور اجرای تحلیل عاملی، از معیار KMO و نیز آزمون بارتلت استفاده شد. در آخرین مرحله، با اجرای گروه‌بندی خوشه‌ای سلسله‌مراتبی روی بارهای عاملی استخراج شده، روزهای مورد مطالعه در ۸ گروه قرار داده شدند. در خوشه‌بندی از روش وارد برای تعیین خوشه‌ها و از معیار مربع فاصلهٔ اقلیدسی برای تعیین فاصلهٔ بین خوشه‌ها استفاده شد.



شکل ۱. نقشهٔ موقعیت ایستگاه‌های منطقهٔ مورد مطالعه (مأخذ: نگارنده)

در این پژوهش از روش‌های بردار ویژه از نوع طبقه‌بندی الگوهای نقشه‌ای برای بررسی الگوهای بارش استفاده شده است. روش طبقه‌بندی الگوهای گردشی عمومی جو مناسب‌ترین ابزار برای شناسایی الگوهای گردشی حاکم در مکان یا زمان معین است. پس از تعیین الگوهای حاکم می‌توان شرایط اقلیمی منطقه را در دورهٔ استیلای هر یک از

الگوها تعیین کرد. در طبقه‌بندی الگوهای نقشه‌ای به کمک بردارهای ویژهٔ هدف، شناسایی حالات اصلی تغییرات مکانی فقط یک متغیر است. این متغیر معمولاً فشار سطحی با ارتفاع ژئوپتانسیل و غیره است (حبیب‌پور و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۱۶).

مراحل کار برای این پژوهش در روش طبقه‌بندی الگوهای نقشه‌ای به کمک بردارهای ویژه به این صورت بوده است که ابتدا یک ماتریس ۳۰۹۸×۲۴۷ تشکیل شد. این ماتریس شامل ۲۴۷ نقطهٔ شبکه‌ای و ۳۰۹۸ روز بود. سپس ماتریس داده‌ها در یک تحلیل مؤلفهٔ مبنای دوران‌یافته وارد شد. بعد از انجام تحلیل عاملی حدود ۱۳ عامل با پرش بالای ۱ به دست آمد. قاعدهٔ کلی درخصوص انتخاب عامل‌ها این است که هرچه تعداد متغیرهای یک عامل کمتر از ۳ مورد باشد آن عامل ضعیف است، اما عامل‌های مطلوب و مستحکم آن‌هایی هستند که حداقل از ۵ متغیر و بیشتر تشکیل شده باشند. بر این اساس، فقط مؤلفه‌های بالای ۴ را که شامل ۸ مؤلفه و حدود ۸۵ درصد پرش داده‌های رودباد را تبیین می‌کردند نگه داشته شدند و از بقیهٔ مؤلفه‌ها صرف نظر شد. سپس یک تحلیل خوشه‌ای به روش وارد روی نمرات مؤلفه‌های به جا مانده اجرا شد. با اجرای هم‌بستگی درون‌گروهی ۸ خوشه (الگوی نقشه‌ای) پذیرفته شد. همچنین با استفاده از هم‌بستگی درون‌گروهی روز نمایندهٔ هر الگو مشخص شد. با توجه به مقدار بارش ایستگاه‌ها در بازهٔ زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۸ و نقشهٔ پهنه‌بندی بارش‌ها از بین ۸ الگوی بارشی، روز نمونهٔ ۱۹۹۶/۱/۱۹ از الگوی شمارهٔ ۶ به‌عنوان الگوی ایجاد بارش فراگیر در ایران انتخاب شد. این الگوی بارش شامل ۲۶۳ روز از روزهای مورد مطالعه بود که ۸/۵ درصد کل روزها را شامل می‌شود. با بررسی دیگر روزهای این الگو و نتایج حاصل از هم‌بستگی گروهی، روز ۱۹۹۶/۱/۱۹ با ۰/۷۷۲ درصد هم‌بستگی درون‌گروهی به‌عنوان روز نمونهٔ الگوی ۶ انتخاب شد. با استفاده از نقشه‌های رودباد، ارتفاع ژئوپتانسیل، جریان قائم هوا و همگرایی شار رطوبت روز نماینده از دیدگاه همدیدی مورد مطالعه قرار گرفت.

جدول ۱: مشخصات خروجی تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای انتخاب عامل‌ها

شمارهٔ عامل	مقادیر ویژه	واریانس عامل‌ها	درصد واریانس عامل‌ها	واریانس تجمعی عامل‌ها
۱	۵۸/۹۸	۰/۲۵۶۸	۲۵/۶۸	۲۵/۶۸
۲	۲۸/۸۱	۰/۱۵۱۳	۱۵/۱۳	۴۰/۸۲
۳	۲۳/۲۸	۰/۹۷۰۹	۹/۷۰	۵۰/۵۳
۴	۱۸/۸۵	۰/۸۶۵۹	۸/۶۵	۵۹/۱۹
۵	۱۷/۲۴	۰/۸۵۳۰	۸/۵۳	۶۷/۷۲
۶	۱۱/۳۶	۰/۷۲۲۲	۷/۲۲	۷۴/۹۴
۷	۹/۸۱	۰/۶۱۶۹	۶/۱۶	۸۱/۱۱
۸	۷/۳۹	۰/۴۷۱۷	۴/۷۱	۸۵/۸۳

تجزیه و تحلیل داده‌ها

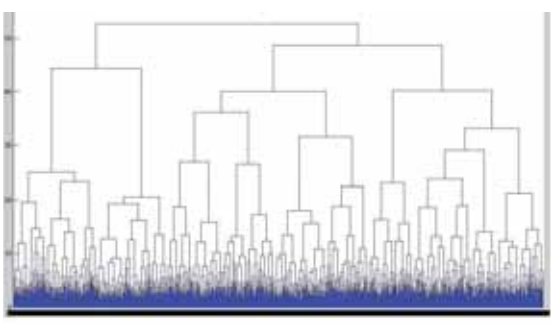
نتایج آزمون تحلیل عاملی با رویکرد مؤلفه‌های اصلی در جدول ۱ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود آزمون KMO با ۹۱ درصد نشان از درست بودن و قابل ارائه بودن کار توسط تحلیل عاملی با رویکرد مؤلفه‌های اصلی دارد.

جدول ۲: آزمون KMO و بارتلت به منظور اطمینان از مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy		۰/۹۱۶
Bartlett's Test of Sphericity	Chi-Square Approx.	۲۷۵
	df	۶۳۰
	Sig.	۰۰۰

براساس نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی با دوران واریمکس، ۳۰۹۸ روز سال در ۱۳ عامل خلاصه شد. این ۱۳ عامل در مجموع، ۹۲/۷۹ درصد پراش داده‌ها را تبیین کرد. ۸۵ درصد پراش را هشت عامل به ترتیب: عامل اول ۲۵/۶، دوم ۱۵/۱، سوم ۹/۷، چهارم ۸/۶، پنجم ۸/۵، ششم ۷/۲، هفتم ۶/۱ و هشتم ۴/۷ درصد تبیین کردند. نتایج اجرای گروه‌بندی سلسله‌مراتبی روی ۱۳ عامل، منتهی به قرار گرفتن روزهای سال در ۸ گروه بود. معیار برای انتخاب گروه‌ها داشتن بیشترین هم‌بستگی درون‌گروهی در هر گروه و بیشترین پراش بین‌گروهی در گروه‌های مختلف بود. بر این مبنا، تقسیم روزهای سال به ۸ الگوی دارای بیشترین هم‌بستگی بین‌گروهی و بیشترین پراش بین‌گروهی بود. در شکل ۲، دندروگرام و نحوهٔ گروه‌بندی روزها مشخص شده است. همچنین در جدول ۳، خلاصهٔ نتایج گروه‌بندی استخراج شده از نمودار دندروگرام آورده شده است.

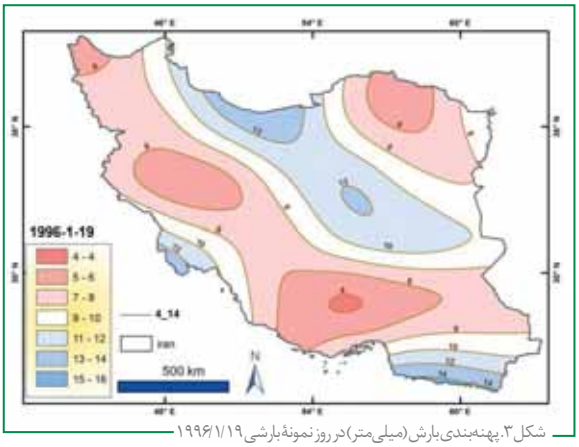


شکل ۲. دندروگرام مربوط به گروه‌بندی ۳۰۹۸ روز بارشی براساس نمره‌های عاملی ۱۳ عامل استخراج‌شده

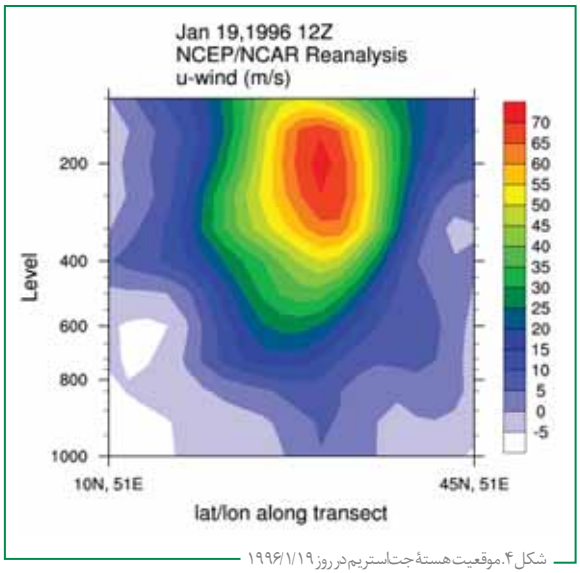
جدول ۳: تقسیم الگوهای همدید بارش در ایران

الگوی رودباد	فراوانی روز	فراوانی درصد	روز نماینده	هم‌بستگی روز نماینده
الگوی ۱	۲۷۰	۸/۷۲	۱۹۸۷/۳/۲۶	۶۱/۹۶
الگوی ۲	۴۹۶	۱۶/۰۱	۱۹۹۸/۳/۲۰	۶۳/۲۰
الگوی ۳	۳۰۱	۹/۷۲	۱۹۹۱/۲/۴	۵۷/۸۶
الگوی ۴	۳۲۲	۱۰/۴۰	۱۹۸۳/۳/۲۳	۴۷/۲۰
الگوی ۵	۵۴۸	۱۷/۷۰	۲۰۰۳/۱/۲۱	۶۱/۸۳
الگوی ۶	۲۶۳	۸/۵۰	۱۹۹۶/۱/۱۹	۷۷/۲۱
الگوی ۷	۴۰۹	۱۳/۲۰	۲۰۰۲/۵/۴	۴۲/۵۵
الگوی ۸	۴۸۸	۱۵/۷۵	۲۰۰۶/۲/۸	۴۲/۸۸

براساس نتایج جدول ۳ شرایط همدیدی رخداد بارش‌های ایران در ۸ روز بارشی رخ داد. بیشترین درصد فراوانی رخداد شرایط سینوپتیکی بارش‌هـــای ایران با ۱۷/۷ درصد مربوط به الگوی ۵ و کمترین مربوط به الگـــوی ۶ با ۸/۶ درصد بود. الگوی ۶ با هم‌بســـتگی درون‌گروهی r=۰/۷۷۲ دارای بیشـــترین همگنی بود، در حالی‌که الگوی ۸ نسبت به دیگر الگوها همگنی کمتری داشت. با این حال، ضرایب هم‌بستگی تمام الگوها در سطح اطمینان ۹۹ درصد تأیید شد. همچنین با توجه به بیشـــترین ضریب هم‌بستگی هر روز با دیگر روزها، روز نمایندهٔ هر الگو مشخص شد. جالب توجه اینکه در روز نماینده، بارش ایستگاه‌ها چشـــمگیر بود. برای حصول از شرایط همدید هر الگو، نقشهٔ تغییرات ارتفاع در ســـطوح ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، امگا، نقشهٔ همگرایی شار رطوبت در سطوح ۸۵۰ هکتوپاسکال و نیز شرایط حضور رودباد سطح ۲۰۰ هکتوپاسکالی نیز بررسی شد. با توجه به حجم زیاد نقشه‌ها و محدودیت مقاله، الگوی شـــمارهٔ ۶ که دارای بیشـــترین هم‌بستگی درون‌گروهی، یعنـــی ۰/۷۷۲ بود، از بین روزهای بارشـــی انتخاب و نقشه‌های آن از لحاظ سینوپتیکی مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳، نقشـــهٔ پهنه‌بندی و پراکنش باران در کشور در الگوی ششم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شـــود جنوب، جنوب غرب، غرب، جنوب شرق، شرق و شمال شرق کشـــور در این روز درگیر بارش بوده‌اند. بالاترین مقدار بارش در این روز مربوط به ایســـتگاه گرگان و ایستگاه خرم‌آباد است.

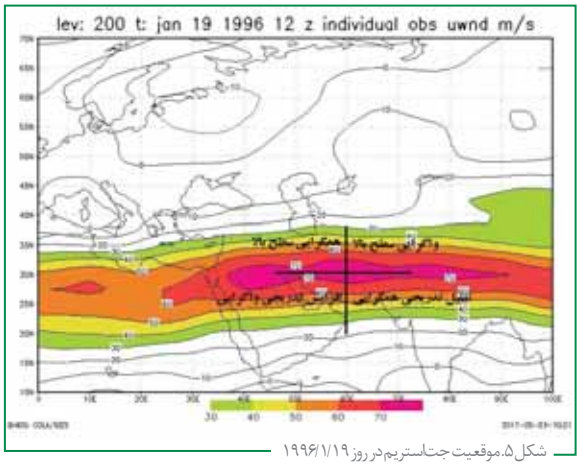


شکل ۳. پهنه‌بندی بارش (میلی‌متر) در روز نمونهٔ بارشی ۱۹۹۶/۱/۱۹

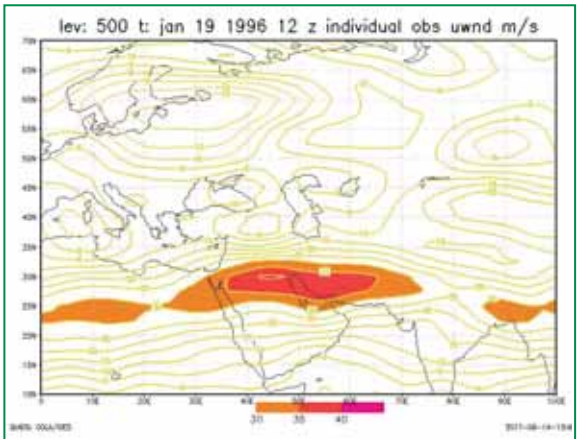


شکل ۴. موقعیت هستهٔ جت‌استریم در روز ۱۹۹۶/۱/۱۹

شـــکل ۵ نقشهٔ رودباد روز بارشی ۱۹ ژانویه ۱۹۹۶ را نشان می‌دهد. نقشـــهٔ بادمداری (شکل ۵) در ســـطح ۲۰۰ هکتوپاسکال با توجه به شـــکل شـــمارهٔ ۴ که موقعیت هستهٔ جت‌اســـتریم را در سطح ۲۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد، در نرم‌افزار گردش ترسیم شد. با توجه به شکل ۵ در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال، جت‌استریم جبههٔ قطبی با سرعت حداکثر ۷۰ متر در ثانیه در خاورمیانه به‌صورت غربی ـ شرقی تشکیل شـــده که هستهٔ سرعت این رودباد در مرکز ایران قرار گرفته است. در نقشهٔ مذکور، مناطقی تحت ســـیطرهٔ ناحیه چپ خروجی (ربع دوم) جت‌اســـتریم، یعنی بیشترین واگرایی سطح بالا و همگرایی در سطح زمین قرار دارد که نتیجهٔ آن، صعود هوا و ناپایدار شـــدن جو سطوح پایین تروپوسفر است که در صورت وجود رطوبت، موجب بارش باران می‌شود. استان‌های غربی ایران و همدان، زنجان، قزوین و شمال غرب استان گیلان در این منطقه با رنگ بنفش مشخص شده‌اند که نشان می‌دهد ریزش باران در این اســـتان‌ها بوده اســـت. اما مناطقی که در قسمت همگرایی سطح بالا و واگرایی سطوح پایین اتمسفر است باعث تشکیل پرفشار زمینی و مانع هرگونه صعود هوا و ریزش باران می‌شود. اســـتان بوشـــهر ایران در این منطقه قرار دارد که بارش در آن ناچیز بوده است.



شکل ۵. موقعیت جت‌استریم در روز ۱۹۹۶/۱/۱۹



شکل ۶. نقشهٔ موقعیت جت‌استریم سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز بارشی ۱۹۹۶/۱/۱۹ (الگوی ششم)

ترسیم نقشهٔ جت‌اســـتریم جبههٔ قطبی در مختصات منطقهٔ مورد مطالعه در تراز ۵۰۰ هکتوپاســـکال (شکل ۶) که به‌عنوان لایهٔ میانی و نمایندهٔ ترازهای مختلف جو به حســـاب می‌آید، نشان می‌دهد که جت‌اســـتریم عمیق‌تر شده و هستهٔ سرعت ۳۰ متر در ثانیهٔ آن تا این تراز پایین‌تر آمده اســـت. تعمیق جت‌استریم موجب تشدید واگرایی سطح بالا در محدودهٔ سرزمینی کشور ایران شده و به تبع آن در سطح زمین نیز هوا واگرا شـــده که نتیجهٔ آن صعود هوا و ناپایدار شدن جو سطح بالاست و وقوع بارش را تسهیل کرده است.

جدول ۴: سرعت هستهٔ جت‌استریم در ترازهای مختلف روز ۱۹۹۶/۱/۱۹

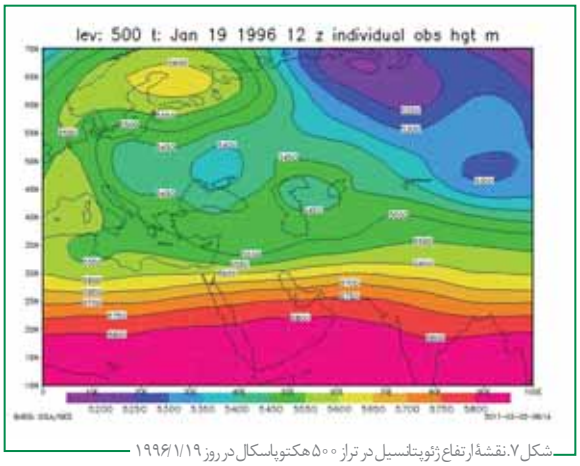
ترازها	۲۰۰ هکتوپاسکال	۲۵۰ هکتوپاسکال	۳۰۰ هکتوپاسکال	۴۰۰ هکتوپاسکال	۵۰۰ هکتوپاسکال
۱۹۹۶/۱/۱۹	۷۰ متر در ثانیه	۶۰ متر در ثانیه	۵۵ متر در ثانیه	۴۰ متر در ثانیه	۳۰ متر در ثانیه

همان‌طور که در جدول ۴ مشـــاهده می‌شـــود، سرعت هسته‌های جت‌اســـتریم از ترازهای ســـطح بالا به طرف ترازهای ســـطح پایین کاهش می‌یابد. در روز ۱۹۹۶/۱/۱۹ هســـتهٔ جت‌استریم تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پایین‌تر آمد و سرعت هستهٔ مرکزی آن ۳۰ متر در ثانیه شد و نقشی مهم در تشدید ناپایداری‌ها و صعود هوای مرطوب ایفا کرد و باعث ایجاد بارش در روز نماینده شد.

تفسیر نقشهٔ ارتفاع ژئوپتانسیل روز نمونه از الگوی ششم (۱۹۹۶/۱/۱۹)

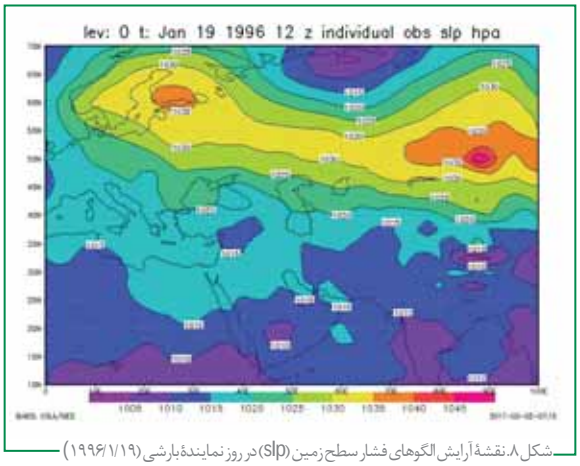
شکل ۷ شرایط حاکم در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شـــود در تراز ۵۰۰ هکتوپاســـکال، مـــوج بادهای غربی با حرکت سینوســـی خود موج‌های بلنـــدی را در خاورمیانه و اروپا به وجود آورده اســـت. در شمال اروپا پشته (ریج) قوی با ارتفاع مرکزی ۵۶۱۰ متر مستقر شده و هوای سرد عرض‌های بالای جغرافیایی را به عرض‌های پایین‌تر روانه کرده اســـت. در روسیه، ناوهٔ عمیقی با ارتفاع ۵۲۲۰ متر مســـتقر شده است و هوای سرد را به عرض‌های پایین‌تر، حداکثر به دریاچهٔ آرال می‌ریزد و اتمسفر مناطق تحت سیطرهٔ خود را تحت‌تأثیر خود قرار داده است. ترکیب ناوهٔ مدیترانه با ناوهٔ اروپایی بیشتر از نواحی شمال کشور ایران عبور می‌کند و این مناطق از ایران در جلوی این فرود بلند قرار گرفته‌اند.

قرارگیری در جلوی فرود به علت واگرایی در ســـطح بالا و همگرایی در ســـطح پایین، کمک شـــایانی به صعود هوا، ناپایداری و در ادامه، بارش می‌کند.



شکل ۷. نقشهٔ ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز ۱۹۹۶/۱/۱۹

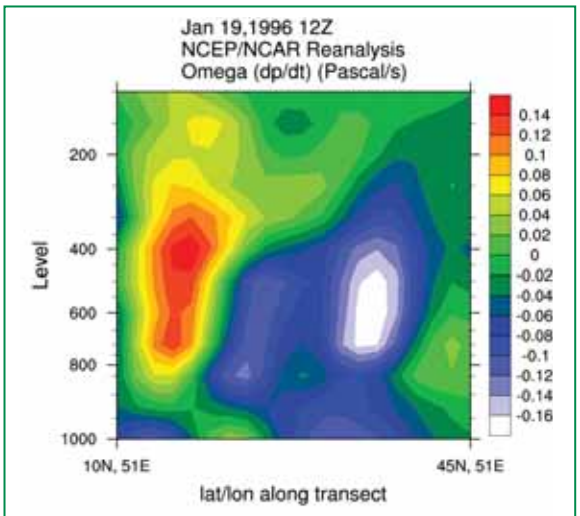
شکل ۸ نقشهٔ فشار سطح دریا در روز نمایندهٔ بارشی از الگوی ششم، یعنی ژانویه ۱۹۹۶ را نشان می‌دهد. در سطح زمین، سامانه‌های جوی تحت‌تأثیر امواج سطوح بالای جو شـــکل گرفته‌اند، اما در اروپا مرکز پرفشار قوی با فشار مرکزی ۱۰۳۵ میلی‌بار مستقر شده و اتمسفر اروپا را تحت‌تأثیر قرار داده اســـت. اما سامانه‌ای که باعث رخداد بارش در غرب ایران شده، کم‌فشار شرق دریای مدیترانه است که با اخذ رطوبت از این دریا به‌صورت ســـیکلون درآمده و با حرکت پادساعت‌گرد خود، رطوبت را از دریا گرفته و به سمت شرق حرکت کرده و باعث رخداد بارش در ایران شده است.



شکل ۸. نقشهٔ آرایش الگوهای فشار سطح زمین (slp) در روز نمایندهٔ بارشی (۱۹۹۶/۱/۱۹)

تفسیر نقشهٔ حرکت قائم هوا (امگا) روز نمونهٔ الگوی ششم (۱۹۹۶/۱/۱۹)

شکل ۹ نقشهٔ سرعت قائم هوا (امگا) در روز ۱۹ ژانویه ۱۹۹۶ را نشان می‌دهد که حاکی از صعود و ناپایداری هوا در روز نماینده است. در این نقشه مقادیر منفی نشانگر صعود هوا و مقادیر مثبت نزول هواست. بر این اساس، مناطقی که تحت سیطرهٔ ناوهٔ کم‌عمق دریای سیاه قرار گرفته‌اند، دارای مقدار عددی شاخص امگای منفی هستند که نشان‌دهندهٔ حرکات صعودی جو است. نیمهٔ غربی ایران به شدت از ناوهٔ دریای سیاه متأثر است و مقدار امگا در این نیمه از ایران ۱/۵- است که شرایط ناپایداری شدید را به تصویر کشیده است. اما در مناطق شمال شرق و جنوب شرق ایران شرایط متفاوت و مقدار عددی شاخص امگا مثبت است و حرکات نزولی جو این مناطق، حالت پایداری جو را نشان می‌دهد.



شکل ۹. نقشهٔ امگای روز ۱۹۹۶/۱/۱۹ (طول ۵۱ درجهٔ ثابت، عرض جغرافیایی متغیر)

نتیجه‌گیری

برای انجام این تحقیق که تلفیقی از روش‌های آماری و سینوپتیکی است ابتدا با استفاده از روش‌های آماری تحلیل عاملی با رویکرد مؤلفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌ای با روش وارد و روش هم‌بستگی بین‌گروهی الگوهای بارش ۱۲ ماه سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۸ در ۸ الگو طبقه‌بندی شد. الگوی ششم که شامل ۲۶۳ روز از روزهای مورد مطالعهٔ بارشی بود، با هم‌بستگی درون‌گروهی ۰/۷۷۲ صدم به‌عنوان روز نمایندهٔ الگوها انتخاب و مورد تحلیل و تفسیر سینوپتیکی قرار گرفت.

جت‌استریم آن از نوع جت‌استریم قطبی بود و در این الگوی بارشی، تشکیل جت‌استریم قوی‌تر از ۲۰۰ هکتوپاسکال با سرعت مرکزی ۷۰ متر در ثانیه شرایط اتمسفری سطوح پایین را تحت‌تأثیر قرار داد و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال سردچال در دریای سیاه تشکیل شده و ایران در جلوی این سردچال قرار گرفته است. در ترکیه مرکز کم‌فشار سطحی به وجود آمده که این شرایط اتمسفری، حالت همگرایی را در جو خاورمیانهٔ غرب ایران به وجود آورده است. از طرف دیگر تزریق رطوبت از دریای مدیترانه به اتمسفر ایران به حرکات بالاسوی (واگرایی) جو کمک کرده و با صعود هوا، رطوبت موجود به‌صورت باران در غرب، شمال و جنوب ایران ریزش کرده است. استان‌های غربی ایران، همدان، زنجان، قزوین و شمال غرب استان گیلان در این منطقه قرار گرفته‌اند که باعث ریزش باران در این استان‌ها شده است. کاویانی و علیجانی (۱۳۷۱) نیز بیان داشتند که ناحیهٔ چپ خروجی هستهٔ جت‌استریم‌ها (ربع‌دوم) محل بیشترین واگرایی سطوح بالا و همگرایی سطوح زیرین اتمسفر است که این موضوع باعث فراهم آوردن بیشترین صعود هوا در این ناحیه می‌شود و در این پژوهش نیز این ناحیه از جت‌استریم روی منطقهٔ مورد مطالعه مستقر بوده و به همراه سایر عوامل صعود باعث ایجاد بارندگی در استان‌های غربی ایران شده است. اما مناطقی که در قسمت همگرایی سطح بالا و واگرایی سطوح پایین اتمسفر است، باعث تشکیل پرفشار زمینی شده و مانع هرگونه صعود هوا و ریزش باران می‌شود. استان بوشهر ایران در این منطقه قرار دارد که بارش در این منطقه صفر بوده است.

سامانه‌ای که باعث رخداد بارش در غرب ایران شده، کم‌فشار شرق دریای مدیترانه است که با اخذ رطوبت از این دریا به‌صورت سیکلون درآمده و با حرکت پادساعت‌گرد خود، رطوبت را از دریا گرفته و به سمت شرق حرکت کرده و باعث رخداد بارش در ایران شده است

پی‌نوشت‌ها

1. Prezerakos
2. Degirmendzic and Wibig

منابع

۱. ابراهیمی‌نیک، مریم‌السادات (۱۳۹۱). «نقش موقعیت جت جنب حاره‌ای و قطبی بر ترسالی و خشک‌سالی‌های جنوب غرب ایران». پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی.

۲. حبیب‌پور، کرم و صفری، رضا (۱۳۸۸). *راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی*. انتشارات متفکران.

۳. حلبیان، امیرحسین و حسینعلی پورجزی، فرشته (۱۳۹۳). «تحلیل فراوانی رودبادهای مرتبط با بارش‌های حدی و فراگیر در کرانه‌های غربی خزر». فصلنامهٔ *تحقیقات جغرافیایی*. سال ۲۵. شمارهٔ اول. شمارهٔ پیاپی ۱۱۲. صص ۲۲۰-۲۰۵.

۴. خورانی، اسدالله (۱۳۸۴). «تعیین موقعیت رودباد و تأثیر آن بر سیکلون‌های بارش‌زای غرب ایران (مطالعهٔ موردی: استان‌های ایلام و کرمانشاه». پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد آب‌وهواشناسی. دانشگاه تربیت‌مدرس تهران.

۵. علیجانی، ب و کاویانی م (۱۳۷۹). *مبانی آب‌وهواشناسی*. تهران: سمت.

۶. علیجانی، بهلول (۱۳۸۱). *آب‌وهواشناسی سینوپتیک*. تهران: سمت.