

الگوهای روزانه گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی ایران و خاورمیانه

طیب رضیئی* - استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
قاسم عزیزی - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران
حسین محمدی - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران
فرامرز خوش‌اخلاق - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۷/۴/۲ تأیید مقاله: ۱۳۸۹/۱۱/۴

چکیده

برای شناسایی الگوهای روزانه گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی خاورمیانه و ایران در فصل زمستان (دسامبر تا مارس)، داده‌های میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل این تراز برای دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۵ از مرکز NCEP/NCAR دریافت گردید و مورد استفاده قرار گرفت. به کمک آرایه S تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و خوشه‌بندی چندمرحله‌ای تمامی روزهای مورد مطالعه به ۱۲ گروه طبقه‌بندی شد و میانگین هر گروه به عنوان یک الگوی گردش معرفی گردید. به طور کلی الگوهای گردش به دست آمده را براساس جهت وزش بادهای غربی بر روی ایران می‌توان به سه دسته اصلی مداری، شمال غربی و جنوب غربی تقسیم کرد. در الگوهای مداری همیشه جهت جریان بادهای غربی بر روی ایران به صورت مداری و یا تقریباً مداری است، در حالی که در الگوهای جنوب غربی همواره یک ناوه در غرب ایران (از مدیترانه تا ایران) قرار دارد که جریان‌ها را به صورت نصف‌النهاری درمی‌آورد و آنها را با جهت جنوب غربی تا غربی به روی ایران روانه می‌کند. تفاوت در محل، عمق و گسترش این ناوه باعث تفاوت الگوهای جنوب غربی از یکدیگر و تفاوت در میزان تأثیرگذاری آنها بر آب و هوای ایران می‌شوند. بررسی ارتباط میان الگوهای گردش جوی و بارش در سطح کشور نشان داد که برخی از الگوها با ایجاد جریان جنوب غربی و ریزش هوای مرطوب و ناپایدار بر روی ایران سهم زیادی در تولید بارش سالانه کشور دارند. در این گونه الگوها هر چه ناوه عمیق‌تر و به ایران نزدیک‌تر باشد، اثر آن بر اقلیم کشور بیشتر است و بارش بیشتری را در پهنه گسترده‌تری از ایران سبب می‌شود. عمیق شدن این ناوه باعث نصف‌النهاری شدن جهت جریان در این الگوها می‌شود و پتانسیل ایجاد بارش را در آنها افزایش می‌دهد. در مقابل، در جریان‌های شمال غربی این ناوه جای خود را با پشته عوض می‌کند و این خود موجب ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی و ایجاد هوای پایدار بر روی ایران می‌گردد. همچنین مشخص شد که برخی از الگوها در سرتاسر کشور موجب بارش می‌شوند و برخی دیگر تنها در بخش‌هایی از کشور. نتایج همچنین نشان از آن داشتند که توزیع فراوانی برخی از الگوها در همه ماه‌های مورد مطالعه تقریباً یکسان است، در حالی که برخی دیگر در ماه‌های خاصی بیشتر روی می‌دهند. بررسی روند تغییرات الگوها نیز نشان داد که بیشتر الگوها با هیچ‌گونه روند کاهشی و یا افزایشی معنی‌داری مواجه نبوده‌اند.

کلیدواژه‌ها: الگوی گردش جو، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، خوشه‌بندی چندمرحله‌ای، نمایه PI

مقدمه

آب و هوای محلی و منطقه‌ای تحت تأثیر الگوهای بزرگ‌مقیاس گردش جوئی است (کیدسون، ۱۹۹۴). این الگوها به وسیله جبهه‌ها، سامانه‌های سیکلونی و آنتی‌سیکلونی به شدت متغیرها و پدیده‌های مختلف آب و هوایی را در عرض‌های میانه کنترل می‌کنند (مکندری، ۱۹۹۴، ۶۲۷). شناخت مراکز فعالیت و الگوهای گردش جوئی و تأثیر آنها بر فراوانی و شدت بارش منطقه اهمیت بسیار زیادی دارد (فریکس و یارنال، ۱۹۹۷، بوگاردی و همکاران، ۱۹۹۴، ۲۴۹). لمب (۱۹۷۷) نشان داد که ارتباط میان بارندگی به عنوان متغیرترین پدیده جوئی و الگوهای گردش جو بسیار قوی است. با شناسایی الگوهای گردش جو می‌توان تغییرات، فراوانی، شدت و توزیع مکانی بارندگی را بررسی و دلایل فیزیکی آن را بیان کرد (ویسته - سرانو و لوپز - مورنو، ۲۰۰۶، ۱۴۲۸). به همین علت کوشش‌های بسیاری برای ایجاد و توسعه روش‌های گروه‌بندی الگوهای گردش جو و بررسی نقش و تأثیر آنها بر متغیر بارش و دما انجام شده است (رومرو و همکاران، ۱۹۹۹؛ سانتوس و همکاران، ۲۰۰۵؛ کیلسی و همکاران، ۱۹۹۸؛ وییگ، ۱۹۹۹؛ چن و هلستورم، ۱۹۹۹). برای گروه‌بندی الگوهای گردش جوئی اغلب از روش‌های آماری چندمتغیره مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده می‌شود. کرته - ریل و همکاران (۱۹۹۸، ۶۲۴) و تریگو و داکامارا (۲۰۰۰، ۱۵۶۸) با گروه‌بندی الگوهای گردش جوئی بر روی شبه‌جزیره ایبری، کاهش فراوانی تیپ‌های هوای باران‌زا و افزایش فراوانی تیپ‌های هوای خشکی‌زا (آنتی سیکلونی) را عامل اصلی کاهش بارش در کشور پرتغال در نیمه دوم قرن بیستم برشمردند.

با توجه به تأیید ارتباط میان بارش و الگوهای گردش جوئی می‌توان چنین ارتباطی را میان این الگوها و پدیده‌های فرین آب‌وهوایی مانند سیل و خشکسالی نیز انتظار داشت. داکستاین و همکاران (۱۹۹۳، ۴۲۱) الگوهای گردش مؤند سیلاب را برای ایالت آریزونا آمریکا شناسایی کردند. بوگاردی و همکاران (۱۹۹۴، ۲۴۷) با استفاده از نمایه BMDI و پستی و همکاران (۱۹۹۶، ۱۷۴۴) با استفاده از نمایه PDSI ارتباط میان الگوهای گردش جو و خشکسالی‌ها را به ترتیب برای ایالت‌های نبراسکا و نیومکزیکو در آمریکا شناسایی کردند و با بهره‌گیری از مدل‌های احتمالاتی و شرطی - فازی به پیش‌بینی دوره‌های خشک و تر پرداختند. همچنین پونگرچ و همکاران (۱۹۹۹، ۱۰۶؛ ۲۰۰۳؛ ۴۷) با بهره‌گیری از نمایه بهینه‌شده پالم (PMDI) خشکسالی‌های منطقه‌ای ایالت نبراسکای آمریکا و نیز کشور مجارستان را شناسایی کردند و با استفاده از فراوانی الگوهای گردش جوئی و نمایه SOI با تأخیرهای زمانی مختلف به عنوان ورودی مدل فازی به پیش‌بینی خشکسالی‌های منطقه‌ای در این دو منطقه پرداختند. استاهل و دموث (۲۰۰۱) رابطه میان الگوهای گردش جوئی و تغییرات مکانی خشکسالی‌های اروپا را با استفاده از تیپ‌های هوای گروسوتراگن^۱ مورد بررسی قرار دادند و تیپ‌های هوایی را که موجب ایجاد شرایط خشک و تر در مناطق مختلف اروپا می‌شوند، شناسایی کردند. فولر و کیلزی (۲۰۰۲، ۱۹۱) شدت و تداوم خشکسالی‌های شرق انگلستان را به عنوان تابعی از فراوانی الگوهای گردش جو مورد بررسی قرار دادند. کوتیل و همکاران (۲۰۰۱، ۶۵) نیز الگوهای هوای تولیدکننده دوره‌های خشک و تر را برای ترکیه شناسایی کردند. اساس مطالعات یاد شده، برای دستیابی به الگوهای گردش جو، استفاده از انبوه داده‌های شبکه‌بندی شده و بهره‌گیری از روش‌های آماری پیشرفته بوده است.

با توجه به نقش گردش جو در توزیع فضایی پدیده‌های جوی به‌ویژه در مقیاس منطقه‌ای، پژوهشگران زیادی کوشش کرده‌اند تا ویژگی‌ها و ساختار الگوهای گردشی را در زمان رویداد پدیده‌های جوی در مناطق مختلف ایران مورد مطالعه قرار دهند. پژوهش‌های انجام شده در زمینه شناسایی الگوهای گردش جو در ایران را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. دسته اول پژوهش‌هایی هستند که براساس داده‌ها و نقشه‌های موجود در سازمان هواشناسی به تهیه الگوهای گردش جو پرداخته‌اند؛ و گروه دوم آنهایی هستند که پس از ورود رایانه و با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای رایانه‌ای و داده‌های شبکه‌بندی شده مراکز پژوهشی هواشناسی و اقلیم‌شناسی جهان (مانند NCEP/NCAR) به انجام رسیده‌اند. استفاده از داده‌های محدود در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت از ویژگی‌های پژوهش‌های گروه نخست به شمار می‌آید. بررسی سازوکارها و گستره تأثیر سامانه‌های باران‌آور (فرجی، ۱۳۶۰؛ ایزدنگهدار، ۱۳۷۰؛ خوشحال دستجردی، ۱۳۷۶) و سامانه‌های مولد سیل (سبزی‌پرور، ۱۳۷۰؛ لشکری، ۱۳۷۵؛ نصیری، ۱۳۷۸؛ حجتی‌زاده، ۱۳۸۰؛ مفیدی و زرین، ۱۳۸۴) در ایران از جمله پژوهش‌های گروه نخست به شمار می‌روند که در آنها الگوهای سینوپتیکی وابسته به رویدادهای مهم بارش و یا سیل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. همچنین مطالعه نقش پرفشار سبیری بر آب‌وهوای شرق ایران (علیجانی، ۱۳۶۹)، مطالعه اثر پرفشار جنب حاره بر آب‌وهوای ایران (حجازی‌زاده، ۱۳۷۲)، چگونگی تشکیل پدیده بلوکی‌نگ و نقش آن در آب‌وهوای ایران (عزیزی، ۱۳۷۵) و نقش پرفشارها در ایجاد بارش در ناحیه خزری (جهانبخش و کرمی، ۱۳۷۸) از این دسته پژوهش‌ها هستند.

استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده و روش‌های آماری پیشرفته به کمک نرم‌افزارهای رایانه‌ای از ویژگی‌های مهم پژوهش‌های گروه دوم است. علیجانی (۱۳۷۸، ۱۱۶) با استفاده از داده‌های میانگین ماهانه ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوهای گردش جو منطقه مدیترانه را تعیین کرد و با بررسی تأثیر آن بر اقلیم ایران، نشان داد که در بیشتر وقت‌ها ناوه بلندی بر روی مدیترانه حاکم است که با جابه‌جایی خود اقلیم ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علیجانی (۱۳۸۰ الف، ۳۲) همچنین با استفاده از داده‌های روزانه فشار سطح زمین NCEP/NCAR (در ساعت ۱۲) در دوره نوامبر تا مارس ۹۵-۱۹۶۶ و به کمک روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ (PCA) و تحلیل ترکیبی^۲ ۱۸ تیپ هوا برای ایران شناسایی کرد. علیجانی (۱۳۸۰ ب، ۱۲۷) همچنین با بهره‌گیری از روش جنکینسون - کولینز (۱۹۷۷) توانست ۱۰ الگوی گردش جوی را برای ایران شناسایی کند و ارتباط آنها را با سه گروه بارشی - سبک، متوسط و سنگین - تهران مورد ارزیابی قرار دهد. علیجانی و زاهدی (۱۳۸۱، ۲۰) نیز به کمک روش همبستگی، ۱۱ تیپ هوا را که موجب بارش‌های با تداوم دو روزه در آذربایجان می‌شوند، شناسایی کردند و نتیجه گرفتند که تیپ مداری دارای بیشترین فراوانی وقوع و تیپ سیکلونی مهم‌ترین تیپ باران‌زا در منطقه است. علیجانی (۲۰۰۲، ۵۲) در عین حال با بررسی توپوگرافی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال توانست دو ناوه خزر و سوریه را که نقش مهمی در کنترل آب‌وهوای ایران دارند، شناسایی و معرفی کند. رضی و همکاران (۱۳۸۸) با شناسایی مراکز اصلی فعالیت و الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نشان دادند که تغییرات مکانی بارش در ایران به خوبی از الگوهای گردش جوی پیروی می‌کند. آنها نتیجه گرفتند که عمیق شدن ناوه

1. Principal Component Analysis

2. Composite Analysis

موج غربی و افزایش تاوایی مثبت در حد فاصل غرب ایران تا نیمه شمالی دریای سرخ، به همراه شکل‌گیری و تقویت پرفشار در حد فاصل شرق عربستان تا بخش‌های میانی دریای عرب، امکان وقوع بارش‌های فراگیر و گسترده و فراوان را در بخش‌های وسیعی از غرب و جنوب غرب ایران فراهم می‌آورد.

به‌طور کلی در پژوهش‌های گروه نخست، الگوهای گردش جوی شناسایی شده برای ایران یا بر اساس داده‌های رویدادهای ویژه جوّی چون بارش‌های سیل‌زا (لشکری، ۱۳۷۵، علیجانی و زاهدی، ۱۳۸۱، مفیدی و زرین، ۱۳۸۴) و یا با استفاده از داده‌های میانگین ماهانه جو (خوش‌اخلاق، ۱۳۷۷) تهیه شده‌اند. الگوهای گردش جوی شناسایی شده در پژوهش‌های گروه دوم نیز اغلب براساس داده‌های میانگین ماهانه جو تهیه شده‌اند (علیجانی، ۱۳۷۸؛ ۱۳۸۰ ب، ۲۰۰۲). از این‌رو پی‌گیری و تکمیل چنین پژوهش‌هایی - به‌ویژه در مقیاس روزانه و برای ترازهای مختلف جو - بسیار ضروری است، چرا که در بیشتر موارد رخدادهای جوی همچون بارش در کسر کوچکی از روزهای یک ماه به‌وقوع می‌پیوندند و در واقع در بسیاری از موارد بررسی الگوهای گردشی ماهانه تبیین سازوکار حاکم بر وقوع بسیاری از رخدادهای جوی از جمله بارش را در منطقه خاورمیانه میسر نمی‌سازد. بنابراین شناسایی الگوهای روزانه گردش جو برای فصل‌های مختلف و بررسی ارتباط آنها با پدیده‌های محیطی مانند سیل، خشکسالی و آلودگی هوا در کشور بسیار اهمیت دارد. بر این اساس، پژوهش پیش رو با استفاده از داده‌های روزانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و با هدف شناسایی الگوهای گردش جو زمستانه تراز میانی جو بر روی خاورمیانه و ایران به انجام رسیده است. استفاده از داده‌های بلندمدت روزانه و نیز بهره‌گیری از روشی نو در گروه‌بندی الگوهای گردش جو از ویژگی‌های این پژوهش به‌شمار می‌آید.

مواد و روش‌ها

برای استخراج الگوهای گردش جوّی مؤثر بر آب‌وهوای ایران، داده‌های میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای ماه‌های دسامبر تا مارس دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۶۵ از مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی ایالات متحد آمریکا (NCEP/NCAR) دریافت گردید و مورد استفاده قرار گرفت. از آنجا که اغلب مطالعات انجام شده در ایران برای دستیابی به الگوهای گردش جوّی از تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌عنوان تراز معرفّ ورد سپهر میانی استفاده کرده‌اند (علیجانی، ۱۳۷۸، ۲۰۰۲؛ حجازی‌زاده، ۱۳۷۲؛ خوش‌اخلاق، ۱۳۷۷)، در این پژوهش نیز به‌منظور فراهم شدن امکان مقایسه نتایج با یافته‌های پیشین، از داده‌های این تراز استفاده شده است.

برای شناسایی الگوهای گردش جوّی مؤثر بر آب‌وهوای ایران محدوده‌ای که دربرگیرنده ۲۰ تا ۶۰ درجه شمالی و ۱۰ تا ۸۰ درجه شرقی است، انتخاب شد. این محدوده که از ۴۹۳ یاخته^۱ با دقت مکانی ۲/۵×۲/۵ درجه جغرافیایی تشکیل شده است به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته شده است تا الگوهای گردش جوّی مؤثر بر آب و هوای ایران در آن قابل شناسایی باشند. دوره زمانی مورد مطالعه در این پژوهش ماه‌های دسامبر تا مارس در نظر گرفته شد که فصل اصلی بارش در بیشتر مناطق ایران است. بر این اساس داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ماه‌های دسامبر تا مارس ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۰ برای این منظور استخراج شدند و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

به منظور گروه‌بندی الگوهای تکرارپذیر و حذف الگوهایی که تکرارپذیری بسیار پایینی دارند (ریچمن، ۱۹۸۱، ۱۱۴۵)، در این پژوهش روش PCA با آرایه S بر روی ماتریس همبستگی داده‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال انجام گردید. برای این منظور یک ماتریس همبستگی در ابعاد ۴۹۳×۴۳۵۵ (۴۹۳ یاخته $\times ۴۳۵۵$ روز) تشکیل شد و به عنوان ورودی PCA مورد استفاده قرار گرفت. پس با استفاده از نمودار غربالی^۱ (شکل ۲) شش مؤلفه اول برای تحلیل بیشتر انتخاب شدند. مؤلفه‌های انتخابی با استفاده از روش وریمکس چرخانده شدند تا الگوهای به‌دست آمده از نظر مکانی پایدار، همگن و دارای ساختار ساده‌ای باشند (ریچمن، ۱۹۸۱، ۱۱۴۸؛ فن استورس و سویرس، ۱۹۹۹، ۳۰۸). جدول ۱، درصد واریانس توضیح داده شده به وسیله مؤلفه‌ها را پیش از چرخش و پس از آن نشان می‌دهد.

برای طبقه‌بندی الگوهای گردش اغلب نتایج PCA به عنوان ورودی خوشه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از میان روش‌های خوشه‌بندی نیز از روش‌های غیر سلسله‌مراتبی مانند روش خوشه‌بندی چندهسته‌ای^۲ برای طبقه‌بندی الگوهای گردش مورد استفاده می‌شود (گانگ و ریچمن، ۱۹۹۵، ۸۹۹). اما برای انجام خوشه‌بندی چندهسته‌ای لازم است که تعداد گروه‌ها و هسته‌های آنها از پیش تعیین شوند. برای این منظور می‌توان از روش‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی بهره برد. جونز و دیویس (۲۰۰۰، ۸۱۶) از روش سلسله‌مراتبی میانگین فاصله، و رومرو و همکاران (۱۹۹۹، ۷۷۲) از روش وارد^۳ برای شناسایی گروه‌های اولیه و هسته‌های آنها استفاده کردند. برای شناسایی هسته‌های مورد نیاز در روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی استفاده کردند. برای شناسایی هسته‌های مورد نیاز در روش خوشه‌بندی چندهسته‌ای، جونز و دیویس (۲۰۰۰، ۸۱۶) از میانگین نمره‌های استاندارد گروه‌های به‌دست آمده از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی استفاده کردند. استبان و همکاران (۲۰۰۵، ۳۲۲ و ۲۰۰۶، ۱۵۰۵) برای دستیابی به گروه‌های اولیه و هسته‌های آنها، روش نمره‌های استاندارد فرین را به کار برده‌اند. در این روش استبان و همکاران (۲۰۰۵، ۳۲۲) از نمره‌های استاندارد ± 1 و استبان و همکاران (۲۰۰۶، ۱۵۰۵) از نمره‌های استاندارد ± 2 (نمره‌های استاندارد فرین) مؤلفه‌های چرخش یافته برای شناسایی گروه‌های اولیه و هسته‌های آنها استفاده کردند.

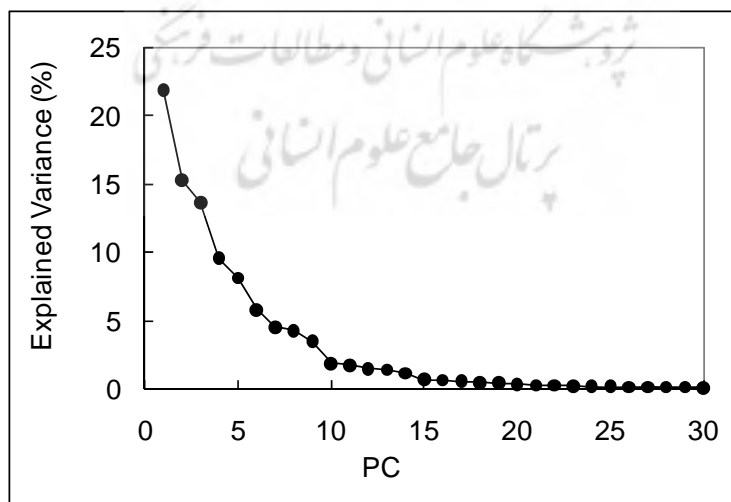
در پژوهش پیش رو نیز، به پیروی از استبان و همکاران (۲۰۰۵ و ۲۰۰۶)، روزهایی که دارای نمره استاندارد بزرگ‌تر از ۲ (برای فاز مثبت) و یا کوچک‌تر از -۲ (برای فاز منفی) در مؤلفه‌ای معین بودند، برای شناسایی تعداد گروه‌های اولیه و محاسبه هسته‌های آنها انتخاب شدند. سپس برای هر مؤلفه تعداد ده روز با بالاترین نمره استاندارد شناسایی و میانگین آن روزها به عنوان هسته آن گروه برای استفاده در روش خوشه‌بندی چندهسته‌ای در نظر گرفته شد. با انجام خوشه‌بندی چندهسته‌ای بر مبنای گروه‌ها و هسته‌های تعیین شده، تمامی روزهای مورد مطالعه (۴۳۵۵ روز) به ۱۲ گروه طبقه‌بندی و میانگین آنها به عنوان الگوهای گردش جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای منطقه مورد مطالعه ترسیم و ارائه گردید. گروه‌بندی الگوهای جوی در روش مورد استفاده براساس محل و موقعیت مراکز فعالیت جوی استوار است. از آنجا که هر مؤلفه دارای دو فاز مثبت و منفی است، همه داده‌های مورد بررسی به تعداد ۱۲ گروه که دو برابر تعداد مؤلفه‌های انتخابی است، گروه‌بندی شد. بر این اساس الگوهای به‌دست آمده با شماره ۱ تا ۶ (برابر با تعداد مؤلفه‌ها) و علامت‌های + و - (برای فاز مثبت و منفی هر مؤلفه) معرفی و در شکل ۲ ارائه شده‌اند.

1. Scree Plot
2. K-means Clustering
3. Ward
4. Seed

به منظور بررسی ارتباط میان الگوهای به دست آمده با پدیده بارش در سطح کشور از نمایه PI^1 که براساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود، استفاده گردید (ژانگ و همکاران، ۱۹۹۷، ۱۳۴۹۸). این نمایه میانگین بارش روزانه در یک الگوی مشخص (R_i) در طی تمامی روزهایی که آن الگو حاکم بوده است (n_i) را با میانگین بارش (R) در طی دوره مورد مطالعه به وسیله همه الگوها (n) مورد مقایسه قرار می‌دهد. از این رو با استفاده از نمایه PI می‌توان میزان مشارکت یک الگوی مشخص را در کل بارش طی دوره مورد مطالعه مشخص ساخت. دامنه تغییرات نمایه PI بین صفر تا ۴ است. مقدار PI کوچک‌تر از ۱ نشان‌دهنده آن است که الگوی مورد نظر مشارکتی در تولید بارش نداشته است. در مقابل، مقدار PI بسیار بزرگ‌تر از ۱ نشان‌دهنده آن است که الگوی مورد نظر سهم عمده‌ای در کل بارش به دست آمده دارد. هر چه مقدار نمایه PI به صفر نزدیک‌تر باشد، بی‌تأثیر بودن آن الگو را در ایجاد بارش نشان می‌دهد و در مقابل، هر چه مقدار نمایه به عدد ۴ نزدیک‌تر باشد، اهمیت آن الگو را در تولید بارش نشان می‌دهد.

$$PI(i) = \frac{R_i / n_i}{R / n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

با توجه به اینکه برای محاسبه نمایه PI به داده‌های بارش روزانه نیاز است، در این مطالعه از داده‌های بارش روزانه $APHRODITE^2$ که براساس داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های کشورهای منطقه خاورمیانه تهیه شده و با دقت مکانی نیم درجه جغرافیایی (در طول و عرض) شبکه‌بندی گردیده است بهره گرفته شد. برای تهیه این داده‌ها از ۳۳۷ ایستگاه سینوپتیک و اقلیم‌شناسی (کلیماتولوژی) وابسته به سازمان هواشناسی ایران نیز استفاده شده است (یاگاتای و همکاران، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹). با توجه به شبکه‌بندی نیم‌درجه‌ای داده‌های $APHRODITE$ ۶۳۸ نقطه از این شبکه‌بندی سرتاسر ایران را با فاصله نیم درجه جغرافیایی پوشش می‌دهد. این رو با استفاده از رابطه (۱) مقدار PI هر یک از الگوهای به دست آمده برای همه نقاط شبکه (۶۳۸ نقطه) محاسبه گردید و سپس با استفاده از روش کریجینگ و در محیط ArcGIS به نقشه تبدیل شد (شکل ۵).



شکل ۱. نمودار غربالی تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

1. Performance Index
2. The Asian Precipitation Highly Resolved Observation Data Integration Towards the Evaluation of Water Resources

جدول ۱. درصد واریانس توضیح داده شده به وسیله مؤلفه‌های انتخاب شده

شماره مؤلفه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	کل واریانس تبیین شده
پیش از چرخش	۲۱/۹	۱۵/۳	۱۳/۶	۹/۶	۸/۱	۵/۸	۷۴/۲
پس از چرخش	۱۵/۷	۱۳/۳	۱۲/۵	۱۲/۳	۱۰/۳	۱۰/۱	۷۴/۲

یافته‌های تحقیق

بر اساس نقطه شکست نمودار غربالی (شکل ۱)، ملاحظه می‌شود که شش مؤلفه نخست از دیگر مؤلفه‌ها متمایزند و در مجموع بیش از ۷۴/۲ درصد از کل واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند. با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که واریانس توضیح داده شده به وسیله مؤلفه‌های چرخش یافته با رقمی بین ۱۰/۱ تا ۱۵/۷ درصد تقریباً به هم نزدیک‌اند. شکل ۲ الگوهای گردش جوی^۱ تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و جدول ۲ فراوانی الگوهای به دست آمده را نشان می‌دهند. با توجه به جدول ۲، ملاحظه می‌شود که درصد فراوانی الگوهای به دست آمده تقریباً به هم نزدیک‌اند ولی الگوهای CT3+ و CT5- با ۹/۶ درصد بیشترین فراوانی و الگوهای CT1+ و CT6+ با ۷/۳ کمترین فراوانی دارند.

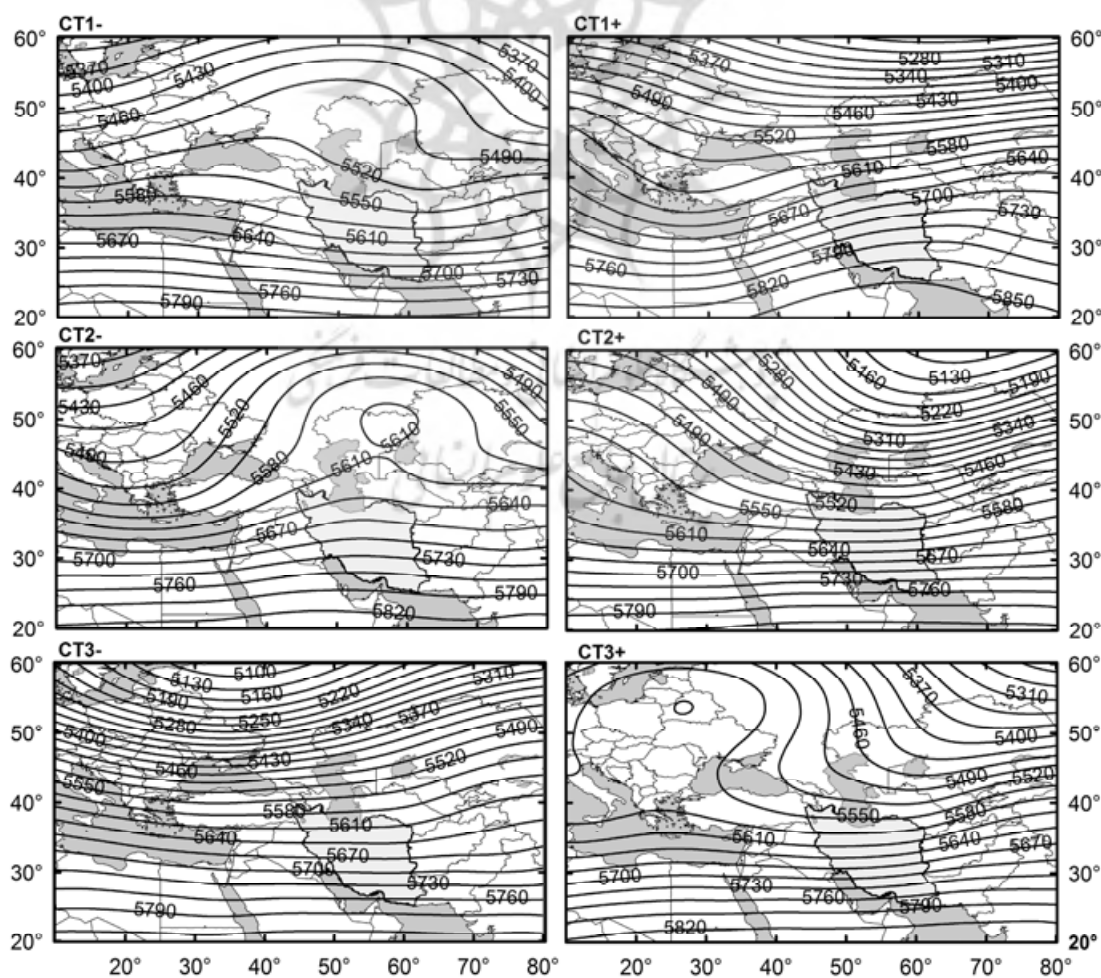
به طور کلی می‌توان الگوهای به دست آمده را بر اساس جهت جریان بادهای غربی بر روی کشور به سه گروه مداری، جنوب غربی و شمال غربی دسته‌بندی کرد. الگوهایی که با علامت + مشخص شده‌اند، اغلب جریان‌های جنوب غربی و الگوهایی که با علامت - مشخص شده‌اند، جریان‌های شمال غربی را بر روی ایران ایجاد می‌کنند. با توجه به شکل ۲ ملاحظه می‌گردد که در الگوی CT1- پشته‌ای قوی بر غرب روسیه استقرار یافته است که با پشته‌ای ضعیف‌تر بر غرب خاورمیانه (بر روی ترکیه) همراه شده و باعث گردیده است تا بادهای غربی از شمال غرب وارد ایران - و به ویژه نیمه‌شمالی آن - شوند. در مقابل، عمیق شدن یک ناوه بر شرق مدیترانه در الگوی CT1+ باعث ایجاد جریان‌های جنوب غربی بر روی نیمه غربی خاورمیانه شده و در نهایت موجب شکل‌گیری و گسترش گردش سیکلونی بر روی این منطقه و شمال ایران شده است.

این درحالی است که الگوی یاد شده در بخش‌های مرکزی و جنوبی ایران جریان آنتی‌سیکلونی ایجاد کرده است. در الگوی CT2- یک پشته قوی و گسترده بر جانب شمال دریای خزر و کوه‌های اورال استقرار یافته است، در حالی که الگوی CT2+ یک ناوه گسترده را بر روی روسیه و شمال شرق دریای خزر نشان می‌دهد. جریان بادهای بر روی ایران در زمان حاکمیت این دو الگو مداری است و آنها تنها می‌توانند بر آب‌وهوای بخش‌هایی از ایران تأثیرگذار باشند. الگوی CT3- از نظر توزیع فضایی مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل و نیز جهت جریان بر روی ایران بسیار شبیه به الگوی CT2+ است، با این تفاوت که مرکز جریان سیکلونی از شمال شرق روسیه به شمال شرق اروپا انتقال پیدا کرده است. الگوی CT3+ نیز اگرچه با استقرار پشته‌ای قوی بر شرق اروپا و شکل‌گیری ناوه نسبتاً عمیقی بر بخش‌های مرکزی روسیه و ریزش هوای سرد بر بخش‌هایی از شمال خاورمیانه همراه گردیده، اما به طور کلی جهت جریان بر روی ایران از یک امتداد مداری تبعیت کرده است.

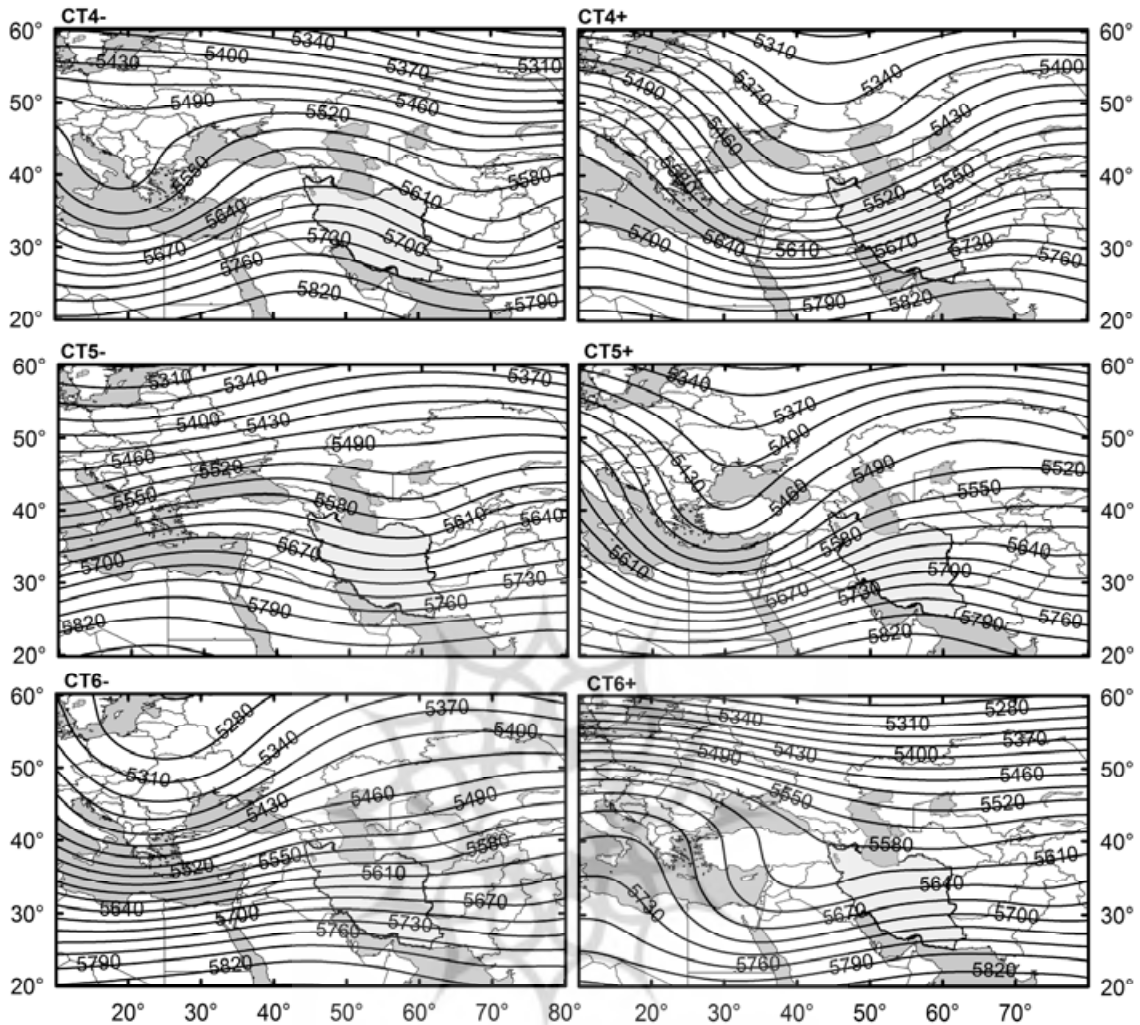
وجود یک ناوه بر روی مرکز دریای مدیترانه و یک پشته بر روی غرب ایران در الگوی CT4- موجب ایجاد جریان‌های شمالی غربی بر روی کشور می‌گردد. بر خلاف آن از ویژگی‌های الگوی CT4+ وجود یک ناوه بزرگ و عمیق بر روی شرق مدیترانه و دریای سرخ است که موجب ایجاد جریان‌های جنوب غربی بر روی ایران می‌گردد. در واقع در این الگو علاوه بر آنکه ناوه در موقعیت ایده‌آل و در نزدیک‌ترین فاصله خود بر جانب غربی ایران استقرار می‌یابد، در عین حال عمیق‌ترین حالت آن بر غرب خاورمیانه صورت می‌گیرد. ایده‌آل بودن این الگو زمانی آشکارتر می‌گردد که موقعیت پشته بر روی دریای عمان نیز لحاظ گردد. ترکیب ناوه عمیق سوریه با پشته قوی بر روی دریای عرب - عمان، ضمن ایجاد جریان‌های هوا با جهت و رطوبت مناسب و گسترش گردش سیکلونی، پتانسیل بالایی برای ایجاد بارش‌های فراگیر بر روی ایران دارد.

جدول ۲. درصد فراوانی الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

CT6+	CT6-	CT5+	CT5-	CT4+	CT4-	CT3+	CT3-	CT2+	CT2-	CT1+	CT1-	CT
۷/۳	۸/۵	۸/۹	۹/۶	۸/۵	۷/۶	۹/۶	۷/۷	۸/۸	۷/۵	۷/۳	۸/۵	فراوانی



شکل ۲. الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



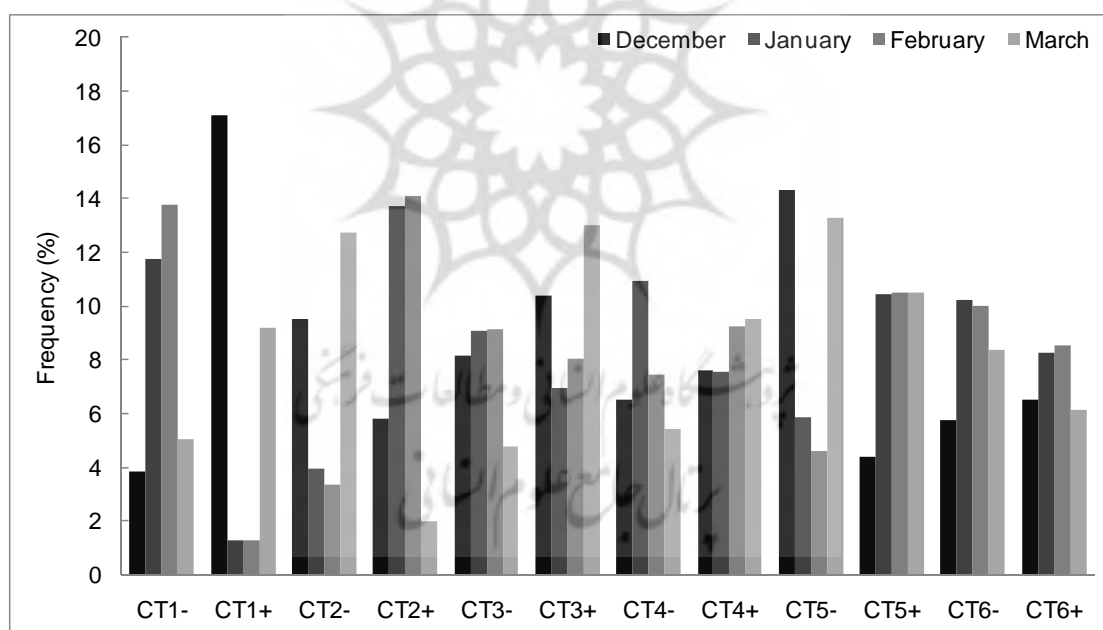
ادامه شکل ۲. الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

استقرار پشته گسترده اما ضعیف بر روی ترکیه و بالکان و یک ناوه بر روی شرق ایران، باعث می‌گردد که جهت جریان بادها بر روی ایران در الگوی CT5- شمال غربی باشد. در الگوی CT5+ ناوهای عمیق و گسترده بر روی شرق دریای مدیترانه شکل گرفته است که با ایجاد جریان‌های جنوب غربی بر روی ایران می‌تواند موجب ایجاد بارش در بخش‌های زیادی از کشور گردد.

ترکیب الگوی CT5+ بسیار شبیه به الگوی CT4+ است، با این تفاوت که محل استقرار و جهت محور ناوه در این دو الگو متفاوت است. در الگوی CT6- نیز استقرار یک ناوه بر روی شرق اروپا و یک پشته بر روی روسیه جریان‌های مداری را بر روی ایران پدیده آورده است. سرانجام، الگوی CT6+ با استقرار یک پشته و ناوه به ترتیب بر روی بالکان و دریای سرخ، شرایط مناسبی را برای انتقال هوای مرطوب از روی دریای سرخ و خلیج فارس به ایران و ایجاد بارش به ویژه در بخش‌های جنوبی کشور فراهم آورده است.

توزیع ماهانه الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

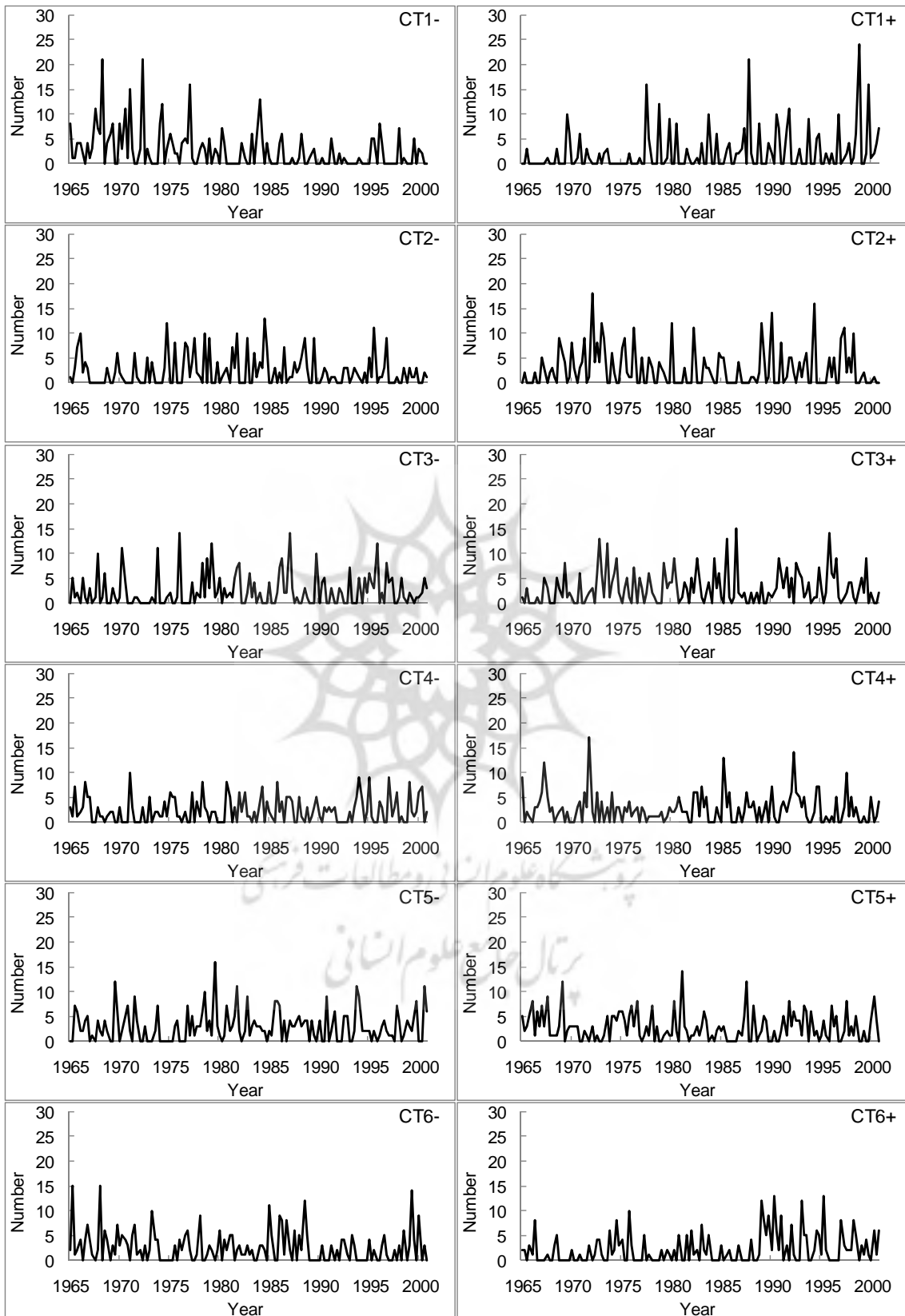
شکل ۳ توزیع ماهانه الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در فصل زمستان نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، دیده می‌شود که فراوانی الگوهای CT5+، CT6 و CT4+ تقریباً در همه ماه‌ها برابر است و تنها در ماه دسامبر از فراوانی آنها در مقایسه با دیگر ماه‌ها کاسته می‌شود. فراوانی بسیار بالای الگوی CT1+، CT5-، CT2- و CT3+ در ماه دسامبر و مارس در مقایسه با دیگر ماه‌ها، نشان‌دهنده این است که الگوهای مذکور اغلب در ماه‌های حاشیه‌ای فصل زمستان، فراوانی وقوع بیشتری دارند. الگوهای CT1- و CT2+ نیز بیشتر تمایل دارند که در ماه‌های ژانویه و فوریه بر روی ایران استقرار یابند. با توجه به شکل ۳ می‌توان گفت که فراوانی زیاد الگوهای جنوب غربی در نیمه دوم زمستان (ماه‌های فوریه و مارس) بیانگر آن است که این الگوها زمانی ایجاد می‌شوند که بادهای غربی به اوج فعالیت خود رسیده و تا عرض‌های پایین پیشروی کرده‌اند. به عنوان مثال، الگوهای CT3+، CT4+ و CT5+ که جریان جنوب غربی بر روی ایران دارند، بیشترین فراوانی را در این ماه‌ها نشان می‌دهند. همچنین آب‌وهوای ایران در ماه دسامبر بیشتر در کنترل الگوهای با جریان مداری مانند CT3- و CT3+ و پس از آن الگوهای با جریان شمال غربی مانند CT5- قرار دارد.



شکل ۳. توزیع ماهانه الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

روند تغییرات زمانی الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

شکل ۴ روند تغییرات زمانی فراوانی وقوع الگوهای گردش جوی را در سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. بررسی چشمی تغییرات زمانی اغلب الگوها روند درخور اعتنایی را نشان نمی‌دهد. به عبارت دیگر، میانگین و واریانس و توزیع آماری بیشتر الگوهای جوی نسبت به زمان تغییر معنی‌داری ندارد و می‌توان گفت که تغییرات آنها به صورت تصادفی پیرامون میانگین روی داده است. با این حال نمودار CT1- نشان می‌دهد که روند تغییرات این الگو، به‌ویژه از سال ۱۹۷۵ به بعد، کاهشی بوده است.



شکل ۴. روند تغییرات زمانی الگوهای گردش جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

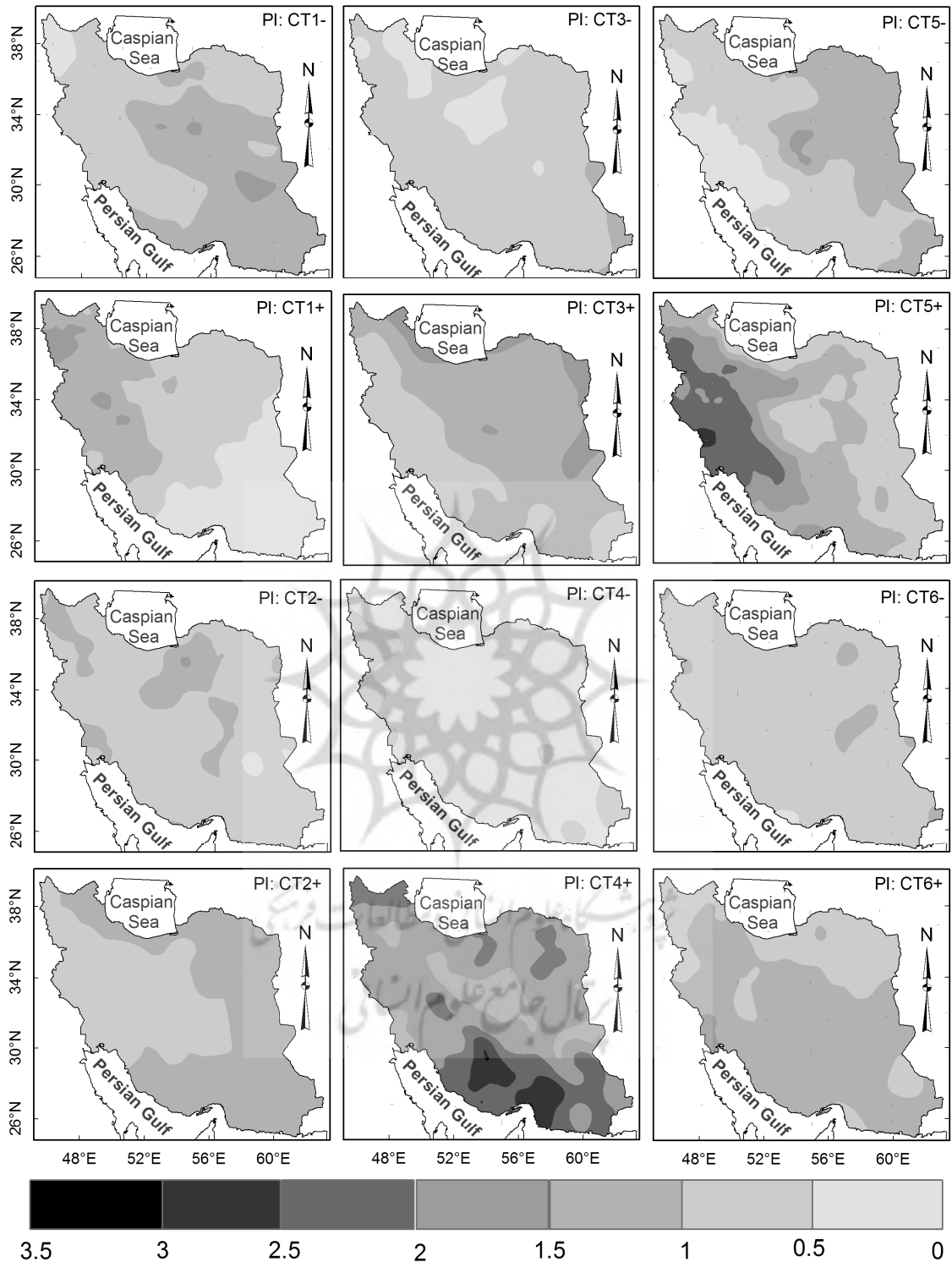
برای شناخت معنی‌داری روند تغییرات سری زمانی فراوانی الگوهای گردش جوی، آزمون من - کندال مورد استفاده قرار گرفت که نتیجه آن در جدول ۳ ارائه شده است. در صورتی که قدر مطلق مقادیر Z ارائه شده در این جدول بزرگ‌تر از $1/65$ و $1/96$ و $2/58$ باشد، روند سری به ترتیب در سطح اطمینان ۹۰ و ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار است. بر این اساس و با توجه به جدول ۳ روند کاهشی تغییرات سری زمانی -CT1 و -CT6 به ترتیب در سطح ۹۹ و ۹۰ درصد معنی‌دار است. همچنین با توجه به شکل ۴ روند افزایش جدی‌ای در الگوی +CT2 دیده می‌شود که به وسیله آزمون من - کندال (جدول ۳) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. روند افزایشی الگوهایی که پتانسیل ایجاد بارش در ایران را دارند، می‌تواند با روند افزایشی بارش در ایران مرتبط باشد و روند کاهشی آنها نیز می‌تواند پیدایش دوره‌های خشک و کم‌آب برخی از مناطق کشور را توجیه کند. وقوع دوره‌های پرآب و کم‌آب کشور را همچنین می‌توان با روند افزایشی و یا کاهشی الگوهای خشکی‌زا مانند برخی از الگوهای با جریان مداری و شمال غربی بر روی ایران توجیه کرد. بررسی ارتباط میان روند تغییرات الگوهای به‌دست آمده و روند تغییرات بارش و یا دما در کشور می‌تواند در شناخت تأثیر این الگوها بر اقلیم مناطق مختلف کشور کمک کند.

جدول ۳. نتیجه آزمون من - کندال بر روی سری زمانی فراوانی الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

CT1-	CT1+	CT2-	CT2+	CT3-	CT3+	CT4-	CT4+	CT5-	CT5+	CT6-	CT6+
-۴/۰۷	۲/۶۸	۰/۲۲	-۰/۸۹	۱/۱۵	۱/۳۴	۰/۳۱	-۰/۵۲	۰/۷۵	-۱/۴۷	-۱/۹۲	۲/۵۴

ارتباط الگوهای گردش جوی و بارش در ایران

شکل ۵ نقشه‌های PI مربوط به الگوهای مختلف گردش جوی به‌دست آمده در این پژوهش را نشان می‌دهد. نقشه PI وابسته به الگوی -CT1 نشان از آن دارد که این الگو تنها در بخش‌های جنوبی و شرقی ایران موجب بارش‌های عمده‌ای می‌شود و در نیمه غربی و شمالی کشور بارشی ایجاد نمی‌کند. در مقابل، مقادیر PI بزرگ‌تر از $1/5$ در نقشه مربوط به الگوی +CT1 نشان می‌دهد که این الگو تنها در بخش شمال غرب کشور موجب بارش می‌گردد و بقیه مناطق کشور در زمان حاکمیت این الگو بارشی دریافت نمی‌کنند. نقشه PI وابسته به الگوی -CT2 نیز به‌روشنی نشان می‌دهد که این الگو پتانسیل ایجاد بارش در ایران را ندارد و در زمان حاکمیت آن سرتاسر کشور خشک و بدون بارش است. الگوی +CT2 نیز پتانسیل لازم را برای تولید بارش در ایران ندارد، هر چند که به صورت محلی ممکن است در بخش‌هایی از جنوب، شرق و شمال کشور موجب بارش گردد. نقشه PI الگوی -CT3 به‌خوبی نشان می‌دهد که در زمان حاکمیت این الگو هوایی پایدار و بدون بارش در سرتاسر کشور استقرار پیدا می‌کند و به همین علت می‌توان الگوی مذکور را یکی از خشک‌ترین الگوها به‌شمار آورد. توزیع مکانی PI وابسته به الگوی +CT3 نیز نشان می‌دهد که اگرچه این الگو ممکن است در بخش‌هایی از شمال و شرق کشور بارش فراوانی را ایجاد کند، ولی می‌توان این الگو را نیز در گروه الگوهای خشکی‌زا برای کشور به‌شمار آورد.



شکل ۵. توزیع ماهانه گروه‌های اصلی الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

مقایسه نقشه PI وابسته به الگوی CT4- با دیگر نقشه‌ها در شکل ۵ نشان می‌دهد که این الگو خشک‌ترین الگوی گردش جوی برای ایران است، چرا که در زمان حاکمیت آن در سرتاسر کشور مقدار PI کوچک‌تر از ۱ است که نشان از بارش کمتر از نرمال اقلیمی دارد. در مقابل، نقشه PI وابسته به الگوی CT4+ نشان می‌دهد که این الگو پتانسیل بسیار

بالایی برای ایجاد بارش در سرتاسر کشور دارد. توزیع مقادیر بالای PI در سرتاسر کشور، به‌ویژه در نیمه جنوبی و غربی کشور، نشان می‌دهد که در زمان حاکمیت این الگو مقدار بارش بسیار بالاتر از شمال اقلیمی است. از این‌رو الگوی مذکور را می‌توان یکی از الگوهای مهم بارش‌زا برای ایران به شمار آورد. نقشه PI وابسته به الگوی CT5- نیز نشان می‌دهد که مشارکت این الگو در ایجاد بارش در ایران تنها به بخش شمال شرقی کشور محدود می‌گردد و بیشتر مناطق کشور به هنگام حاکمیت این الگو بارشی دریافت نمی‌کنند. الگوی CT5+ را می‌توان همانند الگوی CT4+ از مهم‌ترین الگوها برای تولید بارش در کشور به شمار آورد. این دو الگو با ایجاد جریان‌های جنوب غربی و انتقال رطوبت بر روی ایران موجب ناپایداری هوا و ایجاد بارش در بیشتر بخش‌های کشور می‌گردد. مقادیر PI بزرگ‌تر از ۱/۵ در نیمه غربی کشور نشان می‌دهد که الگوی CT5+ بیشترین تأثیر را در این بخش از کشور بر جای می‌گذارد و بارش‌های فراوانی را در نیمه غربی ایران تولید می‌کند. برخلاف الگوی CT4+ که همه مناطق کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد، نقشه PI وابسته به الگوی CT5+ نشان می‌دهد که این الگو عمدتاً نیمه غربی و مرکزی کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از شدت بارش‌های آن از غرب به شرق کاسته می‌شود. با توجه به گسترش مقادیر PI کوچک‌تر از ۱ در سرتاسر کشور در هنگام استقرار الگوی CT6- می‌توان این الگو را نیز در گروه الگوهای خشک و کم‌بارش به شمار آورد. سرانجام، با توجه به مقادیر PI بین ۱ تا ۱/۵ در بسیاری از بخش‌های کشور می‌توان گفت که الگوی CT6+ نیز پتانسیل ایجاد بارش را در بیشتر مناطق کشور دارد. اما نگاهی به نقشه PI مربوط، نشان می‌دهد که تأثیر این الگو در شمال و شمال غرب کشور بسیار ضعیف است و بارش عمده‌ای را در این مناطق سبب نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

با بهره‌گیری از داده‌های میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در یک دوره زمانی ۳۶ ساله (۲۰۰۰-۱۹۶۵) تعداد ۱۲ الگوی گردشی (CT) زمستانه (ماه‌های دسامبر تا مارس) برای ایران و منطقه خاورمیانه تعیین گردید، که براساس جهت وزش بادهای غربی بر روی ایران می‌توان آنها را به سه دسته اصلی مداری، شمال غربی و جنوب غربی تقسیم کرد. در الگوهای مداری همیشه جهت جریان بادهای غربی بر روی ایران به صورت مداری و یا تقریباً مداری است، در حالی که در الگوهای جنوب غربی همواره یک ناوه در غرب ایران (از مدیترانه تا ایران) قرار دارد که جریان‌ها را به صورت نصف‌النهاری درمی‌آورد و آنها را با جهت جنوب غربی تا غربی به روی ایران روانه می‌کند. تفاوت در محل، عمق و گسترش این ناوه باعث تفاوت الگوهای جنوب غربی از یکدیگر و تفاوت در میزان تأثیرگذاری آنها بر آب‌وهوای ایران می‌شوند. هر چه ناوه عمیق‌تر و به ایران نزدیک‌تر باشد، اثر آن بر اقلیم کشور بیشتر است و بارش بیشتری را در پهنه گسترده‌تری از ایران سبب می‌شود. عمیق شدن این ناوه باعث نصف‌النهاری شدن جهت جریان در این الگوها می‌شود و پتانسیل ایجاد بارش در آنها را افزایش می‌دهد. در جریان‌های شمال غربی این ناوه جای خود را با یک پشته عوض می‌کند و باعث ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی بر روی ایران می‌شود.

نتیجه این پژوهش نشان داد که فراوانی اغلب الگوها تقریباً در همه ماه‌ها برابر است؛ هر چند الگوهای CT1+، CT5-، CT2- و CT3+ در ماه‌های حاشیه‌ای فصل زمستان فراوانی وقوع بیشتری دارند. فراوانی زیاد الگوهای جنوب

غربی CT3+، CT4+ و CT5+ در نیمه دوم فصل زمستان نیز بیانگر آن است که این الگوها زمانی ایجاد می‌شوند که بادهای غربی به اوج فعالیت خود برسند و تا عرض‌های پایین پیشروی کنند. بررسی روند تغییرات فراوانی الگوها نیز نشان داد که بیشتر آنها از روند خاصی پیروی نکرده‌اند و تغییرات آنها به صورت تصادفی پیرامون میانگین سری رخ داده است. نتایج آزمون من - کندال بر روی این سری‌ها نیز نشان داد که تنها تعداد اندکی از الگوها با روند کاهشی و یا افزایش معنی‌دار مواجه بوده‌اند.

بررسی ارتباط میان الگوهای گردش جوی و بارش در سطح کشور نشان داد که برخی از الگوهای به‌دست آمده سهم زیادی در تولید بارش سالانه کشور دارند، در حالی که برخی دیگر با ایجاد هوای پایدار بر روی منطقه مانع از ایجاد بارش در ایران می‌شوند، که این با یافته‌های رضیئی و همکاران (۱۳۸۸) کاملاً هماهنگ است. الگوهای مانند CT4+ و CT5+ با ایجاد جریان‌های جنوب غربی و انتقال مناسب هوای مرطوب و ایجاد ناپایداری بر روی ایران، بارش زیادی را در سرتاسر کشور و یا بخش‌هایی از ایران ایجاد می‌کنند. بارش‌های ناشی از الگوی CT4+ اغلب سرتاسر کشور را با شدت‌های متفاوت در بر می‌گیرد، در حالی که بارش‌های ناشی از الگوی CT5+ بیشتر نیمه غربی کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در واقع در الگوی CT4+ ترکیب ناوه عمیق سوریه با پشته قوی بر روی دریای عرب - عمان ایده‌آل‌ترین الگوی بارشی ایران را رقم می‌زند که با بالاترین ناهنجاری‌های مثبت سبب ایجاد بارش‌های فراگیر در ایران می‌گردد. الگوهای CT2-، CT3-، CT4 و CT6- را نیز می‌توان الگوهای خشکی‌زا برای کشور به شمار آورد، چرا که به هنگام حاکمیت آنها تقریباً در سرتاسر کشور هوای پایدار و بدون ابر و بارش حاکم می‌گردد. بقیه الگوها نیز تنها در بخش‌هایی از کشور موجب بارش می‌شوند و به همین علت می‌توان گفت که تأثیر این دسته از الگوها در بارش کشور بیشتر به صورت منطقه‌ای است. بارش ناشی از این الگوها، چه از نظر گستره مکانی و چه از نظر مقدار، قابل مقایسه با بارش ناشی از الگوهای CT4+ و CT5+ نیست. از این‌رو الگوهای CT4+ و CT5+ را می‌توان مهم‌ترین الگوهای باران‌آور برای سرتاسر کشور به شمار آورد.

سپاس‌گزاری

از همکاری ارزنده آقای دکتر عباس مفیدی از دانشگاه فردوسی مشهد، صمیمانه سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

- Alijani B., 1990, **Establishment of the Siberian High Pressure System and its Impacts on the Climate of Northeastern Iran**, Iranian Quarterly Journal of Geographical research, No. 17, 1-51.
- Alijani B., 1999, **Spatial and Temporal Variations of February 500 hPa Flow Patterns in the Mediterranean and Its Influence in the Climate of Iran**, Proceeding of the second regional conference of climate change, Iranian meteorological organization.
- Alijani B., 2001a, **Weather Types and Their Impacts on Climate of Iran**, Quarterly Journal of Kavosh, No. 3, 21-49, University of Yazd, Iran.

- Alijani B., 2001b, **Identification of Rain Producing Weather Types for Tehran on the Basis of Vorticity Computation**, Iranian Quarterly Journal of Geographical research, No. 64, 114-132.
- Alijani B., and Zahedi M., 2002, **A Statistical and Synoptic Analysis of Precipitation in Azarbaijan**, Iranian Quarterly Journal of Geographical research, No. 65, 203-217.
- Alijani, B., 2002, **Variation of 500hpa Flow Patterns Over Iran and Surrounding Areas and Their Relationship with Climate of Iran**, Theor. Appl. Climatol. 71.
- Azizi Gh., 1996, **Blocking and its Impacts on Precipitation in Iran**, Ph.D. Thesis, Supervisor Houshang Ghaemi, Department of physical geography, University of Tarbiat Modares, Iran.
- Bayati Khatibi M., 1995, **A Synoptic Analysis for North-western Iran**, M.Sc. Thesis, Supervisor Saeid Jahanbakhsh, Department of physical geography, University of Tabriz, Iran.
- Bogardi, I., Matyasovszky, I., Bardossy, A. and Duckstein, L., 1994, **A Hydroclimatological Model of Areal Drought**, Journal of Hydrol, 153, 245-264.
- Chen, D., and Hellstrom, C., 1999, **The Influence of the North Atlantic Oscillation on the Regional Temperature Variability in Sweden: Spatial and Temporal Variations**, Tellus 51A(4): 505-516.
- Corte-Real J., Qian B., Xu H. 1998, **Regional Climate Change in Portugal: Precipitation Variability Associated with Large-scale Atmospheric Circulation**, International Journal of Climatology, 18: 619-635.
- Duckstein, L., Bárdossy, A., Bogárdi, I., 1993, **Linkage between the Occurrence of Daily Atmospheric Circulation Patterns and Floods: An Arizona Case Study**, Journal of Hydrology 143, 413-428.
- Eizadnegahdar Z., 1991, **Investigation of some Specific Synoptic Mediterranean Systems and Their impacts on Climate of Iran**, M.Sc. Thesis, Supervisor Houshang Ghaemi, institute of Geophysics, University of Tehran, Iran.
- Esteban P., Jones P.D., Martín-Vide J., Mases M., 2005, **Atmospheric Circulation Patterns Related to Heavy Snowfall Days in Andorra**, Pyrenees. International Journal of Climatology, 25: 319-329.
- Esteban P., Martín-Vide, J. and Mases, M., 2006, **Daily Atmospheric Circulation Catalogue for Western Europe Using Multivariate Techniques**, Int. J. Climatol, 26: 1501-1515.
- Faraji E., 1981, **Investigation of the Path of the Rain Producing Low Pressure Systems Over Iran and Identification Their Position and Movement Patterns**, M.Sc. Thesis, Supervisor Mohamad Kheirandish, institute of Geophysics, University of Tehran, Iran.
- Fowler, H.J. and Kilsby, C.G., 2002, **A Weather-type Approach to Analyzing Water Resource Drought in the Yorkshire Region From 1881 to 1998**, Journal of Hydrol, 262, 177-192.
- Frakes, B. and Yarnal, B., 1997, **A Procedure for Blending Manual and Correlation-based Synoptic Classification**, Int.J.Climatol, 17, 1381-1396.
- Gong X., Richman M.B., 1995, **On the Application of Cluster Analysis to Growing Season Precipitation Data in North America East of the Rockies**, Journal of Climate, 8: 897-931.

- Hejazizadeh Z., 1993, **A Synoptic Investigation of the Impact of the Subtropical High Fluctuations on Season Changes in Iran**, Ph.D. Thesis, Supervisor Houshang Ghaemi, Department of physical geography, University of Tarbiat Modares, Iran.
- Hojatizadeh R., 2002, **A Synoptic Investigation of Floods in Rivers of Western Zagros (With Emphasis on Karkheh, Karoon and Dez basins)**, Ph.D. Thesis, Supervisor Mohamad Reza Kaviani and Hassan Ghayour, Department of physical geography, University of Isfahan, Iran.
- Jahanbakhsh S. and Karami F., 1999, **Synoptic Analysis of the Impact of the Siberian High Pressure System on Precipitation Occurrences over Southern Coast of the Caspian Sea**, Iranian Quarterly Geographical Research, No. 55-56, 107-131.
- Jones, G.V., and Davis, R.E., 2000, **Using a Synoptical Approach to Understand Climate-Viticulture Relationships**, Int.J.Climatol., 20, 813-837.
- Khoshakhlagh F., 1998, **A Research on Widespread Droughts in Iran Utilizing Synoptic Analysis**, Ph.D. Thesis, Supervisor Saeid Jahanbakhsh, Department of physical geography, University of Tabriz, Iran.
- Khoshhal Dasjerdi J., 1997, **Analysis and Modeling of Synoptic Climatology for Precipitation Occurrences Exceeding 100 mm in Southern Coast of the Caspian Sea**, Ph.D. Thesis, Supervisor Houshang Ghaemi, Department of physical geography, University of Tarbiat Modares, Iran.
- Kidson, J.W., 2000, **An Analysis of New Zealand Synoptic Types and their Use in Defining Weather Regimes**, Int. J. Climatol, 20: 299–316.
- Kilsby, C.G., Cowpertwait, P.S.P. O'Connell, P.E. and Jones, P.D., 1998, **Predicting Rainfall Statistics in England and Wales Using Atmospheric Circulation Variables**, Int.J.Climatol, 18, 523- 539.
- Kutiel H., Hirsch-Eshkol T.R., Turke, s M., 2001, **Sea Level Pressure Patterns Associated with Dry or Wet Monthly Rainfall Conditions in Turkey**, Theoretical and Applied Climatology, 69: 39–67.
- Lamb, H.H. 1977, **Climate, Present, Past and Future**, Climate history and the future, Vol. 2, Methuen, London.
- Lashkari H., 1996, **The Synoptic Pattern of Heavy Precipitation Occurrences in Southwestern Iran**, Ph.D. Thesis, Supervisor Houshang Ghaemi, Department of physical geography, University of Tarbiat Modares, Iran.
- McKendry I.G., 1994, **Synoptic Circulation and Summertime Ground-level Ozone Concentrations at Vancouver**, British Columbia. Journal of Applied Meteorology, 33: 627–641.
- Mofidi A. and Zarrin A., 2005a, **Synoptic Analysis of the Sudan Low Pressure Systems (A Case Study: 2001 Thunderstorm)**, Geographical Quarterly Journal of Sarzamin, No. 6, 24-48.
- Mofidi A. and Zarrin A., 2005b, **Synoptic Investigation of the Influences of the Sudan Low Pressure Systems in Flood Producing Precipitation Occurrences in Iran**, Iranian Quarterly Journal of Geographical research, No. 77, 113-136.
- Mofidi A., Zarrin A. and Janbaz Ghobadi Gh., **Identification of Synoptic Pattern of Autumnal Heavy and Extreme Precipitation in Southern Coast of the Caspian Sea**, Iranian Journal of earth and space physics, Vol. 33, No. 3, 131-154.

- Pesti, G., Sherestha, B.P., Duckstein, L. and Bogardi, I., 1996, **A Fuzzy Rule-based Approach to Drought Assessment**, Water Resources Research, Vol. 32, No. 6, 1741-1747.
- Pongracz R., Bogardi I., Duckstein L., 1999, **Application of Fuzzy Rule-based Modeling Technique to Regional Drought**, J Hydrol 224: 100–114.
- Pongracz R., Bogardi I., Duckstein L., 2003, **Climate Forcing of Drought: A Central European Example**, Hydrological sciences, 48: (1), 39-50.
- Raziei T., Mofidi A. and Zarrin A., 2009, **The 500 hPa Centers of Action and Atmospheric Circulation Patterns over Middle East and their Relationship with Precipitation in Iran**, Iranian Journal of earth and space physics, Vol. 35, No. 1, 121-141.
- Richman M.B., 1981, **Obliquely Rotated Principal Components: An Improved Meteorological Map Typing Technique?**, Journal of Appl. Meteo, Vol. 20, 1145-1159.
- Romero, R., Sumner, G., Ramis, C., and Genoves, C., 1999, **A Classification of the Atmospheric Circulation Patterns Producing Significant Daily Rainfall in the Spanish Mediterranean Area**, Int. J. Climatol, 19: 765–785.
- Sabziparvar A.A., 1991, **Synoptic Investigation of Flood Producing Systems in Southwestern of Iran**, M.Sc. Thesis, Supervisor Mohamad Kheirandish, institute of Geophysics, University of Tehran, Iran.
- Santos, J.A., Corte-Real, J. and Leite, S.M., 2005, **Weather Regimes and Their Connection to the Winter Rainfall in Portugal**, Int. J. Climatol, 25: 33–50.
- Stahl, K. and Demuth, S., 2001, **Atmospheric Circulation and Drought**, In: Stahl, K and S. Demuth (eds) Assessment of the regional impact of droughts in Europe, ARIDE Final report, Univ. of Freiburg, Germany.
- Trigo, R.M., and DaCamara, C.C., 2000, **Circulation Weather Types and Their Influence on the Precipitation Regime in Portugal**, Int. J. Climatol, 20: 1559–1581.
- Vicente-Serrano, S.M., and Lopez-Moreno, J.I., 2006, **The Influence of Atmospheric Circulation at Different Spatial Scales on Winter Drought Variability Through a Semi-Arid Climatic Gradient in Northeast Spain**, Int. J. Climatol, 26: 1427–1453.
- Von Storch, H. and F.W. Zwiers, 1999, **Statistical Analysis in Climate Research**, Cambridge, University Press, UK.
- Wibig, J, 1999, **Precipitation in Europe in Relation to Circulation Patterns at the 500 hpa Level**, Int. J. Climatol, 19: 253–269.
- Wilks D.S. 1995, **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction**, Academic Press, San Diego, California, USA.
- Yarnal, B., 1993, **Synoptic Climatology in Environmental Analysis**, London, A primer, Belhaven Press, London, UK.
- Yatagai, A., Arakaw O., Kamiguch, K., Kawamoto, H., Nodzu, M.I. Hamada, A., 2009, **A 44-Year Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia Based on a Dense Network of Rain Gauges**, SOLA, 5: 137-140.
- Yatagai, A., P. Xie and P. Alpert, 2008, **Development of a Daily Gridded Precipitation Data Set for the Middle East**, Adv. in Geosci., 12, 165-170.
- Zhang X., Wang XL, Corte-Real J., 1997, **On the Relationships Between Daily Circulation Patterns and Precipitation in Portugal**, Journal of Geophysical Research, 102: 13495–13507.