

مراکز فعالیت و الگوهای گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی خاورمیانه و ارتباط آنها با بارش ایران

طیب رضیئی^{۱*}، عباس مفیدی^۲ و آذر زرین^۳

^۱استادیار، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب‌خیزداری کشور، تهران، ایران

^۲استادیار، گروه جغرافیای مؤسسه آموزش عالی طبرستان، چالوس، ایران

^۳استادیار گروه جغرافیای مؤسسه آموزش عالی طبرستان، چالوس، ایران

(دریافت: ۸۶/۱۱/۱۳، پذیرش نهایی: ۸۷/۷/۲)

چکیده

به منظور شناسایی الگوهای گردش جو زمستانه روی خاورمیانه و تعیین میزان ارتباط آنها با بارش‌های ایران از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس برای تعداد ۴۳۵۵ روز در یک دوره آماری ۳۶ ساله (۱۹۶۵-۲۰۰۰) استفاده شد. به منظور گروه‌بندی داده‌ها و استخراج الگوهای اصلی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی با آرایه S روی ماتریس داده‌ها صورت گرفت و به کمک آزمون غربالی (Scree Test) ۹ مؤلفه نخست انتخاب و به روش وریمکس (Varimax) چرخانده شد. با ترسیم نقشه بارگویه (Loading) مؤلفه‌های چرخش‌یافته مراکز فعالیت (Centers of Action) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال که اقلیم زمستانه خاورمیانه را کنترل می‌کنند، شناسایی شد. به منظور تحلیل ویژگی‌های همدیدی مرتبط با این مراکز فعالیت، برای هر مؤلفه تعداد ۱۰ روز با بالاترین نمره استاندارد (فاز مثبت) تعیین و نقشه‌های ترکیبی (Composite) ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی نسبی آنها برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و نیز نقشه‌های ترکیبی فشار سطح دریا و تاوایی نسبی آنها در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال تهیه و در حکم الگوهای گردش جو زمستانه خاورمیانه ارائه شد. سرانجام ارتباط بین الگوهای همدیدی زمستانه خاورمیانه و بارش ایران زمین مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

نتایج بررسی‌ها بیانگر آن است که الگوی فضایی توزیع بارش زمستانه ایران به غیر از سواحل جنوبی دریای خزر در سایر مناطق کشور به خوبی از الگوهای گردش تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پیروی می‌کند. بررسی‌ها روشن ساخت که دوره‌های خشک و کم بارش فراگیر ایران با تقویت و گسترش شمال‌سوی پرفشار عربستان در ترازهای میانی و ردسپهر روی نیمه غربی خاورمیانه در ارتباط است. همچنین یافته‌ها نشان‌دهنده آن است که عمیق شدن ناوه 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 قابل ملاحظه را در بخش‌های وسیعی از غرب و جنوب غرب ایران فراهم می‌آورد. بررسی ارتباط بین الگوهای همدیدی و بارش‌های مقیاس منطقه‌ای حاکی از آن است که وقوع بارش در منطقه خزری بیش از آنکه با الگوی گردش و ردسپهر میانی مرتبط باشد به موقعیت و شدت مراکز پرفشار ترازهای زیرین جو وابسته است. به طوری که در ۴ الگو از ۹ الگوی شناسایی شده، به‌واسطه استقرار مرکز پرفشار و افزایش تاوایی منفی در ترازهای زیرین جو بر جانب غربی دریای خزر و به دنبال آن شکل‌گیری و تداوم گردش واچرخندی و جریان‌های شمالی روی این دریا، سواحل جنوبی دریای خزر از بارش قابل ملاحظه‌ای برخوردار شده است.

واژه‌های کلیدی: الگوی گردش جو، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، مراکز فعالیت، بارش ایران، تحلیل مؤلفه‌های اصلی

The 500 hpa atmospheric centers of action and circulation patterns over the Middle East and their relationship with precipitation in Iran

Raziei, T¹., Mofidi, A². and Zarin, A³.

¹Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran

²Assistant Professor, Geography Department Tabarestan Institute of Higher Education, Chalous, Iran

³Assistant Professor, Geography Department Tabarestan Institute of Higher Education, Chalous, Iran

(Received: 2 Feb 2008 , Accepted: 23 Sep 2008)

Abstract

It is well-known that regional weather and climate around the globe are strongly influenced by large-scale atmospheric circulation patterns. The centers of action corresponding to different levels of atmosphere play an essential role in controlling the climate of different climatic regions around the globe. Over the years several efforts have been made to identify the main centers of action and large-scale atmospheric circulation patterns leading to precipitation events and to study how their variability can affect the frequency and intensity of precipitation. Hence, using weather types or circulation patterns one is able to investigate and explain the physical causes for the frequency and intensity variation of precipitation over a region.

Reviewing synoptic studies in relation to Iran have suggested that in spite of many subjective circulation classifications being implemented using observational data mainly on the monthly basis; few attempts have been done objectively using reanalysis data, especially on the basis of daily data. Hence, this paper aims to identify the main centers of action and circulation patterns in relation to winter precipitation variability over Iran.

To recognize winter atmospheric circulation patterns over the Middle East, the mean daily 500 gph for December, January, February and March were retrieved and used from the National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) reanalysis archive, covering the period from January 1965 to 2000, accounting for 4355 days during a period of 36 years. Subsequently, daily precipitation rates for some selected days were also retrieved from the NCEP/NCAR reanalysis archive in order to assess the influences of the identified circulation patterns on precipitation in Iran.

To classify the 4355 days and extract the main circulation patterns, S-mode PCA was applied to the data matrix and the resultant 9 leading PCs were retained based on the scree test. The retained PCs were then rotated using the varimax criterion. By plotting the rotated PC loadings the centers of action for 500 hpa level that control the winter climate of the Middle East were identified. To analyze the corresponding synoptic characteristics of the identified centers of action, 10 days with the highest PC score (positive phase) were selected for each PC. The composite map of the selected days and the corresponding vorticity maps for 500 and 1000 hpa levels were represented as the winter circulation patterns. Finally, by composing the precipitation rates associated to the each aforementioned selected 10 days, the relationship between identified synoptic circulation patterns over the Middle East and the winter precipitation in Iran was investigated.

The results indicate that the spatial pattern of winter precipitation in Iran, with the exception of the southern coastal areas of the Caspian Sea, is properly governed by the 500 hpa circulation patterns. The results also show that the large spread water deficit and dry periods in Iran are related to the northward displacement of the Arabian high pressure at mid troposphere level over the western part of the Middle East. Moreover, the results

indicate that the deepening of the westerly wave and the increasing positive vorticity in the area between Iran and the southern part of the Red Sea, accompanied with the development and/or reinforcement of a high pressure in the area between eastern Saudi Arabia and the central part of the Red Sea is responsible for widespread precipitation occurrences over vast areas of western and southwestern parts of Iran. Investigation of the relationship between synoptic circulation patterns and the regional scale winter precipitation in Iran shows that the precipitation occurrence in the Caspian region is mostly related to the position and strength of the lower atmosphere high pressures rather than the mid troposphere circulation patterns. This is evident if we consider that in about 4 out of 9 identified circulation patterns the southern coastal areas of the Caspian Sea get remarkable precipitation due to the predominance of a high pressure system and an increase in the negative vorticity in mid troposphere over the western part of the Caspian Sea as well as the development and/or prolonging anticyclonic circulation and northerly flows over the Caspian Sea.

Key words: Atmospheric circulation pattern, 500 hpa level, Centers of action, Precipitation in Iran, Principal component analysis

۱ مقدمه

تغییر می‌کند. با استفاده از روش PCA، راجرز و ون‌لون (۱۹۸۲) الگوهای گردش جوّی و مراکز فعالیت وابسته به آنها را برای نیم کره جنوبی و ویبیک (۱۹۹۹) ۵ گونه الگوی گردشی برای اروپا به دست آوردند. شناخت تأثیر مراکز فعالیت و الگوهای گردش جوّی بر فراوانی و شدت بارش یک منطقه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (فریکس و یارنال، ۱۹۹۷). لمب (۱۹۷۷) روشن ساخت که ارتباط میان بارش به مثابه متغیرترین پدیده جوّی و الگوهای گردش جوّ، بسیار قوی است. با شناسایی الگوهای گردش جوّ می‌توان تغییرات، فراوانی، شدت و توزیع مکانی بارش را بررسی و دلایل فیزیکی آنرا بیان کرد (ویسته - سرانو و لویز - مورنو، ۲۰۰۶). به همین علت کوشش‌های بسیاری برای توسعه روش‌های گروه‌بندی الگوهای گردش جوّ و بررسی نقش و تأثیر آنها بر متغیر بارش صورت گرفته است (رومرو و همکاران، ۱۹۹۹؛ سانتوس و همکاران، ۲۰۰۵). چن و هلستورم (۱۹۹۹) روشن ساختند که هر گونه ویژه هوا، ویژگی‌های دمایی خاصی را در جنوب سوئد پدید می‌آورد. کرته - ریل و همکاران (۱۹۹۸) و تریگو و داکامارا (۲۰۰۰) کاهش

آب و هوای محلی و منطقه‌ای تحت تأثیر الگوهای بزرگ مقیاس گردش جوّی است (کیدسون، ۲۰۰۰). این الگوها با جبهه‌ها، سامانه‌های چرخندی و واچرخندی، عناصر و پدیده‌های متفاوت آب و هوایی را در عرض‌های میانه کنترل می‌کنند (مکندری، ۱۹۹۴). مراکز فعالیت ترازهای متفاوت جوّ نیز نقش بسیار مهمی در کنترل آب و هوای مکان‌های جغرافیایی دارند. مراکز پرفشار (پرارترتفاع) و کم‌فشار (کم‌ارتفاع) در نقشه‌های سطح دریا (تراز بالایی جو) را مراکز فعالیت می‌نامند. محل و گستره این مراکز فعالیت، نقش بسیار مهمی در کنترل آب و هوای مناطق پیرامون آنها دارند (سانتوس، ۲۰۰۴ و والاس و گوتز، ۱۹۸۱) با بهره‌گیری از دو روش تحلیل همبستگی و تحلیل مؤلفه اصلی (Principal Component Analysis-PCA) مراکز فعالیت نقشه‌های سطح دریا و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را برای نیم کره شمالی شناسایی و الگوهای پیوند از دور (North Atlantic Oscillation) NAO و (Pacific North Atlantic) PNA را معرفی کردند. آنها روشن ساختند که ناهنجاری فشار (ارتفاع) در مراکز فعالیت هریک از این الگوها در جهت عکس دیگری

فراوانی گونه‌های هوای باران‌زا و افزایش فراوانی گونه‌های هوای خشکی‌زا را عامل اصلی کاهش بارش در پرتغال در نیمه دوم قرن بیستم می‌دانند. داکستاین و همکاران (۱۹۹۳) نیز الگوهای گردشی مولد سیلاب را برای ایالت آریزونا، امریکا شناسایی کردند.

پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه شناسایی الگوهای گردش جو در ایران را می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم کرد: دسته اول پژوهش‌هایی هستند که براساس داده‌ها و نقشه‌های موجود در سازمان هواشناسی کشور به شناسایی الگوهای گردش جو پرداخته‌اند و گروه دوم پژوهش‌هایی هستند که با استفاده از رایانه و با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای رایانه‌ای و داده‌های رقومی موجود در مراکز پژوهشی هواشناسی و اقلیم‌شناسی جهان اصطلاحاً به روش خودکار به انجام رسیده‌اند. کمبود داده و امکانات نرم‌افزاری از محدودیت‌های پژوهش‌های گروه نخست به شمار می‌آید. این محدودیت‌ها گستره زمانی و مکانی این گونه پژوهش‌ها را محدود ساخته است. بررسی سازوکارها و تعیین فراوانی زمانی و مکانی و گستره تأثیر سامانه‌های باران‌آور روی ایران (فرجی، ۱۳۶۰؛ ایزد نگهدار، ۱۳۷۰؛ خوشحال دستجردی، ۱۳۷۶) و سامانه‌های مولد سیل در مقیاس منطقه‌ای (سبزی‌پرور، ۱۳۷۰؛ لشگری، ۱۳۷۵؛ نصیری، ۱۳۷۸؛ حجتی‌زاده، ۱۳۸۱؛ مفیدی و زرین، ۱۳۸۴ الف) از جمله پژوهش‌های گروه نخست به شمار می‌روند که در آنها الگوهای همدیدی وابسته به رویدادهای مهم بارش و یا سیل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. همچنین بررسی نقش پرفشار سبیری بر آب و هوای شرق ایران (علیجانی، ۱۳۶۹؛ چوخاچی زاده مقدم، ۱۳۷۶)، بررسی اثر پرفشار جنب حاره بر آب و هوای ایران (حجازی زاده، ۱۳۷۲)، چگونگی تشکیل پدیده بلو کینگ و نقش آن در آب و هوای ایران (عزیزی، ۱۳۷۵) و نقش پرفشارها در ایجاد بارش در ناحیه خزری (جهانبخش و کرمی، ۱۳۷۸) از این دسته پژوهش‌ها هستند.

استفاده از داده‌های رقومی با حجم زیاد و روش‌های آماری پیشرفته به کمک نرم‌افزارهای رایانه‌ای از ویژگی‌های مهم پژوهش‌های گروه دوم‌اند. در این پژوهش‌ها، الگوهای گردش جو و یا گونه‌های هوای مؤثر بر آب و هوای کشور با استفاده از داده‌های رقومی ترازهای متفاوت جو و به کمک رایانه گروه‌بندی شده‌اند و نقش آنها بر متغیرهای اقلیمی، مانند بارش و دما مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است (علیجانی، ۱۳۷۸؛ ۱۳۸۰ الف؛ ۱۳۸۰ ب؛ ۲۰۰۲؛ علیجانی و زاهدی، ۱۳۸۱). علیجانی (۱۳۷۸) با استفاده از داده‌های میانگین ماهانه ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوهای گردش جو این تراز را برای منطقه مدیترانه تعیین و اثر آن را بر اقلیم ایران بررسی کرد. او نتیجه گرفت که در بیشتر وقت‌ها ناوهای بلند روی مدیترانه حاکم است و با جابه‌جایی خود، اقلیم ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این ناوه با بارش ایران رابطه منفی و با دمای ایران رابطه مثبت دارد. علیجانی (۱۳۸۰ الف) همچنین با استفاده از داده‌های روزانه فشار سطح زمین NCEP/NCAR (در ساعت ۱۲) در دوره نوامبر تا مارس ۱۹۶۶-۹۵ و به کمک روش PCA و تحلیل ترکیبی (Composite Analysis) ۱۸ گونه‌های هوایی برای ایران شناسایی کرد. او روشن ساخت که گونه کم‌فشار غربی و گونه پرفشار غربی به ترتیب بیشترین بارش‌ها را در جنوب البرز و سواحل دریای خزر ایجاد می‌کنند. علیجانی (۱۳۸۰ ب) همچنین با بهره‌گیری از روش جنکینسون-کولینز (۱۹۷۷) توانست ۱۰ الگوی گردش جو برای ایران شناسایی و ارتباط آنها را با سه گروه بارشی سبک، متوسط و سنگین تهران مورد ارزیابی قرار دهد. او نتیجه گرفت که گونه‌های چرخندی از فراوانی وقوع بیشتری برخوردارند و بارش‌های سنگین‌تری در تهران ایجاد می‌کنند. علیجانی و زاهدی (۱۳۸۱) به کمک روش همبستگی، ۱۱ گونه‌های هوایی را که عامل بارش‌های با تداوم دو روزه در آذربایجان هستند شناسایی کردند و نتیجه گرفتند که گونه

با یافته‌های پیشین، از تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در نقش تراز معرف و ردسپهر میانی استفاده شده است. محدوده مورد بررسی در پژوهش حاضر در برگیرنده 20° تا 60° عرض شمالی و 10° تا 80° طول شرقی است. در این پژوهش، ماه‌های دسامبر تا مارس ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۰ درحکم دوره زمانی مورد بررسی انتخاب شد. این ماه‌ها دوره اصلی بارش را در بیشتر مناطق کشور تشکیل می‌دهند که تقریباً برابر با دوره سرد سال در ایران است و به باور علیجانی (۲۰۰۲) از ماه نوامبر آغاز و تا پایان ماه مارس ادامه دارد.

۲-۲ روش پژوهش

برای گروه‌بندی الگوهای گردش جوی و شناسایی مراکز فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در محدوده مورد مطالعه روش PCA مورد استفاده قرار گرفت. با اعمال PCA روی داده‌های فشار (ارتفاع) می‌توان الگوهایی را که تکرارپذیری بسیار کمی دارند حذف و الگوهای تکرارپذیر را دسته‌بندی کرد (ریچمن، ۱۹۸۱). در این پژوهش روش PCA با آرایه S روی ماتریس همبستگی داده‌ها اعمال شد (ریچمن، ۱۹۸۱ و یارنال، ۱۹۹۳). برای این منظور ماتریس همبستگی در ابعاد $493 \times 4355 \times 493$ یاخته $4355 \times$ (روز) تشکیل شده و درحکم ورودی مدل PCA مورد استفاده قرار گرفت. بعد از اعمال PCA روی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، با استفاده از آزمون غربالی، (شکل ۱) ۹ مؤلفه نخست برای تحلیل‌های بعدی انتخاب شدند. در آزمون غربالی مقادیر ارزش ویژه مؤلفه‌ها در برابر تعداد مؤلفه‌ها روی نمودار برده می‌شود و از روی خط تغییر شیب این نمودار می‌توان در مورد تعداد مؤلفه‌هایی که باید نگه داشت تصمیم گرفت (ویلکس، ۱۹۹۵).

به منظور ساده کردن تفسیر فیزیکی نتایج PCA، مؤلفه‌های تعیین شده چرخش داده شدند. استفاده از فرایند چرخش موجب افزایش تعداد متغیرهای دارای بارگویی

مداری دارای بیشترین فراوانی وقوع و گونه چرخندی مهم‌ترین گونه باران‌زا در منطقه است. علیجانی (۲۰۰۲) همچنین با بررسی توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال توانست دو ناوه خزر و سوریه را که نقش مهمی در کنترل آب و هوای ایران دارند، شناسایی و معرفی کند. او در این بررسی روشن ساخت که ناوه‌ها و پشته‌هایی که در نزدیکی ایران قرار می‌گیرند بیشترین تأثیر را در آب و هوای ایران دارند و از این میان، ناوه سوریه و مدیترانه مهم‌ترین نقش را به‌ویژه در بارش غرب کشور دارا هستند.

پژوهش‌های پیش‌گفته نشان می‌دهند که الگوهای گردش جوی شناسایی شده برای ایران، اغلب با استفاده از داده‌های میانگین ماهانه به‌دست آمده‌اند. در پژوهش پیش‌رو، با استفاده از داده‌های روزانه فصل زمستان، الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی خاورمیانه و ایران با بهره‌گیری از روش PCA تعیین می‌شود و ارتباط آن با بارش ایران مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲ مواد و روش‌ها

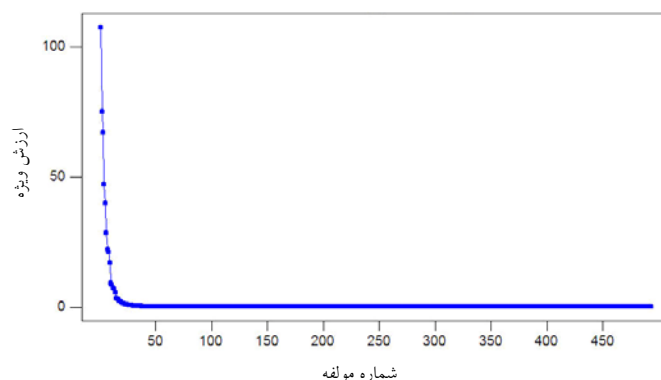
۲-۱ محدوده مورد بررسی و داده‌ها

برای استخراج الگوهای گردش جوی مؤثر بر آب و هوای ایران از میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال که از مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوی ایالات متحد آمریکا که به اختصار به NCEP/NCAR شهرت دارد، استفاده شده است (کالنی و همکاران، ۱۹۹۶). از آنجا که اغلب بررسی‌های صورت گرفته روی گردش جو زمستانه از تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال درحکم تراز معرف و ردسپهر میانی استفاده کرده‌اند (هاسکینز و پیرس، ۱۹۸۳؛ علیجانی، ۱۳۶۶؛ حجازی‌زاده، ۱۳۷۲؛ خوش‌اخلاق، ۱۳۷۷)، در این پژوهش نیز برای فراهم شدن امکان مقایسه نتایج بررسی‌ها

این نقشه‌ها می‌توان شدت و موقعیت نسبی مراکز فعالیت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در محدوده مورد بررسی تعیین کرد. این نقشه‌ها مناطق با ناهنجاری یکسان را نشان می‌دهند و از آن به مثابه مدهای اصلی تغییرات مکانی نام می‌برند (هیوستون و کرین، ۱۹۹۲). هر نقشه بارگویه نشان‌دهنده یک مد یا گونه نقشه است که تغییرپذیری مقدار ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را از میانگین مکانی محدوده مورد بررسی نشان می‌دهد (کوهن، ۱۹۸۳). نقشه‌های بارگویه را می‌توان همانند نقشه‌های ناهنجاری فشار (ارتفاع) در نظر گرفت و با آن می‌توان آرایش الگوهای همدیدی را شناسایی کرد. بر این اساس، چنین نقشه‌هایی را می‌توان نقشه گونه هوا نیز نامید. از آنجا که هر مؤلفه دارای دو فاز مثبت و منفی است، هر مؤلفه می‌تواند در برگیرنده دو گونه نقشه باشد (ریچمن، ۱۹۸۱). بر این اساس، نقشه بارگویه مؤلفه‌های انتخابی را

نزدیک به صفر می‌شود به طوری که پس از چرخش، هر مؤلفه تعداد متغیرهای کمتری را با بارگویه زیاد دسته‌بندی می‌کند (ریچمن، ۱۹۸۱). در این پژوهش از روش چرخش عمودی و ریمکس برای چرخاندن مؤلفه‌های انتخابی استفاده شد، چرا که این روش که هیچ‌گونه وابستگی به شکل قلمرو و یا منطقه مورد بررسی ندارد موجب می‌شود تا مؤلفه‌های به دست آمده غیرهمبسته و از نظر فیزیکی تفسیرپذیرتر (فن استورث و سویرس، ۱۹۹۹) باشند (ریچمن، ۱۹۸۱). جدول ۱ درصد واریانس توضیح داده شده با مؤلفه‌ها را پیش و پس از چرخش نشان می‌دهد.

به منظور شناسایی مراکز فعالیت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، مقدار بارگویه هر ۹ مؤلفه انتخابی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.2 به نقشه تبدیل شد. با استفاده از



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

جدول ۱. درصد واریانس توضیح داده شده با مؤلفه‌های انتخابی.

شماره مؤلفه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	کل واریانس تبیین شده
پیش از چرخش	۲۱٫۹	۱۵٫۳	۱۳٫۶	۹٫۶	۸٫۱	۵٫۸	۴٫۵	۴٫۳	۳٫۵	۸۶٫۵
پس از چرخش	۱۲٫۱	۱۱٫۳	۱۰٫۶	۹٫۶	۹٫۴	۸٫۹	۸٫۴	۸٫۲	۸٫۰	۸۶٫۵

داده شده با مؤلفه‌های انتخابی را پیش و پس از چرخش نشان می‌دهد. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که واریانس توضیح داده شده با مؤلفه‌های چرخش یافته با رقمی بین ۸ تا ۱۲ درصد تقریباً به هم نزدیک هستند. این موضوع نشان می‌دهد که نقش هریک از مؤلفه‌های انتخابی در توضیح واریانس داده‌ها تقریباً برابر است.

۳-۱ مراکز فعالیت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

نقشه توزیع مکانی بارگویه مؤلفه‌های انتخابی می‌تواند مناطق اصلی فعالیت‌های همدیدی مثل مراکز کم ارتفاع و پرارتفاع را در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به نمایش بگذارد. مراکز فعالیت که از نظر وسعت دارای مقیاس همدیدی‌اند نقش مهمی در کنترل آب و هوای مقیاس منطقه‌ای بازی می‌کنند. برخی از مراکز فعالیت مانند آזור و ایسلند از نظر زمانی و مکانی از تداوم و پایداری نسبی برخوردارند و در تعیین آب و هوای نیم کره شمالی نقش بسیار مهمی دارند.

مقدار بار (load) یک یاخته روی یک مؤلفه نشان‌دهنده ضریب همبستگی بین سری زمانی نمره استاندارد آن مؤلفه و یاخته مورد نظر است. شکل ۲ توزیع مکانی بارگویه مؤلفه‌های انتخابی را نشان می‌دهد. این نقشه‌ها با نشان دادن مراکز کم ارتفاع و پرارتفاع که نقش مهمی در کنترل آب و هوای ایران دارند می‌توانند به تحلیل الگوهای گردش جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال کمک بسیاری کنند.

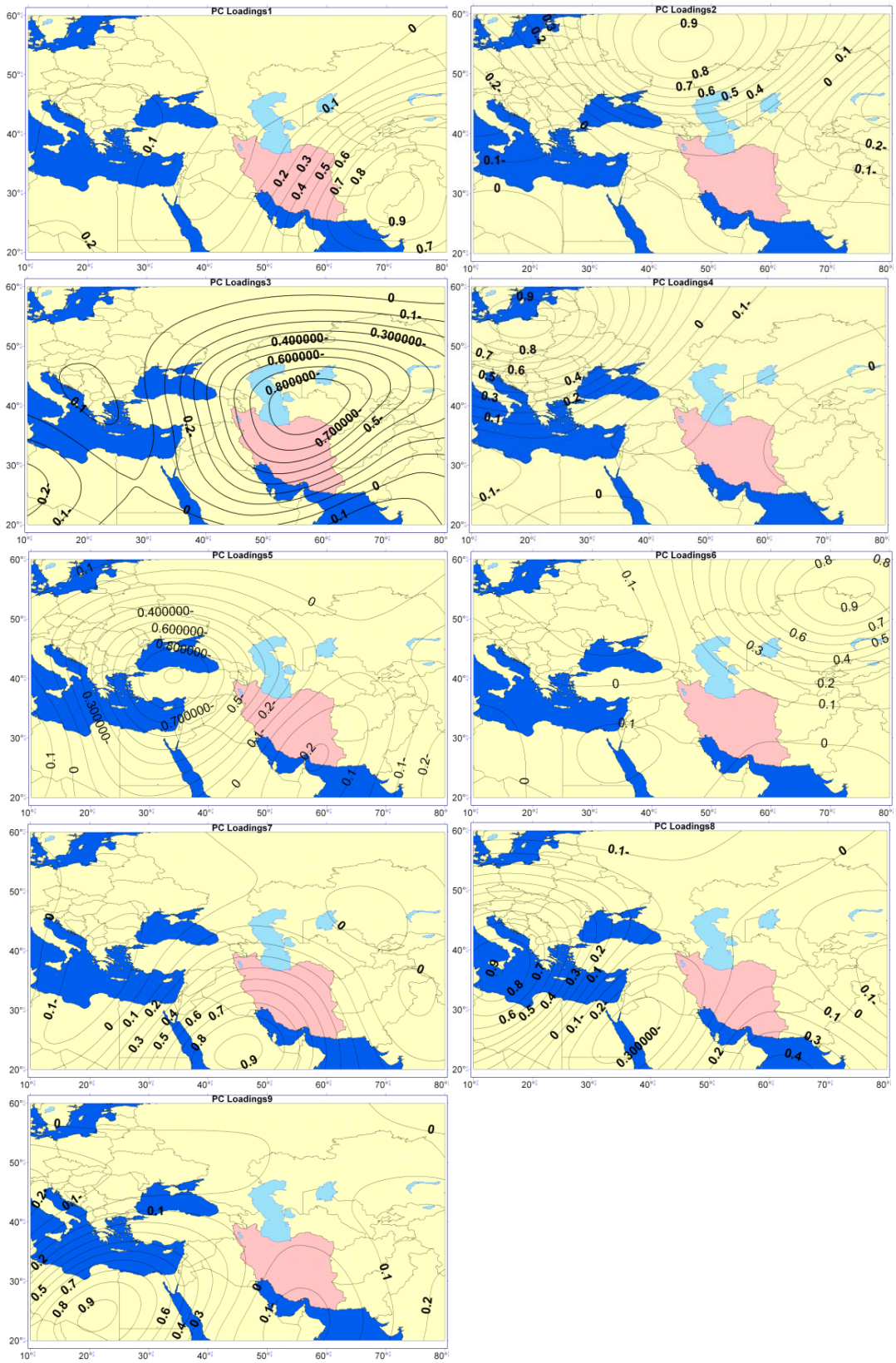
نقشه بارگویه مؤلفه اول یک مرکز فشار را با ناهنجاری مثبت در شرق و جنوب شرق ایران نشان می‌دهد که نشان‌دهنده یک پرارتفاع در این منطقه است. در این نقشه همچنین یک ناهنجاری مثبتی روی دریای مدیترانه و اروپا مشاهده می‌شود که بیانگر وجود یک پشته در این منطقه است. با توجه به اینکه مؤلفه اول ۱۲ درصد از کل واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهد، این مؤلفه درحکم مد

می‌توان درحکم الگوهای گردش جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای منطقه مورد بررسی ارائه کرد. اما چون واحد خطوط هم ارزش این نقشه‌ها با نقشه‌های واقعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال متفاوت و تفسیر آنها پیچیده است، برای هر مؤلفه تعداد ده روز با بالاترین نمره استاندارد (فاز مثبت) شناسایی و نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی نسبی آنها با استفاده از نرم‌افزار GrADS تهیه شد. نقشه‌های ترکیبی فوق، معرف الگوهای گردش جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در منطقه مورد بررسی هستند. یادآور می‌شود که نقشه‌های ترکیبی فاز منفی هر مؤلفه قرینه فاز مثبت آن مؤلفه‌اند که برای پرهیز از طولانی شدن مقاله از ارائه آنها صرف نظر شده است.

همچنین به منظور پی بردن به چگونگی آرایش مراکز فشار در سطح زمین برای هر یک از الگوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه ترکیبی فشار و تاوایی نسبی روزهای انتخابی با استفاده از داده‌های فشار سطح دریا و مؤلفه‌های باد مداری (U) و نصف‌النهاری (V) در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال تهیه و مورد تحلیل قرار گرفت. این نقشه‌ها امکان ارزیابی وضعیت متوسط الگوهای فشار در سطح زمین و ارتباط آنها با الگوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را فراهم می‌کنند. در آخر به منظور ارزیابی نقش هریک از الگوهای به دست آمده بر بارش کشور، نقشه ترکیبی نرخ بارش روزهای انتخابی نیز تهیه شد و مورد بررسی قرار گرفت. نقشه‌های نرخ بارش براساس داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک کشورها و به روش درونیابی مرکز ملی پیش‌بینی محیطی امریکا تهیه می‌شوند.

۳ نتایج

براساس نقطه شکست نمودار غربالی (شکل ۱) ملاحظه می‌شود که ۹ مؤلفه نخست از دیگر مؤلفه‌ها متمایزاند و روی هم رفته بیش از ۸۶٫۵ درصد از کل واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند. جدول ۱ نیز درصد واریانس توضیح



شکل ۲. توزیع مکانی بارگویه مؤلفه‌های انتخابی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال.

آرال و شمال دریاچه بایکال دیده می‌شود. گستره این مرکز فعالیت تا شمال شرق ایران نیز ادامه پیدا کرده است. این ناهنجاری مثبت وجود یک پراتفاح را در این بخش از محدوده مورد بررسی نشان می‌دهد. شایان ذکر است که این محدوده در ترازهای زیرین جو محل تشکیل پرفشار سیبری در دوره سرد سال است. مرکز فعالیت دوم که با بار منفی روی اروپا قرار دارد نشان‌دهنده وجود ناوهای روی اروپا است که با جهت شمال غربی - جنوب شرقی از اسکاندیناوی تا شرق دریای سیاه امتداد پیدا کرده است. وجود این دو مرکز فعالیت با علامت متفاوت، بیانگر الگویی دو قطبی است. البته مرکز فعالیت دیگری نیز روی دریای سرخ قرار دارد که هم از نظر وسعت و هم از نظر مقدار ناهنجاری از اهمیت کمتری برخوردار است. نقشه بارگویه مؤلفه هفتم نیز مرکز فعالیتی با ناهنجاری مثبت را روی عربستان نشان می‌دهد که بخش‌های جنوبی ایران را نیز در بر می‌گیرد. مرکز فعالیت دیگری با ناهنجاری منفی روی دریای مدیترانه قرار گرفته که دارای امتدادی شمالی - جنوبی است. قضاوت در مورد اینکه در سطح زمین چه وضعیتی حاکم است در بخش الگوهای گردش جو ارائه می‌شود. در نقشه بارگویه هشتم یک مرکز فعالیت با ناهنجاری مثبت روی مدیترانه مرکزی دیده می‌شود که مرکز آن در جنوب ایتالیا قرار گرفته است. این مرکز ناهنجاری مثبت بخش‌های شمال غربی افریقا و کل اروپا را در بر گرفته است. در جنوب شرق این مرکز فعالیت مرکز فعالیت دیگری با ناهنجاری منفی روی دریای سرخ دیده می‌شود که با جهت جنوب غربی - شمال شرقی از شمال غرب ایران تا شرق افریقا امتداد پیدا کرده است. یک مرکز ناهنجاری مثبت دیگر روی اقیانوس هند و دریای عمان تشکیل شده که تا جنوب شرق ایران پیشروی کرده است. در شرق این مرکز فعالیت یک منطقه با ناهنجاری منفی روی چین تشکیل شده که تا دریاچه بایکال ادامه می‌یابد. نقشه مؤلفه هشتم پنج منطقه

اصلی تغییرپذیری (Mode of Variability) در محدوده مورد بررسی شناخته می‌شود. به عبارت دیگر روند تغییرات زمانی این مؤلفه با روند تغییرات یاخته‌های بسیار زیادی هماهنگ است و بیش از سایر مؤلفه‌ها، ویژگی‌های اقلیمی فصل زمستان خاورمیانه را متأثر می‌سازد. مرکز فعالیت مؤلفه دوم با ناهنجاری مثبت در شمال دریای خزر و روی روسیه قرار گرفته است که نشان‌دهنده وجود یک پراتفاح در این منطقه است. در شرق و غرب این پراتفاح دو کم‌ارتفاع به ترتیب روی چین و جنوب غرب اروپا تشکیل شده است که با بار منفی نشان داده شده‌اند. مهم‌ترین مرکز فعالیت تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مؤلفه سوم در حد فاصل دریای خزر تا شمال شرق ایران قرار دارد. این مرکز فعالیت که سرتاسر کشور ایران و دریای خزر را با بار منفی در بر گرفته است نشان‌دهنده ناهنجاری منفی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (کم ارتفاع) در این منطقه است. مرکز فعالیت ضعیف‌تری نیز در شرق دریای مدیترانه و اروپای شرقی قرار دارد که با بار مثبت، نشان از وجود یک پراتفاح در این منطقه دارد.

در نقشه بارگویه مؤلفه چهارم یک مرکز فعالیت مهم و گسترده با ناهنجاری مثبت روی اروپا دیده می‌شود که مرکز آن در شمال اروپا و جنوب اسکاندیناوی قرار دارد. در شرق نقشه نیز یک ناهنجاری منفی با محور شمال شرقی - جنوب غربی از شرق روسیه تا شرق مدیترانه گسترش یافته است که شدت زیادی ندارد. مؤلفه پنجم منطقه‌ای گسترده با ناهنجاری منفی را روی شرق مدیترانه نشان می‌دهد که مرکز آن روی ترکیه قرار گرفته است. این کم‌ارتفاع مرکز فعالیت اصلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این مؤلفه به شمار می‌رود. در شرق این پراتفاح یک منطقه با ناهنجاری مثبت از جنوب عربستان تا مرزهای غربی مغولستان کشیده شده است که نشانگر وجود یک پراتفاح روی ایران است. در نقشه بارگویه مؤلفه ششم مرکز فعالیتی با ناهنجاری مثبت در شمال شرق دریاچه

مراکز فشار را به صورت پشته و ناوه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به خوبی نشان می‌دهد (شکل ۳a). این نقشه الگویی از موج راسبی را مشخص می‌کند که در آن یک ناوه نسبتاً عمیق روی نیمه غربی خاورمیانه استقرار یافته است. شکل‌گیری یک پشته با محور شمال شرق- جنوب غرب روی شرق اروپا، تشکیل و عمیق شدن ناوه را در شرق خود روی خاورمیانه امکان‌پذیر ساخته است (شکل ۳a). شایان ذکر است که در این الگو جهت جریان روی ایران در ترازهای میانی جنوب غربی بوده و حداکثر متوسط تاوایی مثبت در غرب ایران و روی عراق در محدوده محور ناوه به ۳۵ واحد بر ثانیه می‌رسد. چنین الگویی در صورت انتقال مناسب رطوبت در ترازهای زیرین جو، پتانسیل مناسبی برای ایجاد بارش در غرب و جنوب غرب ایران دارد.

الگوی سطح زمین وابسته به آن یک پرفشار گسترده را روی غرب چین و پرفشار دیگری را روی بخش غربی دریای خزر نشان می‌دهد. مرکز پرفشار اخیر در منطقه نزول هوا در جلوی پشته تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تشکیل و موجب ریزش هوای سرد شمالی روی بخش‌های شمالی ایران می‌شود. کم‌فشاری نیز در عرض‌های بالا و روی دامنه شرقی کوه‌های اورال دیده می‌شود که کم‌ترین تأثیر را بر ایران دارد (شکل ۳j).

در نقشه متوسط تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال تاوایی روی نیمه غربی دریای خزر به ۲- واحد بر ثانیه بالغ می‌شود که بیانگر شدت گردش و اچرخندی روی این منطقه است. این گردش امکان انتقال رطوبت دریای خزر به منتهی‌الیه سواحل جنوبی این دریا را فراهم می‌کند. نتیجه استقرار چنین الگویی همان‌طوری که نقشه متوسط بارش مربوط به این الگو نشان خواهد داد ایجاد بارش‌های قابل ملاحظه در جنوب غرب دریای خزر است. دیگر ویژگی برجسته این الگو استقرار پشته‌ای روی جنوب شرق ایران و دریای عرب در ترازهای میانی (شکل ۳a) همراه با تاوایی منفی و

ناهنجاری را نشان می‌دهد که منطقه ناهنجاری مثبت تشکیل شده روی دریای مدیترانه اهمیت بیشتری دارد و محل پشته گسترده‌ای را روی اروپا نشان می‌دهد. شایان ذکر است که نقشه بارگویه هشتم و ناهنجاری آن، انطباق خوبی را با الگوهای همدیدی دوره مرطوب ایران (خوش‌اخلاق، ۱۳۷۷) و الگوی گردش تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در زمان تقویت و گسترش سامانه‌های کم‌فشار سودانی روی ایران (مفیدی و زرین، ۱۳۸۴الف) نشان می‌دهد. و سرانجام نقشه بارگویه مؤلفه نهم نیز مرکز فعلیتی با ناهنجاری مثبت را در شمال شرق افریقا نشان می‌دهد که تا دریای سیاه و شمال غرب ایران ادامه پیدا کرده است. این ناهنجاری مثبت نشان از وجود یک پشته در این منطقه دارد. روی اروپا یک مرکز ناهنجاری منفی با جهت غربی- شرقی دیده می‌شود. همچنین منطقه ناهنجاری منفی دیگری نیز در جنوب ایران و روی عربستان مشاهده می‌شود که نشان از وجود یک کم‌ارتفاع و قرارگیری ایران در زیر یک ناوه دارد.

۳-۲ الگوهای گردش جو

همان‌گونه که در روش پژوهش گفته شد برای هر یک از مؤلفه‌های انتخابی، تعداد ده روز با بالاترین نمره استاندارد شناسایی و نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی نسبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال آنها در حکم الگوی گردش جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در شکل‌های ۳a تا ۳i ارائه شد. همچنین برای شناسایی الگوهای فشار وابسته به هر یک از الگوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه ترکیبی فشار سطح دریا و تاوایی نسبی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای ده روز انتخابی تهیه و در شکل‌های ۳j تا ۳r ارائه شد. نقشه‌های ترکیبی به دست آمده نمایشگر الگوهای گردش جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سطح دریا است که از این پس از آنها با عنوان CP (Circulation Pattern) نام برده می‌شود. نقشه ترکیبی وابسته به مؤلفه نخست (CPI) وجود

مرزهای غرب-شمال غربی کشور شود.

در الگوی سوم (CP3) پشته‌ای روی غرب روسیه استقرار یافته که امکان تشکیل ناوهای عمیق با محور شمال شرقی- جنوب غربی را در حدفاصل دریای خزر و دریاچه آرال امکان‌پذیر ساخته است. این ناوه همراه با گردش چرخندی قابل ملاحظه تا مرکز ایران عمیق شده و همه مناطق واقع در بالاتر از عرض 27° شمالی را تحت تأثیر گردش چرخندی خود قرار داده است (شکل ۳c). وجود پشته واقع در غرب روسیه موجب ریزش هوای سرد با جهت شمال غربی روی ایران شده است. الگوی سطح زمین وابسته به CP3 نیز تشکیل کم‌فشار گسترده‌ای در شمال شرق دریای خزر، درست در زیر محور ناوه تراز بالای را نشان می‌دهد. این الگو همچنین استقرار یک پرفشار روی جنوب شرق اروپا، درست در منطقه نزول هوا در جلوی پشته تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را نمایش می‌دهد که ریزش هوای سرد شمالی و ایجاد شرایط پایدار روی ایران را موجب می‌شود (شکل ۳L). از ویژگی‌های این الگو، گردش و چرخندی شدید روی کرانه غربی دریای خزر و جریان‌های شمالی روی این دریا است که نتیجه آن همان‌طوری که نقشه متوسط بارش مربوط به این الگو نشان خواهد داد، ایجاد بارش‌های قابل توجه در سواحل جنوبی دریای خزر است. استقرار مرکز پرفشاری روی نیمه شرقی دریای سیاه، همراه با شکل‌گیری مرکز کم‌فشاری در حدفاصل دریای خزر و دریاچه آرال (شکل ۳L)، موجب همگرایی و تقویت جریان‌های شمالی روی دریای خزر شده که به نظر می‌رسد ضمن انتقال رطوبت و صعود هوای مرطوب، موجب بارش‌های شدید سواحل جنوبی دریای خزر شده است (شکل ۴L).

در الگوی گردش چهارم (CP4) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پشته‌ای با محور شمال شرقی- جنوب غربی روی اروپای شمالی و غربی دیده می‌شود که در جنوب و شرق خود یک ناوه عمیق با همین جهت را روی مدیترانه

گردش و چرخندی در همه ترازهای میانی و زیرین وردسپهر در نیمه جنوبی شبه جزیره عربستان و نیمه شمالی دریای عرب است که با توجه به بررسی‌های اخیر (خلج، ۱۳۸۱ و کریمی احمدآباد، ۱۳۸۶) نقش اصلی را در انتقال رطوبت از دریا‌های جنوبی، به‌ویژه دریای عرب به داخل سامانه‌های کم‌فشار زمستانه ورودی به ایران دارد.

نقشه ترکیبی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مربوط به مؤلفه دوم (CP2) نشان می‌دهد که پرارتفاع روی روسیه به صورت الگوی مانع در آمده و گردش و چرخندی در مرکز این پرارتفاع با توجه به مقادیر تاوایی بیش از ۳- واحد بر ثانیه دارای شدت قابل ملاحظه‌ای است (شکل ۳b). در مقابل، جریان در جنوب این پرارتفاع مانع به‌ویژه روی ایران مداری است. همچنین یک ناوه با جهت غربی- شرقی روی اروپا تشکیل شده که تا غرب دریای خزر و شمال غرب ایران کشیده شده است. استقرار این ناوه منطقه گسترده‌ای با تاوایی مثبت را روی دریای سیاه، شرق مدیترانه و نیمه غربی ایران ایجاد کرده است. در این الگو حداکثر تاوایی مثبت در منطقه خاورمیانه روی غرب- شمال غرب ایران مشاهده می‌شود که مقدار آن به حدود ۳r5 واحد بر ثانیه بالغ می‌شود (شکل ۳b). الگوی سطح زمین وابسته به این گونه نیز وجود یک پرفشار گسترده و قوی را در محدوده کوه‌های اورال نشان می‌دهد که تا نیمه شمالی دریای خزر کشیده شده است (شکل ۳k). اما استقرار یک مرکز کم‌فشار روی نیمه غربی ترکیه و در زیر ناوه تراز میانی که خطوط هم‌فشار آن تا غرب ایران امتدا یافته، گردش چرخندی و صعود هوا را در مناطق غرب- شمال غرب کشور امکان‌پذیر ساخته است (شکل ۳k). این الگو با توجه به گردش چرخندی و کاهش فشار در غرب تا شمال غرب ایران همان‌طوری که نقشه متوسط بارش مربوط به این الگو نشان خواهد داد، پتانسیل ایجاد بارش در غرب ایران را دارد و تداوم این الگو برای روزهای پایایی ممکن است موجب ایجاد بارش‌های پیوسته در

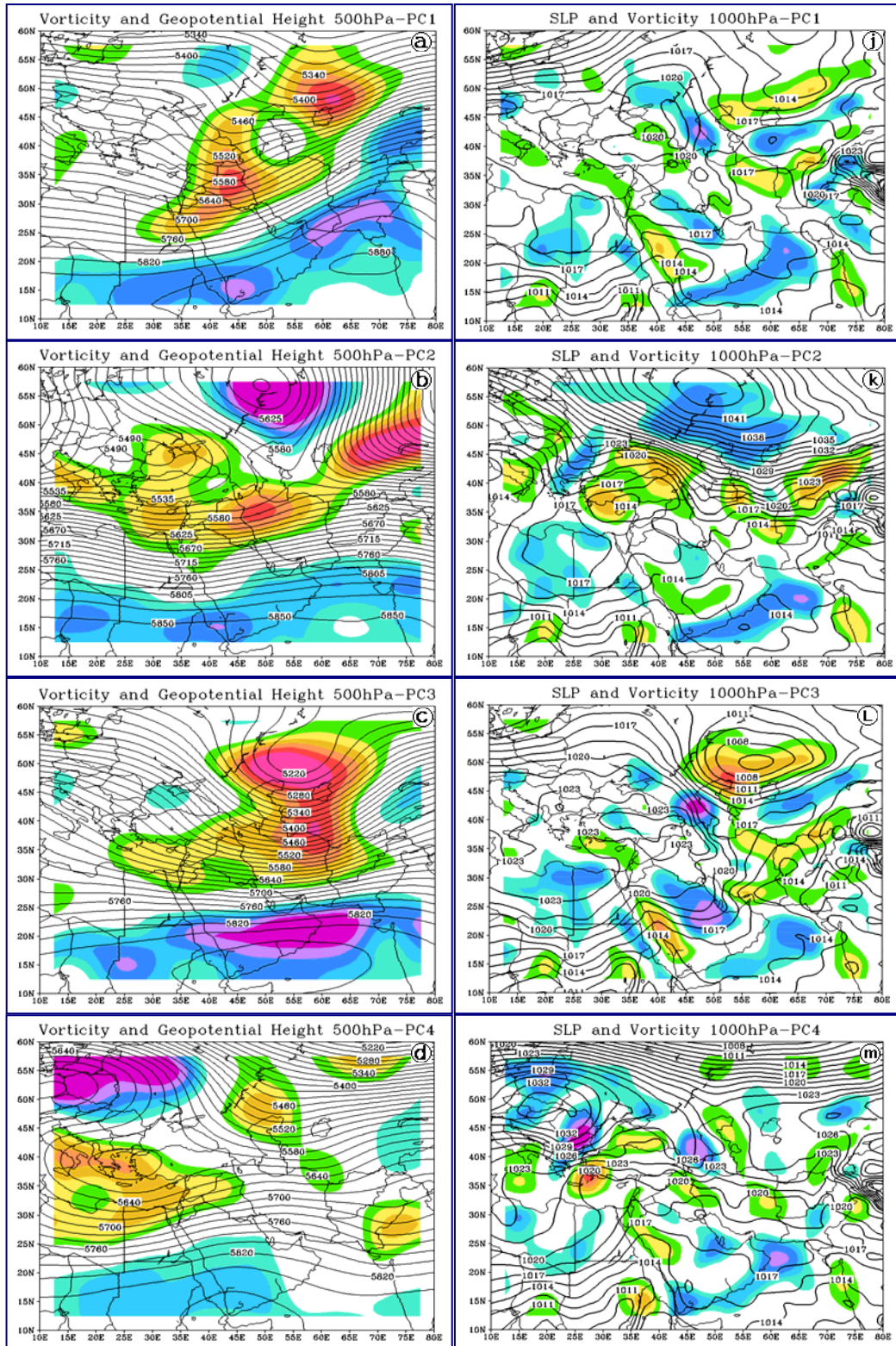
زمین در جنوب دریای سیاه و شمال شرق دریای مدیترانه و روی ترکیه و سوریه تشکیل شود و با توجه به فاصله تقریباً نزدیک آن به ایران در صورت تغذیه رطوبتی مناسب، موجب ایجاد بارش‌های قابل توجه در ایران شود. در الگوی سطح زمین دیده می‌شود که مرکزی کم‌فشار و گسترده با دو سلول مرکزی ۱۰۱۱ و ۱۰۱۲ میلی‌بار به ترتیب روی غرب دریای خزر و جنوب ترکیه تشکیل شده است که گفته‌های بالا را تأیید می‌کند. این کم‌فشار از دریای سیاه و مدیترانه در غرب تا شرق دریای خزر گسترده شده و بخش‌های شمال و شمال غربی ایران را تحت تأثیر خود قرار داده است (شکل ۳n).

در الگوی ششم (CP6) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال یک ناوه در امتداد نصف‌النهار ۳۵ درجه شرقی تا روی ترکیه دیده می‌شود. در شرق دریاچه آرال پشته‌ای قوی استقرار یافته که به سمت غرب تا مدار ۶۰ درجه شرقی نیز گسترش پیدا کرده است. استقرار این الگو با شکل‌گیری جریان‌های مداری روی ایران همراه است (شکل ۳f). در الگوی سطح زمین نیز مشاهده می‌شود که محل تشکیل کم‌فشار در شمال دریای سیاه است که عمق زیادی نیز ندارد. وجود پرفشار روی آسیای میانه و چین که مرکز آن در شرق دریاچه بالخاش قرار گرفته، در این الگو از اهمیت بیشتری برخوردار است و باعث ایجاد جریان‌های جنوب شرقی در شمال شرق ایران می‌شود (شکل ۳o).

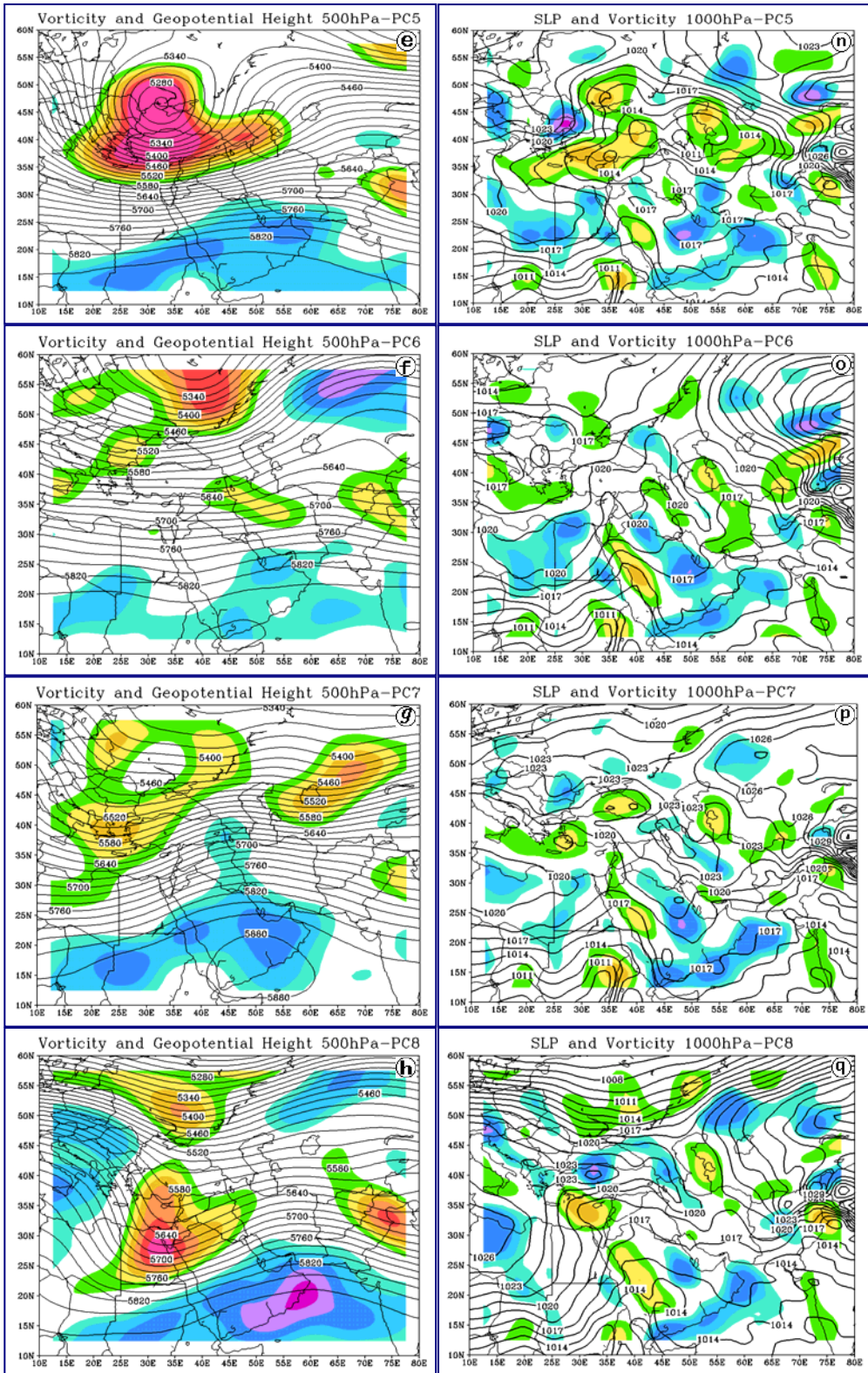
در الگوی ششم و در بررسی نقشه فشار سطح دریا نیمه شمالی شبه جزیره عربستان گردش و اچرخندی قابل ملاحظه‌ای دارد و مقادیر تاوایی منفی در این منطقه به بیش از ۱۵- واحد بر ثانیه بالغ می‌شود. به‌طور کلی در الگوی ششم روی ایران گردش چرخندی ضعیف بوده و شرایط جهت ناپایداری و صعود هوا فراهم نیست. این امر موجب شده تا الگوی فوق جزء الگوهای کم بارش و خشک دوره زمستانه ایران طبقه‌بندی شود. نقشه بارش این الگو چنین ویژگی را به‌خوبی نشان می‌دهد (شکل ۳f).

به همراه دارد. در این الگو جهت جریان روی ایران تقریباً مداری است (شکل ۳d). الگوی سطح زمین وابسته به آن وجود یک پرفشار با فشار مرکزی ۱۰۳۵ هکتوپاسکال را روی نیمه شرقی اروپا نشان می‌دهد که تا نیمه غربی دریای خزر نیز گسترش یافته و زبانه‌های آن روی دریای خزر نفوذ کرده است (شکل ۳m). در این الگو به واسطه استقرار گردش و اچرخندی روی نیمه شمالی ایران و نفوذ زبانه پرفشار روی دریای خزر، فقط امکان وقوع بارش در حاشیه جنوبی دریای خزر وجود دارد (شکل ۴d). شایان ذکر است که الگوی فوق، انطباق بسیار خوبی با مهم‌ترین الگوی همدیدی ایجادکننده بارش شدید در سواحل جنوبی دریای خزر دارد و نتایج بررسی‌های اخیر در رابطه با بارش‌های شدید این منطقه (خوشحال دستجردی، ۱۳۷۶؛ مرادی، ۱۳۸۵ و مفیدی و همکاران، ۱۳۸۶) را تأیید می‌کند.

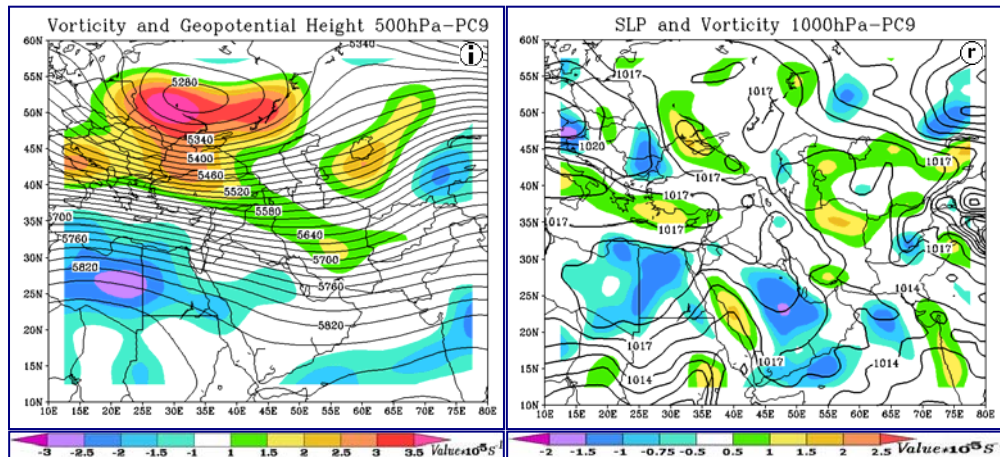
الگوی (CP5) یک کم‌ارتفاع بسته را روی دریای سیاه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که ناوه عمیق آن با محور شمالی - جنوبی تا شمال شرق آفریقا کشیده شده است. در این الگو گردش چرخندی حاصل از استقرار ناوه همه مناطق واقع در شمال غرب تا شرق دریای خزر را تحت تأثیر خود قرار داده است. در مقابل، نیمه جنوبی و شرقی ایران تحت تسلط گردش و اچرخندی حاصل از استقرار یک پشته قرار دارد (شکل ۳e). در نقشه سطح دریا، تاوایی مثبت در مرزهای شمال غربی کشور بیانگر شرایط مناسب برای صعود هوا و وقوع بارش در این منطقه از کشور است (شکل ۳n) که نقشه بارش مربوط به این الگو این ویژگی را تأیید می‌کند (شکل ۴e). در این الگو در ترازهای میانی جهت جریان روی شمال ایران، جنوب غربی است و گرادیان ارتفاعی بیانگر وجود جریان‌های غربی شدید روی خاورمیانه است. با در نظر گرفتن الگوی حاکم در ورسپهر میانی می‌توان چنین انتظار داشت که مرکز کم‌فشار وابسته به این الگو در سطح



شکل ۳. الگوهای گردش جو. (a تا i) وضعیت متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. (j تا r) وضعیت متوسط فشار سطح دریا و تاوایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال. تاوایی برحسب $10^{-6} s^{-1}$ و ارتفاع به ژئوپتانسیل متر (gpm).



ادامه شکل ۳. ۳e تا ۳h سمت راست و ۳n تا ۳q سمت چپ.



ادامه شکل ۳i و ۳j.

کشیده شده است. در این الگو تاوایی مثبت در شرق مصر و در حد فاصل طول ۳۰ تا ۳۵ درجه شرقی به حداکثر میزان خود یعنی ۳۵ واحد بر ثانیه بالغ می‌شود. استقرار ناوه، همه مناطق واقع در نیمه غربی خاورمیانه تا نیمه غربی ایران را تحت تسلط گردش چرخندی خود قرار داده است (شکل ۳h). از دیگر ویژگی‌های برجسته این الگو در ترازهای میانی جو، استقرار پشته‌ای قوی با تاوایی منفی بیش از ۳- واحد بر ثانیه در شرق شبه جزیره عربستان است. گردش و اچرخندی ناشی از استقرار پشته فوق، در ترازهای زیرین جو امکان انتقال رطوبت را از نیمه غربی دریای عرب به مناطق واقع در جنوب و جنوب غرب ایران فراهم کرده و به همین جهت این الگو موجب بیشترین مقادیر و شدیدترین بارش‌ها را در مناطق جنوب غرب و غرب کشور می‌شود. نقشه بارش، این ویژگی را تأیید می‌کند (شکل ۴h). در الگوی سطح زمین نیز ملاحظه می‌شود که زبانه کم‌فشاری با منشأ منطقه دریای سرخ ضمن گسترش شمال سو، سراسر مناطق واقع در نیمه غربی شبه جزیره عربستان و شرق مدیترانه را در بر گرفته است (شکل ۳q). همان‌گونه که پیش از این در تفسیر نقشه

الگوی هفتم (CP7) را می‌توان یک الگوی خشکی‌زای زمستانه نامید. در این الگو در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مرکز پراارتفاعی با کنتور ارتفاعی ۵۸۸۰ ژئوپتانسیل متر روی نیمه شرقی شبه جزیره عربستان و غرب دریای عرب استقرار یافته که پشته آن با محور شمالی- جنوبی سراسر نیمه غربی خاورمیانه را تا شمال قفقاز تحت تسلط گردش و اچرخندی و نزول هوا قرار داده است (شکل ۳g). استقرار چنین الگویی در تراز میانی جو ضمن جلوگیری از جابه‌جایی شرق سوی ناوه مستقر بر بخش‌های مرکزی مدیترانه با شکل‌گیری گردش و اچرخندی روی مناطق وسیعی از شبه جزیره عربستان و نیمه غربی ایران در ترازهای زیرین جو، همچنین با استقرار مرکز پرفشاری در نقشه سطح زمین روی غرب تا شمال غرب کشور همراه شده (شکل ۳p)، که نتیجه آن پایداری هوا و جلوگیری از ایجاد بارش روی ایران است (شکل ۴g).

در الگوی هشتم (CP8) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود که محور ناوه نسبت به الگوی CP7 به سمت شرق جابه‌جا شده و به غرب سوریه انتقال یافته و علاوه بر آن ناوه بسیار عمیق‌تر شده و تا میانه دریای سرخ

بارگویه هشتم نیز بیان شد، الگوی CP8 نشان‌دهنده تقویت و گسترش کم‌فشار سودانی و یا سامانه‌های ترکیبی سودانی-مدیترانه‌ای روی مناطق غرب و جنوب غرب ایران است و یافته‌های سیزی‌پرور (۱۳۷۰)، لشگری (۱۳۷۵)، خلج (۱۳۸۱) و مفیدی و زرین (۱۳۸۴الف و ۱۳۸۴ب) را در این خصوص تأیید می‌کند.

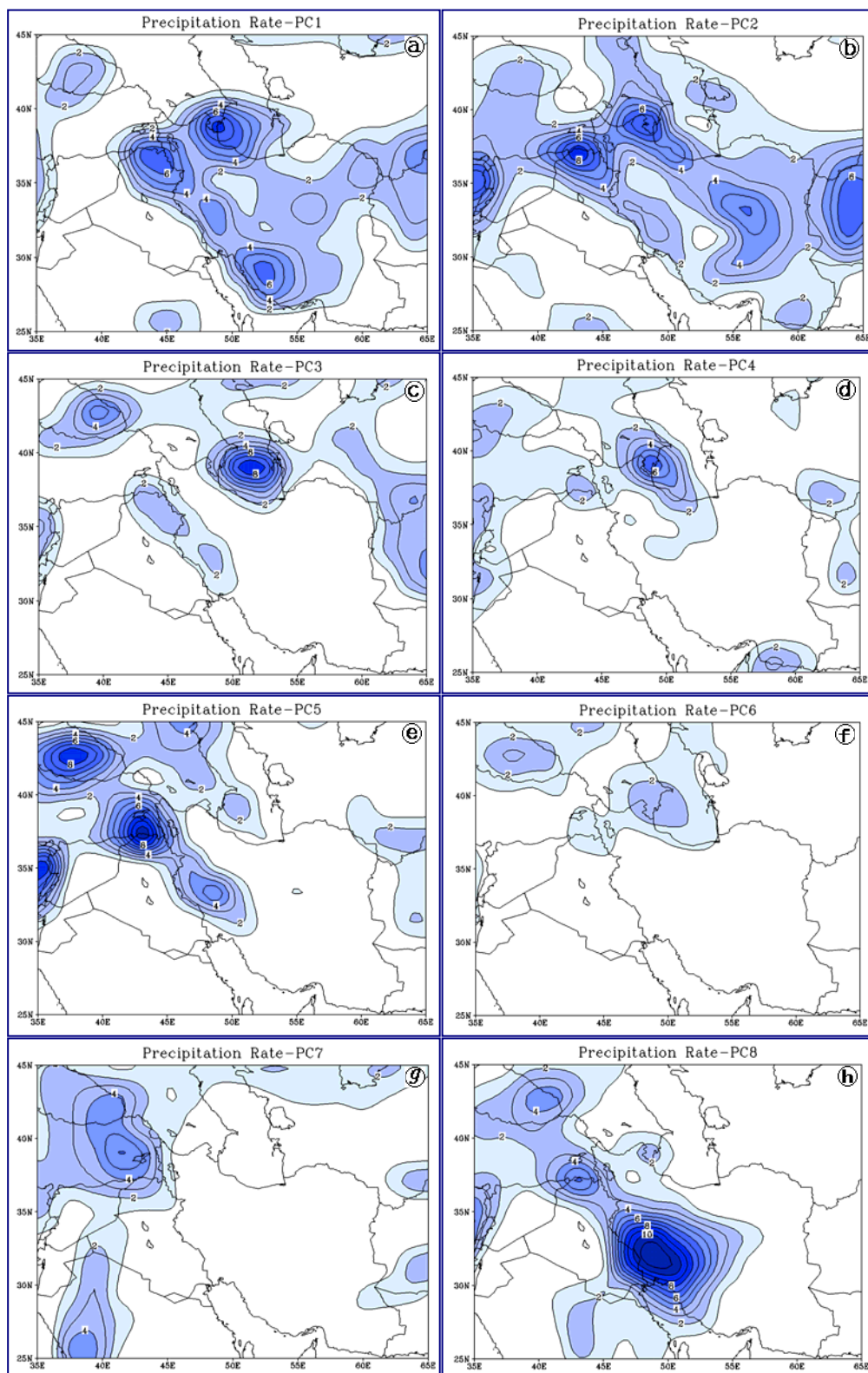
در الگوی نهم (CP9) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال کم ارتفاعی روی شمال دریای سیاه استقرار یافته که ناوه مرتبط با آن نیمه شمالی خاورمیانه را در بر می‌گیرد. در مقابل، همه مناطق واقع در شمال-شمال شرق افریقا تا نیمه غربی شبه جزیره عربستان به واسطه استقرار یک پشته، دارای گردش و اچرخندی قابل ملاحظه‌ای است. در این الگو مناطق واقع در شمال غرب تا مرکز ایران تاوایی مثبت دارند اما مقادیر آن چندان قابل ملاحظه نیست (شکل ۳i). در نقشه سطح زمین، مناطق واقع در شمال و شرق دریای سیاه و جنوب ترکیه گردش چرخندی دارند که همین امر امکان صعود هوا و ایجاد بارش را در مناطق پیش‌گفته فراهم ساخته است (شکل ۳t). تداوم این الگو همان‌طوری که نقشه مقادیر متوسط بارش الگوی نهم نشان می‌دهد شرایط را برای وقوع بارش در منتهی‌الیه شمال غرب ایران نیز فراهم می‌کند (شکل ۳f).

۳-۳ ارتباط الگوهای گردش جو و بارش

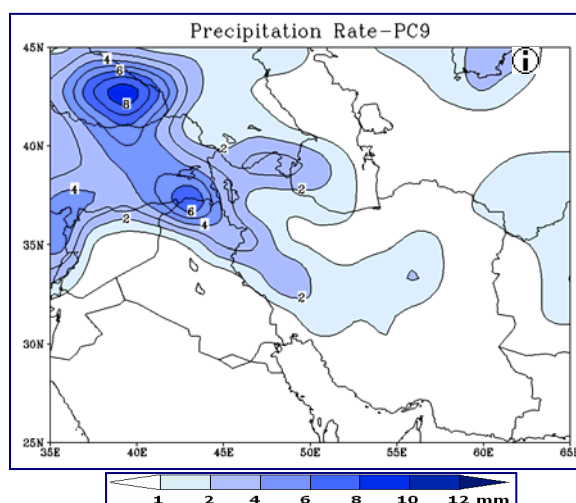
شکل‌های ۳a تا ۳i نقشه‌های ترکیبی متوسط نرخ بارش وابسته به هر یک از الگوهای گردش جو را نشان می‌دهد. نقشه بارش وابسته به CP1 روشن می‌سازد که بیشتر بخش‌های غربی و مرکزی ایران از بارش خوبی برخوردار شده‌اند. استقرار محور ناوه روی عراق (شکل ۳a) باعث ایجاد بارش‌های قابل توجه، به‌ویژه در شمال غرب ایران در ناحیه مرزی ایران، عراق و ترکیه و نیز جنوب ایران در منطقه ساحلی خلیج فارس شده است (شکل ۳a). در این الگو همان‌طوری که قبلاً توضیح

داده شد گردش و اچرخندی بر جانب غربی دریای خزر و شکل‌گیری جریان‌های شمالی روی این دریا، امکان وقوع بارش را در سواحل جنوب غربی دریای خزر فراهم کرده است (شکل ۳a). نقشه بارش وابسته به الگوی CP2 نشان می‌دهد که این الگو در بیشتر بخش‌های ایران موجب ایجاد بارش شده است که مقدار متوسط بارش این الگو در شمال غرب ایران، شمال عراق و ایران مرکزی بسیار قابل توجه است (شکل ۳b). دلیل بارش قابل توجه و گسترده این الگو استقرار ناوه‌ای است که با محور غربی-شرقی در غرب دریای خزر قرار گرفته است (شکل ۳b). نقشه نرخ متوسط بارش وابسته به CP3 نشان می‌دهد که این الگو باعث ایجاد بارش قابل توجه روی نیمه جنوبی دریای خزر می‌شود. این الگو همچنین در نیمه غربی ایران و شمال شرق عراق نیز بارش‌هایی ایجاد می‌کند که از نظر مقدار با ناحیه خزری قابل مقایسه نیست (شکل ۳c). جریان‌های شمال غربی این الگو باعث ایجاد هوای پایدار در دیگر بخش‌های ایران شده است. نقشه نرخ بارش وابسته به CP4 نشان می‌دهد که به‌جز جنوب غرب دریای خزر که به واسطه نفوذ زبانه پرفشار بارندگی خوبی دارد، بقیه بخش‌های کشور بارش نداشته است (شکل ۳d). در واقع ناوه‌ای که روی دریای مدیترانه قرار گرفته است (شکل ۳d) فقط موجب ایجاد بارش در حوضه مدیترانه شده و توان ایجاد بارش در ایران را نداشته است. نقشه نرخ بارش وابسته به CP5 نیز نشان می‌دهد که این الگو فقط در غرب و به‌ویژه در شمال غرب کشور که به محور ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نزدیک بوده ایجاد بارش کرده است (شکل ۳e).

با توجه به مداری بودن جریان تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی ایران در CP6 و قرار گرفتن جنوب و شرق ایران در زیر یک پشته، این الگو در ایران بارش ایجاد نکرده است (شکل ۳f).



شکل ۴. نقشه‌های ترکیبی متوسط نرخ بارش وابسته به الگوهای شناسایی شده.



ادامه شکل ۴.

۴ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

به منظور شناسایی الگوهای گردش جو زمستانه در وردسپهر میانی روی خاورمیانه با اعمال PCA با آرایه S روی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تعداد ۹ مؤلفه انتخاب و با روش وریمکس چرخانده شدند. برای هریک از مؤلفه‌ها، تعداد ۱۰ روز با بالاترین نمره استاندارد انتخاب و نقشه ترکیبی آنها برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سطح زمین تهیه و درحکم الگوهای گردش جو زمستانه خاورمیانه معرفی شدند. یافته‌های تحقیق ویژگی‌های بارز زیر را در خصوص این الگوها و ارتباط آنها با بارش‌های ایران نشان می‌دهد:

آرایش الگوهای گردش جو تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که محل، عمق و گرادیان ارتفاعی پشته‌ها و ناوه‌ها نقش اصلی را در مقدار و توزیع مکانی بارش زمستانه ایران برعهده دارد.

بر این اساس الگوی فضایی توزیع بارش زمستانه ایران در سایر مناطق کشور به غیر از سواحل جنوبی دریای

نقشه بارش وابسته به CP7 نشان می‌دهد که این الگو نیز در ایران بارشی ایجاد نمی‌کند زیرا همان‌طور قبلاً توضیح داده شد، استقرار پشته روی بخش اعظم خاورمیانه، از جمله نیمه غربی ایران (شکل ۳g)، مانع از وقوع بارش روی ایران می‌شود (شکل ۴g). نقشه بارش وابسته به CP8 نشان می‌دهد که مقدار بارش در جنوب غرب ایران بسیار قابل توجه است. با نگاهی به الگوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌توان دریافت که عمیق شدن ناوه تا میانه دریای سرخ و افزایش تاوایی مثبت بر جانب شمالی دریای سرخ تا نیمه غربی ایران عامل ایجاد بارش‌های چشمگیر در جنوب غرب ایران است (شکل ۴h). این جریان‌ها، رطوبت کافی برای ایجاد بارش را از دریاهاى جنوبی تأمین می‌کنند.

نقشه نرخ بارش وابسته به الگوی CP9 نیز نشان می‌دهد که این الگو می‌تواند به‌طور محدود در شمال غرب کشور باعث ایجاد بارش شود اما تأثیر زیادی در دیگر نقاط کشور ندارد.

خزر به طور آشکار از الگوهای گردشی حاکم در وردسپهر میانی تبعیت می کند. در این خصوص یافته‌ها نشان داد که دوره‌های خشک و کم بارش فراگیر ایران با تقویت و گسترش شمال سوی پرفشار عربستان در وردسپهر میانی روی نیمه غربی خاورمیانه در ارتباط است (الگوی CP4 و CP7). همچنین نتایج نشان‌دهنده آن است که عمیق شدن ناوه موج غربی و افزایش تاوایی مثبت در حدفاصل غرب ایران تا نیمه شمالی دریای سرخ به همراه شکل‌گیری و تقویت پرفشار در حدفاصل شرق عربستان تا بخش‌های میانی دریای عرب امکان وقوع بارش‌های فراگیر و شدید را در بخش‌های وسیعی از غرب و جنوب غرب ایران فراهم می‌آورد (الگوی CP1، CP5 و CP8).

منابع

ایزدنگهدار، ز.، ۱۳۷۰، بررسی سینوپتیکی بعضی از سیستم‌های مدیترانه‌ای مخصوص و اثرات آن بر روی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

جهانبخش، س.، و کرمی، ف.، ۱۳۷۸، تحلیل سینوپتیکی تأثیر پرفشار سبیری بر بارش سواحل جنوبی دریای خزر، تحقیقات جغرافیایی، ۵۴-۵۵، ۱۳۱-۱۰۷.

چوخاچی زاده مقدم، م.، ۱۳۷۶، بررسی الگوهای سینوپتیکی فرابار سبیری و اثر آن بر دمای شمال شرق ایران، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه تهران.

حجازی زاده، ز.، ۱۳۷۲، بررسی سینوپتیکی نوسان پرفشار جنب حاره در تغییر فصل ایران، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه تربیت مدرس.

حجتی زاده، ر.، ۱۳۸۱، بررسی سینوپتیکی سیلاب رودهای غربی زاگرس (با تأکید بر حوضه‌های کرخه، کارون و دز)، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه اصفهان.

خلج، ع.، ۱۳۸۱، تحلیلی بر تأثیر رشته‌کوه زاگرس روی سیستم‌های سینوپتیکی مؤثر بر اقلیم ایران مرکزی، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه تربیت مدرس.

در مقابل، بررسی ارتباط بین الگوهای گردش و بارش‌های مقیاس منطقه‌ای حاکی از آن است که وقوع بارش در منطقه خزری بیش از آنکه به الگوی گردش در وردسپهر میانی مرتبط باشد به موقعیت و شدت مراکز پرفشار در ترازهای زیرین جو وابسته است. در این خصوص در ۴ الگو از ۹ الگوی شناسایی شده، به واسطه استقرار مرکز پرفشار و افزایش تاوایی منفی در ترازهای زیرین جو بر جانب غربی دریای خزر و به دنبال آن شکل‌گیری و تداوم گردش و اچرخندی و جریان‌های شمالی روی این دریا، سواحل جنوبی دریای خزر از بارش قابل ملاحظه‌ای برخوردار شده است (الگوی CP1 تا CP4). در واقع نتایج بیانگر آن است که مراکز پرفشار مهاجر در فصل زمستان نیز همچون فصل پاییز، سازوکار اصلی وقوع بارش در سواحل جنوبی دریای خزر به شمار می‌روند و از این رو پژوهش حاضر نتایج بررسی‌های اخیر را در مورد بارش‌های خزری در دوره سرد سال (خوشحال دستجردی، ۱۳۷۶؛ مرادی، ۱۳۸۵ و مفیدی و همکاران، ۱۳۸۶) مورد تأیید قرار می‌دهد.

در بین الگوهای گردشی شناسایی شده، الگوی CP6 استقرار جریان مداری را روی ایران و بخش‌های وسیعی از

در بین الگوهای گردشی شناسایی شده، الگوی CP6 استقرار جریان مداری را روی ایران و بخش‌های وسیعی از

- خوش اخلاق، ف.، ۱۳۷۷، تحقیق در خشکسالی‌های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل سینوپتیکی، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه تبریز.
- خوشحال دستجردی، ج.، ۱۳۷۶، تحلیل و ارائه مدل‌های سینوپتیکی کلیماتولوژی برای بارش‌های بیش از صد میلی‌متر در سواحل جنوبی دریای خزر، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه تربیت مدرس.
- سیزی پرور، ع.، ۱۳۷۰، بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زا در جنوب غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- عزیزی، ق.، ۱۳۷۵، بلوکنگ و اثر آن بر بارش‌های ایران، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
- علیجانی، ب.، ۱۳۶۶، رابطه پراکندگی مکانی مسیرهای سیکلونی خاورمیانه با سیستم‌های هوایی سطح بالا، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۴، ۱۴۳-۱۲۵.
- علیجانی، ب.، ۱۳۶۹، چگونگی تشکیل فرابار سبیری و اثر آن بر اقلیم شرق ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال پنجم، ۱۷، ۵۱-۴۱.
- علیجانی، ب.، ۱۳۷۸، نوسانات مکانی و زمانی ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در مدیترانه و اثر آن بر اقلیم ایران در ماه فوریه، دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم- سازمان هواشناسی کشور، ۱۳ و ۱۴ آبان ۱۳۷۸.
- علیجانی، ب.، ۱۳۸۰ الف، تیپ‌های هوا و اثر آن‌ها بر اقلیم ایران، فصلنامه کاوش‌نامه، (۳)، ۲۱-۴۹.
- علیجانی، ب.، ۱۳۸۰ ب، شناسایی تیپ‌های هوایی باران‌آور تهران براساس محاسبه چرخندگی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۶۴-۶۳، ۱۳۲-۱۱۴.
- علیجانی، ب.، و زاهدی، م.، ۱۳۸۱، تحلیل آماری و سینوپتیکی بارندگی آذربایجان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۶۶-۶۵، ۲۰۳-۲۱۷.
- فرجی، ا.، ۱۳۶۰، بررسی مسیر سیستم‌های فشار کم باران‌زا بر روی ایران و ارایه الگوهای از موقعیت و چگونگی حرکت آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- کریمی احمدآباد، م.، ۱۳۸۶، تحلیل منابع رطوبت بارش‌های ایران، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه تربیت مدرس.
- لشگری، ح.، ۱۳۷۵، الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید در جنوب غرب ایران، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی (آب و هواشناسی)، دانشگاه تربیت مدرس.
- مفیدی، ع.، و زرین، ا.، ۱۳۸۴ الف، تحلیل سینوپتیکی ماهیت سامانه‌های کم‌فشار سودانی (مطالعه موردی؛ توفان دسامبر ۲۰۰۱)، فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین، ۶، ۴۸-۲۴.
- مفیدی، ع.، و زرین، ا.، ۱۳۸۴ ب، بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۷۷، ۱۳۶-۱۱۳.
- مفیدی، ع.، زرین، آ.، و جانبازقبادی، غ.، ۱۳۸۶، تعیین الگوی هم‌مدیدی بارش‌های شدید و حدی پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله فیزیک زمین و فضا، (۳)، ۳۳، ۱۵۴-۱۳۱.
- مرادی، م.، ۱۳۸۵، بررسی نقش کم‌فشار حرارتی سودان- اتیوپی و ناهم‌واری‌های زمین در شکل‌گیری سامانه‌های آب و هوایی بر روی ایران، پایان‌نامه دکتری هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات.
- نصیری، ب.، ۱۳۷۸، تحلیل الگوی سینوپتیکی و دینامیکی بارش‌ها در حوضه‌های کرخه و دز، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

- 1145-1159.
- Rogers, J. C., and Van Loon, H., 1982, Spatial variability of sea level pressure and 500 mb high anomalies over the southern hemisphere: *Mon. Weather. Rev.*, **110**, 1375-1392.
- 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.
- Santos, J. A., 2004, Climate variability in Europe and its connection to the tropospheric and stratospheric circulations: A case study for Portugal, PhD Thesis, Department of Physics, Technical university of Lisbon.
- 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.
- 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 Zwiers, F.W., 1999, *Statistical Analysis in Climate Research*: Cambridge University Press, UK.
- Wallace, J. M., and Gutzler, D. S., 1981, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter: *Mon. Weather. Rev.*, **109**, 784-812.
- 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; A primer*: Belhaven Press. London, UK.
- Aljani, B., 2002, Variation of 500hpa flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with climate of Iran: *Theor. Appl. Climatol.*, **71**, 41-4.
- 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.
- Cohen, S.J., 1983, Classification of 500 mb height anomalies using obliquely rotated principal components: *J. Clim. Appl. Meteorol.*, **22**(12), 1976-1988.
- Corte-Real J., Qian B., and Xu H., 1998, Regional climate change in Portugal: precipitation variability associated with large-scale atmospheric circulation: *Int. J. Climatol.*, **18**, 619-635.
- Duckstein, L., Bárdossy, A., and Bogárdi, I., 1993, Linkage between the occurrence of daily atmospheric circulation patterns and floods: an Arizona case study: *J. Hydrol.*, **143**, 413-428.
- Frakes, B. and Yarnal, B., 1997, A procedure for blending manual and correlation- based synoptic classification: *Int. J. Climatol.*, **17**, 1381-1396.
- Hewiston, B., and Crane, R.G., 1992, Regional climates in the GISS global circulation model: synoptic-scale circulation: *J. Climate*, **5**, 1002-1011.
- Hoskins, B., and Pearce, R., 1983, *Large-Scale Dynamical Processes in the Atmosphere*: Academic Press, London, 397p.
- Jenkinson, A. F., and Collison, F. P., 1977, An initial climatology of gales over the North sea, Synoptic Climatology Branch Memorandum: No.62, Meteorological Office, Bracknell.
- Kalnay, E., and 21Co-Authors, 1996, The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project: *B. Am. Meteorol. Soc.*, **77**, 437-471.
- Kidson, J.W., 2000, An analysis of New Zealand synoptic types and their use in defining weather regimes: *Int. J. Climatol.*, **20**, 299-316.
- Lamb, H. H., 1977, *Climate, present, past and future, Vol. 2, Climate history and the future*: Methuen, London.
- McKendry, I. G., 1994, Synoptic circulation and summertime ground-level ozone concentrations at Vancouver, British Columbia: *J. Appl. Meteorol.*, **33**, 627-641.
- Richman, M. B., 1981, obliquely rotated principal components: An improved meteorological map typing technique: *J. Appl. Meteorol.*, **20**,