

طبقه‌بندی همدید الگوهای گردشی موثر بر آب و هوای ایران در تراز دریا

قاسم عزیزی: دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تیمور علیزاده: دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران*

وصول: ۱۳۹۰/۱۲/۱۲ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۲۰، صص ۳۸-۲۳

چکیده

در این پژوهش با بکارگیری رویکرد گردشی به محیطی مهم ترین سامانه‌های تاثیر گذار تراز دریا، بر روی اقلیم ایران بررسی گردید. برای شناسایی الگوهای جوی داده‌های میانگین روزانه فشار تراز دریا از سری داده‌های باز کاوی شده مرکز پیش بینی‌های محیطی ایالات متحده از تاریخ ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۸ برداشت گردید. سپس با انجام تحلیل طیفی بر روی داده‌ها بسامدهای کمتر از ۱۰ روز از پایگاه داده ای فیلتر شدند و با بکارگیری تکنیک تحلیل مولفه مینا و تحلیل خوشه ای الگوهای جوی طبقه بندی شدند. برای شناسایی تاثیر هر یک از خوشه‌ها بر روی آب و هوای ایران داده‌های دما و بارش از تاریخ مورد نظر با روش زمین آماری، با شبکه (۱۸۷*۱۸۷) کیلومتر میانبایی شده، سپس میانگین عناصر مورد نظر برای کل ایران به صورت روزانه محاسبه گردید و در هریک از خوشه‌ها بطور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مهم ترین الگوهای تراز دریا تاثیر گذار بر روی ایران شامل الگوهای سرد بارشی، سرد کم بارش، معتدل کم بارش، بسیار سرد پربارش، و گرم بسیار کم بارش می باشند. همچنین زمانی که دو هسته پرفشار قوی در شرق و غرب ایران واقع گردند باعث رخداد بارش‌های سنگینی در ایران خواهند شد.

واژه‌های کلیدی: رویکرد گردشی به محیطی، الگوهای ترکیبی، طبقه بندی همدید، کم فشار دینامیکی

مقدمه

آستانه‌های آب و هوایی (دما و بارش) متکی بوده‌اند. بر خلاف طبقه بندی‌های آستانه ای به کار بردن طبقه بندی با استفاده از تحلیل‌های چند متغیره این شرایط را فراهم می‌آورد که بدون در نظر گرفتن آستانه‌های برون سو و بر اساس معیارهای خود تعریف، به ویژه معیارهای آستانه ای طبقه بندی انجام گیرد. (جی، جاکوبیت ۲۰۱۰) ادبیات مفصل کاربرد طبقه بندی‌های اقلیمی و روش شناسی آنها در آب و

طبقه بندی و به دست آوردن الگوهای گردشی همدید با پیشرفت علوم رایانه ای بطور فزاینده ای وارد علوم جوی شده است. استخراج و به کارگیری طبقه بندی در اقلیم شناسی در چند دهه اخیر افزایش پیدا کرده است. البته طبقه بندی پیش از انقلاب علمی در اقلیم شناسی مانند طبقه بندی معروف کوپن وجود داشته است که این گونه طبقه بندی‌ها بیشتر بر

شده است (عزیزی، روشنی، ۱۳۸۷). (محمدی و مسعودیان، ۱۳۸۳) پرفشار گسترده اروپا- دریای سیاه و کم فشار عراق را مهم ترین عامل ریزش بارش‌های سنگین ایران دانسته آنها هم چنین نقش کم فشار سودان را عامل مهمی در ایجاد بارش‌های سنگین ایران ندانستند. (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۰) مهم ترین الگوهای تراز دریا ایجاد سرماهای فرین در ایران را، ۵ الگوی اصلی پرفشار سیبری- اروپا، پرفشار سیبری- ایسلند، پرفشار سیبری، پرفشار خزر- سیبری و الگوی پرفشار شمال دریای خزر دانسته‌اند. در سایر نواحی دنیا نیز مطالعات مختلفی در باره الگوهای تراز دریا با روش‌های گوناگون طبقه‌بندی انجام گرفته است. (آلپرت^۱، ۲۰۰۴) با نگرش طبقه بندی نیمه برون سو، سیستم‌های هم‌دید روزانه را با کاربرد در تغییر اقلیم شرق مدیترانه مطالعه نمود. وی دریافت که فراوانی فرود عمدتاً خشک دریای سرخ تقریباً از دهه ۱۹۶۰ به بعد دو برابر شده که از ۵۰ به ۱۰۰ روز در هر سال رسیده است. (زوزان بلیک^۲ ۲۰۱۰) تیپ‌های هم‌دید همراه با وقوع پرفشار را در کارکوف لهستان را در دوره زمانی ۱۹۰۱ تا ۲۰۰۰ مطالعه نموده است. در واقع پژوهش وی ارتباط بین مهم ترین الگوی گردشی سامانه پرفشار قوی و آب و هواهای که با عناصر هواشناسی تعریف شده‌اند، است. (جان آلپرت لوپز^۳ ۲۰۰۸) روند بارش‌های زمستانی جزیره ایبری را، برای شناسایی ارتباط الگوهای گردشی با شاخص‌های پیوند

هواشناسی هم‌دید در پژوهشی توسط (یارنال و همکاران، ۲۰۰۱) انجام گرفته است. از مهم ترین اهداف این نوشتار به دست آوردن الگوهای اصلی گردشی جو در تراز دریا است که بیشترین نقش را بر آب و هوای ایران ایفا می کنند. در مطالعات گوناگونی که توسط اقلیم شناسان ایرانی انجام گرفته هر کدام اهمیت الگوهای تراز دریا را بر عناصر آب و هوای ایران بررسی نموده‌اند. این بررسی عمدتاً با نگرش محیطی به گردشی و با تاکید بر دما و بارش فرین انجام گرفته‌اند و طبقه بندی فراگیر الگوهای تراز دریا به صورت اندک مطالعه شده است. (لشکری، ۱۳۸۱) مکانیزم و توسعه کم فشار سودان را و نقش آن را بر بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران مطالعه نمود. (مفیدی، ۱۳۸۱) مرکز همگرایی دریای سرخ را به عنوان عامل اصلی ریزش بارش‌های سیل زا در ایران دانسته است. (عزیزی، ۱۳۸۳) به شناسایی و زمانبندی ورود پرفشار سیبری به سواحل جنوبی دریای خزر پرداخت و بیشترین فراوانی ورود این پرفشار را در دهه سوم مهر دانسته است. وی در مطالعه دیگر همزمانی عوامل موثر در جو بالا و نیز تشدید حداکثر اختلاف حرارتی بین هوای سرد قطبی و سطح آب دریا را در فصل پاییز در نواحی دریای خزر، عامل‌های ایجادکننده بارش شدید و سیل آسا دانسته است (عزیزی، صمدی ۱۳۸۶). همچنین وی با مطالعه تغییر اقلیم دریای خزر دریافت که در اکثر ایستگاهها دمای حداقل روند مثبت و دمای حداکثر روند منفی نشان داده و بدین ترتیب از دامنه نوسان دما در طول دوره کاسته

1- P Alpert
2-Zuzanna Bielec
3- J A Lopez

تراز دریا و بارش اروپا را با استفاده از تحلیل مولفه مبنا مطالعه کردند. آنها دریافتند که نوسات اقیانوس اطلس شمالی نقش مهمی در تغییر پذیری غیر فصلی بارش‌ها داشته ولی این تحلیل مهم ترین بسامد تغییر پذیری ریزش بارش‌ها در اروپا نبوده، در واقع مهم ترین عامل تغییر فشار تراز دریا تاثیر گذار بر روی بارش‌های اروپا تغییر پذیری الگوهای دریای شمال دانسته‌اند.

داده و روش شناسی

دو رویکرد عمده مطالعات آب و هواشناسی همدید، رویکردهای گردشی به محیطی و محیطی به گردشی می باشند، در این پژوهش به جهت طبقه بندی کلی الگوهای جوی تراز دریا از الگوی گردشی به محیطی استفاده گردید. (یارنال، ۱۹۹۳) به همین منظور ابتدا داده‌های میانگین فشار تراز دریا از تاریخ ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۸ یعنی ۹۱۳۱ روز از محدوده (-۱۰ تا ۱۰۰ درجه طول شرقی و ۱۰ تا ۸۰ درجه عرض شمالی) به تعداد ۱۳۰۵ شبکه از داده‌های باز کاوی شده NCEP/NCAR برداشت گردید و ماتریسی به ابعاد $۱۳۰۵ * ۹۱۳۱$ شکل داده شد. در این پژوهش جهت شناسایی الگوهای اصلی حاکم بر محدوده مورد نظر لازم بود که الگوهای بررسی شوند که جز سامانه‌های اصلی حاکم بر منطقه باشند، سامانه‌های مهاجری که مدت دوام آنها در مقیاس ساعت و یا یک هفته باشند، در الگوهای ترکیبی قابل شناسایی نبوده و این امر خود باعث بی نظمی در شناسایی الگوهای غالب در نقشه‌های ترکیبی می‌شد. بنابراین با تحلیل طیفی و اجرای سری فوریه^۸

از دور داده‌های فشار تراز دریا با استفاده از تکنیک تحلیل مولفه مبنا به کار گرفتند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین مقدار افزایش فشار شامل پرفشار روی مرکز اروپا است، که این پرفشار با فاز مثبت AO و NAO و با فاز منفی WMO همراه بوده است. (ایل هیون چو^۴ ۲۰۱۱) تغییر در فشار تراز دریا در کره جنوبی و ارتباط آن با رخداد بادهای شدید خورشیدی را مطالعه نمودند. آنها در پژوهش خود دریافتند که تغییرات روزانه فشار تراز دریا با تغییرات شدید خورشیدی همراه است. (گلینا و همکاران^۵، ۲۰۱۰) گردش‌های جوی بزرگ مقیاس اقیانوس اطلس شمالی را بررسی نمودند، طبقه بندی آنها بر اساس ترکیب تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه ای برای باز کاوی میدان فشار تراز دریا بود و بطور جداگانه برای هر فصل دو الگو به دست آوردند. از مزایای الگوهای جوی آنها تحلیل گردش‌های همراه با موج گرمایی و دوره‌های سرما در چندین شهر بلغارستان می باشد. (سینگ و همکاران^۶، ۲۰۰۱) تغییر پذیری فراوانی‌های حدی فصلی میانگین فشار تراز دریا را در شبه قاره هندوستان برای دوره ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۷ انجام دادند. آنها دریافتند که روند کاهش فراوانی‌های حدی فشار پایین بر توزیع بارش‌های هندوستان تاثیر گذاشته و روند افزایشی آنها به طور معکوسی با افزایش میزان بارش در سراسر هندوستان در ارتباط است. (جین^۷ و همکاران، ۲۰۰۰) تغییرپذیری غیر فصلی میانگین فشار

4- Il-Hyun Cho

5- Galina S. Guentchev

6- H.N. Singh

10- Budong Qian

8- Fast Fourier Transform(FFT)

جهت تعیین تعداد عامل‌ها مقادیر ویژه بزرگتر از یک انتخاب شدند (جانسون و ویچرن، ۱۹۸۰) میزان دقت و تبیین پراش عامل‌های هر یک از ماتریس‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. بعد از ایجاد عامل‌ها مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده، دوران و نوع دوران است. چون در طبقه بندی الگوهای نقشه ای باید خروجی مولفه مبنا را در تحلیل خوشه ای وارد کنیم استفاده از دوران متعامد راه حل ساده تری است. (یارنال، ۱۹۹۳) بنابراین داده‌ها با دوران متعامد و اریماکس چرخش داده شدند. بعد از محاسبه ماتریس ضرایب عامل‌ها و ضرب نمودن آن در ماتریس استاندارد شده داده‌ها، ماتریس نمرات عاملی که یک ماتریس $n \times p$ است (n تعداد روزها و p تعداد عامل‌ها) به دست آمد. در نهایت جهت انتخاب عامل‌های اصلی، تبیین پراش بیش از یک درصد مقدار بردارهای ویژه انتخاب شدند. بر این اساس بردارهای ویژه ای که کمتر یک درصد پراش کل را نشان می‌دادند، حذف گردیدند. نتایج به دست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است. یارنال شرح مبسوطی را در باره طبقه بندی الگوهای نقشه ای عنوان می‌کند، وی تحلیل خوشه ای را بر روی ماتریس نمرات جهت طبقه بندی الگوها لازم می‌داند. (یارنال، ۱۹۹۳) بنابراین، یک تحلیل خوشه ای با محاسبه فواصل اقلیدسی و روش ادغام وارد بر روی مولفه‌های اصلی ماتریس $n \times p$ به عمل آمد. در نهایت نقشه‌های میانگین هر یک از خوشه‌ها به عنوان الگوهای گردشی غالب تراز دریا در نظر گرفته شدند. در مرحله سوم نیاز بود میزان تاثیر الگوی هر خوشه بر

بر روی ماتریس مورد نظر داده‌ها به حیطة فرکانس تبدیل شد و داده‌های فشاری بررسی شده که حداقل ۱۰ روز در یک شبکه مستقر باشند، بنابراین با اجرای یک فیلتر بالا گذر^۹ با فرکانس ۰/۱ و دوره بازگشت ۱۰ روزه بر روی سری فوریه داده‌ها، تغییرات کم تر از ۱۰ روز از ماتریس اصلی حذف شده و با تحلیل سری فوریه معکوس^{۱۰} داده‌های نهایی برای ایجاد واکاوی تهیه شدند. در مرحله دوم جهت کاهش حجم داده‌ها از تحلیل مولفه‌های اصلی استفاده گردید. نوشته‌های زیاد و متعددی در باره روش و قواعد مولفه‌های مبنا وجود دارد که عمده آنها در پژوهش‌های چند متغیره نوشته شده‌اند. (اندرسون^{۱۱}، ۱۹۵۸، لاولی و ماکثول^{۱۲}، ۱۹۷۱، هاریس^{۱۳}، ۱۹۷۵، هارمان^{۱۴}، ۱۹۷۶، ماردینا^{۱۵} و همکار^{۱۶}، ۱۹۷۹، کندال^{۱۶}، ۱۹۸۰، ریچمن^{۱۷}، ۱۹۸۱، فامیر و هامرل^{۱۸}، ۱۹۸۴) با این وجود در اینجا مقدمه کوچکی از مهم‌ترین ابعاد مولفه‌های اصلی به کار گرفته در این پژوهش بیان شده است. برای طبقه بندی الگوهای نقشه ای در ماتریس با آرایش s از ماتریس همبستگی استفاده می‌شود. (یارنال، ۱۹۹۳) برای تحلیل ماتریس همبستگی حاصل از تحلیل مولفه مبنا (PCA) استفاده شد و مقادیر ویژه ماتریس همبستگی محاسبه گردید.

-
- 11- High Pass Filter
 - 10- Inverse Fast Fourier Transform(IFFT)
 - 11- T W Anderson
 - 12 - D N Lawley and A E Maxwell
 - 13 - R J Harris
 - 14- H H Harman
 - 15 - K V Mardia, J T Kent and J M Bibby
 - 16- M G Kendall
 - 17 -M B Richman
 - 18- L Fahrmeir and A Hamerle

تحلیل یافته‌ها

مشخصات ماتریس چرخه زدایی شده میانگین روزانه فشار تراز دریا که خروجی تحلیل مولفه مبنا است در جدول (۱) آورده شده است. ماتریس اولیه مورد استفاده ماتریسی ۱۳۰۵×۹۱۳۱ بود که ۵۷ مقدار ویژه بزرگتر از ۱ به عنوان عامل اصلی در آن شناخته شده‌اند. این مقادیر در نهایت $۰/۹۷$ پراش کل داده‌ها را تبیین می‌کنند. از بین این ۵۷ عامل، عامل‌هایی که بیش از $۰/۱$ پراش کل را نشان می‌دادند، شامل ۱۴ عامل بود که $۰/۸۷$ پراش کل را نشان می‌دهند و در نهایت ماتریسی ۱۴×۹۱۳۱ حاصل شد. تحلیل خوشه‌ای بر روی ماتریس مورد نظر نشان داد که داده‌ها دارای یک تجانس درون گروهی هستند. بنابراین مشکل‌ترین مرحله این پژوهش انتخاب تعداد خوشه‌ها بود، که در نهایت با یک بینش درون سو و برون سو (مبتنی بر تفسیر چشمی و انتخاب رایانه‌ای) ۵ خوشه برای شناسایی الگوهای جوی تراز دریا استخراج گردید. در ادامه به بررسی و شناسایی این الگوها و فراوانی وقوع آنها پرداخته شده است.

آب و هوای ایران شناسایی گردد. بنابر این داده‌های روزانه دما و بارش روزانه از ۲۱۲ ایستگاه همدید از دوره اول فروردین ۱۳۶۴ تا ۲۹ اسفند ۱۳۸۸ از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید، سپس با میانبایی داده‌ها با ابعاد $(۱۸/۷ \times ۱۸/۷)$ کیلومتر، ۴۷۱۳ یاخته در کل مساحت ایران محاسبه شد. در نهایت ماتریسی به ابعاد (۹۱۳۱×۴۷۱۳) روز برای بارش و دما به دست آمد. با استفاده از ماتریس مذکور درصد پهنه بارشی، میانگین بارش، حداکثر بارش‌ها و میانگین دمای ایران به صورت روزانه محاسبه گردید. برای انتخاب الگوهای جوی میانگین فشار تراز دریا در هر خوشه، بهترین معرف الگوی خوشه بود. با ترسیم این الگوها و فراوانی روزانه آنها در نهایت ویژگی آب و هوای ایران از جمله میانگین بارش، میانگین مساحت بارشی، میانگین حداکثر بارش و میانگین دمای کشور در هریک از خوشه‌ها جداگانه محاسبه گردید و مبنای تفسیر و آکاوی پژوهش واقع شد. اطلاعات مورد نظر در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

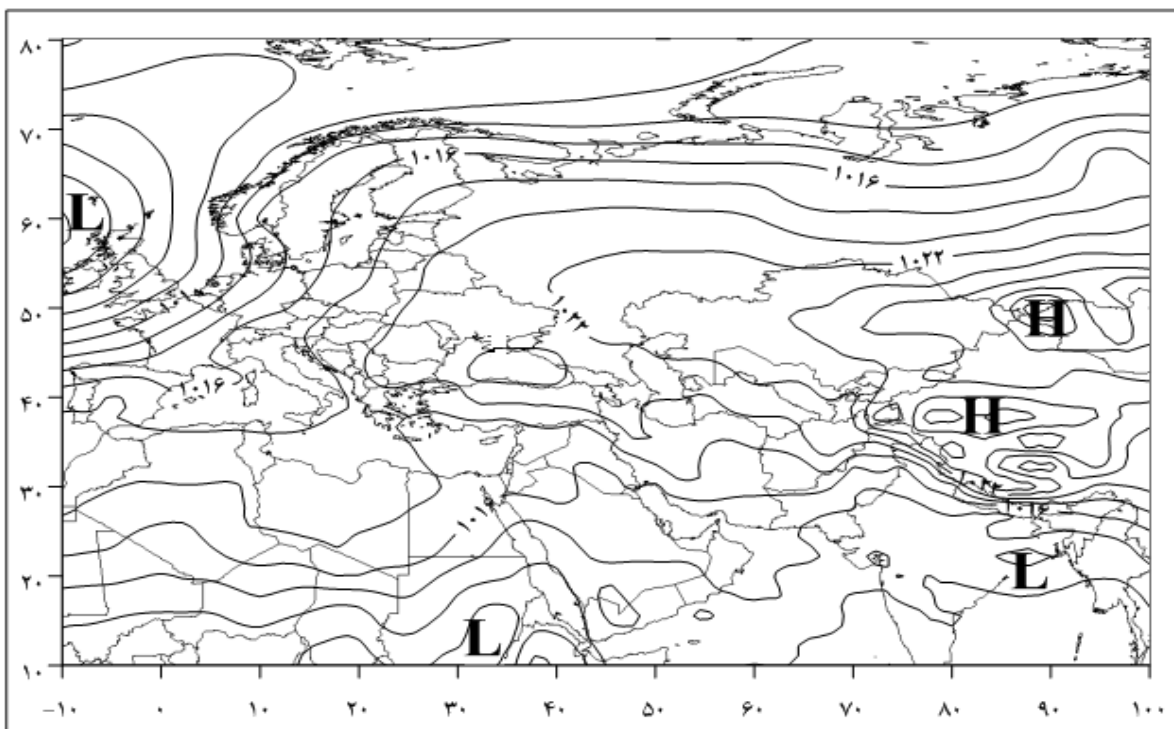
جدول ۱- مشخصات خروجی تحلیل مولفه مبنا

ماتریس اولیه	مقادیر ویژه < ۱	درصد تبیین پراش کل	تبیین مقادیر ویژه < ۱ درصد	درصد تبیین پراش کل	ماتریس نمرات عاملی
۹۱۳۱×۱۳۰۵	۵۷	$۰/۹۷$	۱۴	$۰/۸۷$	۹۱۳۱×۱۴

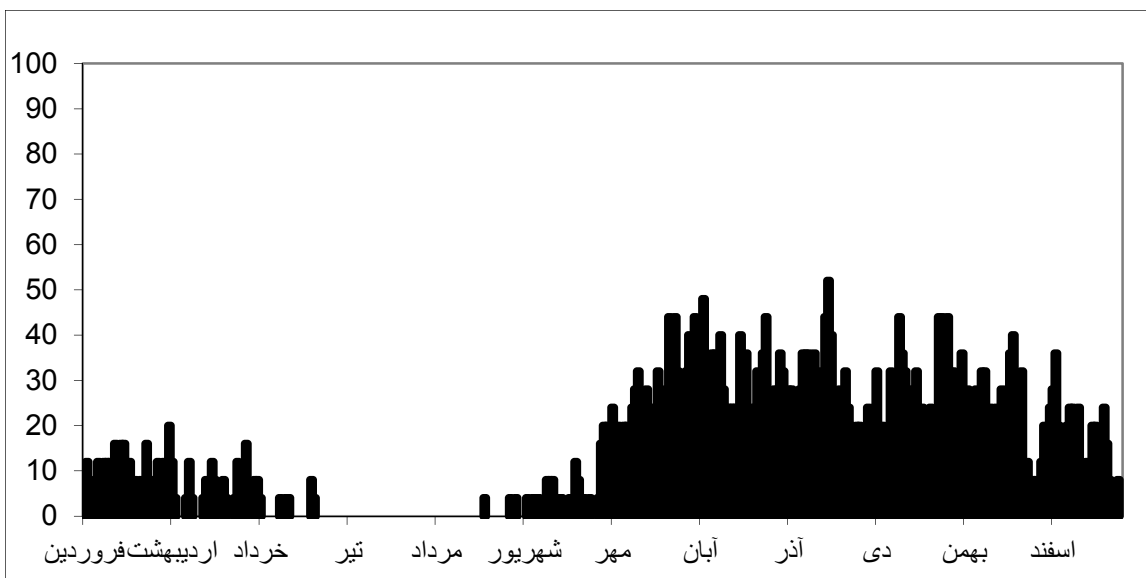
جدول ۲- ویژگی رخدادهای خوشه‌ها و وضعیت آب و هوای ایران در هر یک از خوشه‌ها

خوشه	رخداد	درصد رخداد	میانگین بارش (م م)	مساحت (درصد)	میانگین بارش حداکثر (م م)	میانگین دما (°C)
۱	۱۲۹۰	۱۴/۱	۱/۰	۲۴/۴	۳۴/۴	۱۱/۸
۲	۱۱۰۲	۱۲/۱	۰/۹	۲۲	۲۹/۱	۱۱/۱
۳	۲۱۲۲	۲۳/۲	۰/۹	۲۳/۹	۲۸/۷	۱۵/۵
۴	۱۴۲۷	۱۵/۶	۱/۱	۲۴/۶	۳۴/۵	۹/۹
۵	۳۱۹۰	۳۴/۹	۰/۲	۷/۳	۱۷/۵	۲۶/۱

الگوی ترکیبی خوشه اول و فراوانی رخداد آن



شکل ۱- الگوی میانگین فشار تراز دریا خوشه اول



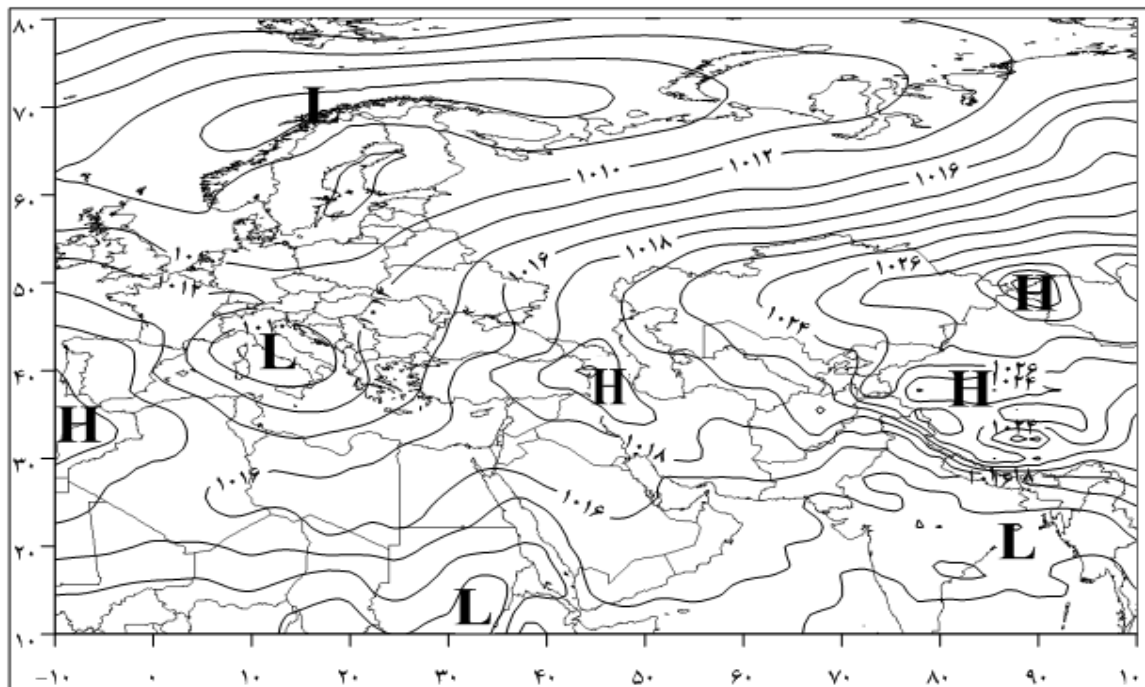
شکل ۲- درصد فراوانی روزانه رخداد الگوهای خوشه اول

خوشه را نشان می‌دهد. در این شکل پیداست که این الگو در اوایل پاییز شروع می‌شود و در ماههای آبان و آذر به اوج خود می‌رسد و تا اواخر خرداد ادامه دارد. بنابراین، این الگو را می‌توان الگوی سرد بارشی قلمداد نمود.

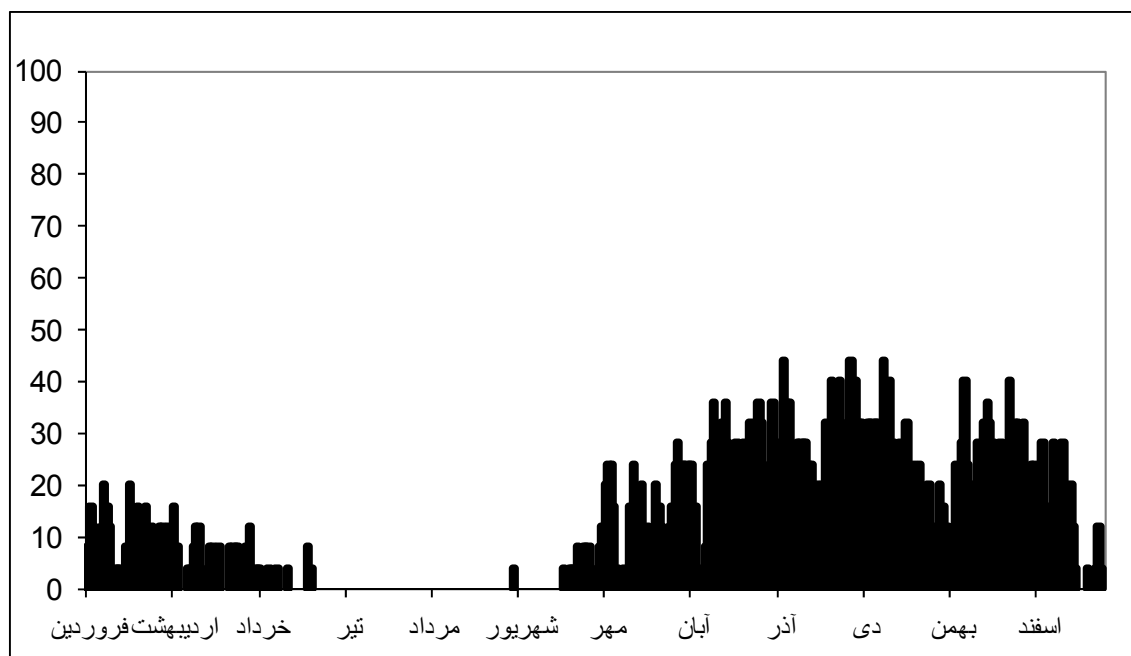
الگوی ترکیبی خوشه دوم و فراوانی رخداد آن

این خوشه با ۱۱۰۲ رخداد کمترین فراوانی را دارد و در مجموع ۱۲/۱ درصد از کل رخدادها را شامل می‌شود. میانگین بارش کشور ۰/۹ میلیمتر، میانگین مساحت بارشی ۲۲ درصد و میانگین دما در این خوشه ۱۱/۱ درجه سانتیگراد بوده است. شکل ۳ الگوی میانگین فشار تراز دریای این خوشه را نشان می‌دهد. در این الگو نیز زبانه‌های پرفشار سیبری و تبت همچنان ایران را تحت تاثیر قرار داده‌اند. زبانه ۱۰۱۸ هکتوپاسکالی تا نیمه جنوبی ایران کشیده شده و یک سلول بسته ای از آن در شمال غرب کشور قرار گرفته است. میانگین دمایی کشور در این الگو پایین است. در این خوشه کم فشار سودانی و همگرایی دریای سرخ تا شمال دریای سرخ امتداد دارند. فراوانی درصد رخداد روزانه این خوشه از اوایل پاییز شروع شده و در آذر و دی به اوج خود می‌رسد این الگو را می‌توان یک الگوی زمستانی سرد و کم بارش قلمداد نمود.

همان طور که در جدول ۲ دیده می‌شود خوشه اول دارای ۱۲۹۰ رخداد است که در مجموع ۱۴/۴ درصد از کل رخدادها را به خود اختصاص داده است. میانگین بارش کشور در این خوشه ۱ میلیمتر است و به طور متوسط ۲۴/۴ درصد کشور بارش دریافت می‌کند. شکل ۱ میانگین الگوی فشار تراز دریا این الگو را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل دیده می‌شود، دو سامانه پرفشار در شمال شرق ایران قرار دارند که شامل پرفشار سیبری و پرفشار تبت می‌باشند. خط هم فشار ۱۰۲۰ هکتوپاسکال پرفشار سیبری از روی نیمه شمالی ایران گذشته و تا اروپای شرقی و شمال دریای مدیترانه رسیده است. سامانه مهم دیگر این الگو کم فشار ایسلند است که زبانه آن تا روی دریای مدیترانه کشیده شده همچنین کم فشاری بر روی دریای سرخ و کم فشار کوچکی نیز بر روی عراق دیده می‌شود. بنابراین در این خوشه نیمه شمالی کشور تحت تاثیر پرفشار سیبری و نیمه جنوبی تحت تاثیر کم فشاری با مرکزیت سودان و دریای سرخ قرار دارد. کشیدگی زبانه پرفشار و ورود هوای سرد بر روی ایران و تقابل با ناحیه کم فشار می‌تواند سبب افزایش شیو دما و مهیا شدن میدان جبهه زایی شود. میانگین بارش‌های حداکثر در این خوشه ۳۴/۴ میلیمتر بوده و نشان دهنده بارش فراوان و سنگین در این خوشه است. شکل ۲ درصد فراوانی رخداد این

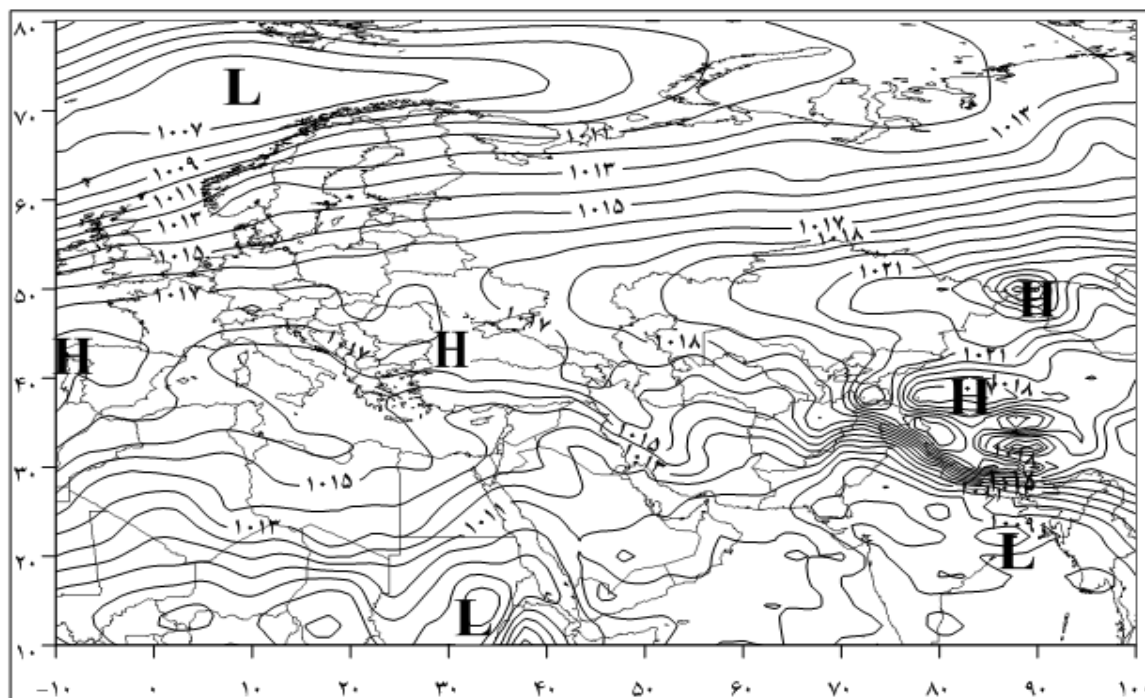


شکل ۳) الگوی ترکیبی میانگین فشار تراز دریا خوشه دوم

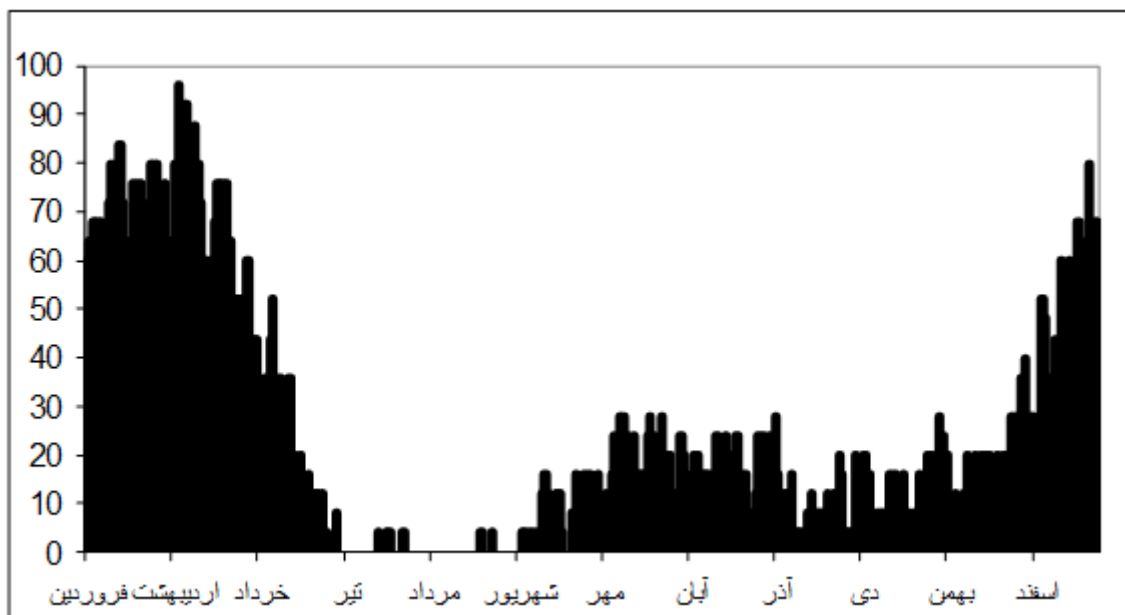


شکل ۴- درصد فراوانی روزانه رخداد الگوهای خوشه دوم

الگوی ترکیبی خوشه سوم و درصد فراوانی رخداد آن



شکل ۵- الگوی ترکیبی میانگین فشار تراز دریا خوشه سوم

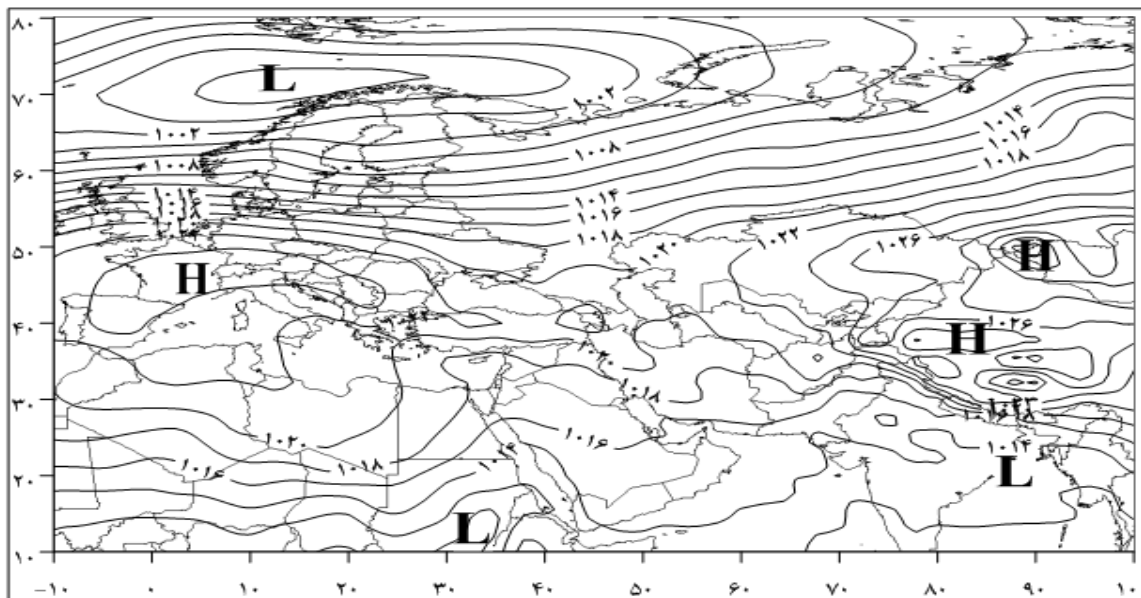


شکل ۶- درصد فراوانی روزانه رخداد الگوهای خوشه سوم

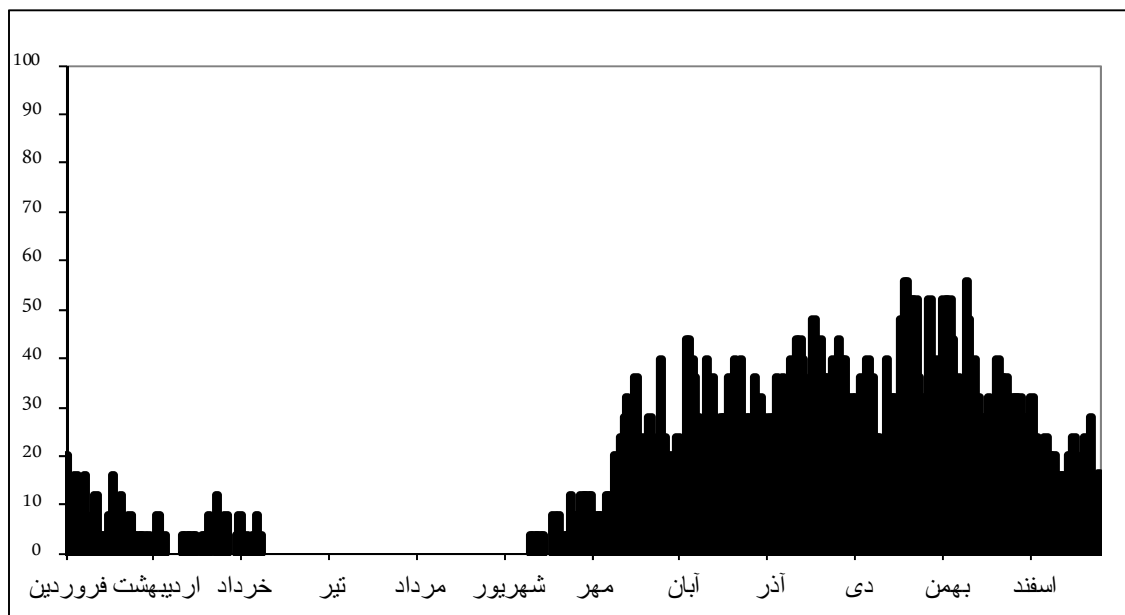
الگوی ترکیبی خوشه چهارم و فراوانی رخداد آن

خوشه چهارم الگوی میانگین فشار تراز دریا شامل ۱۴۲۷ رخداد است که ۱۵/۶ درصد از کل رخدادها را به خود اختصاص داده است و یکی از خوشه‌های کم بسامد است. میانگین بارش در این خوشه از سایر خوشه‌ها بیشتر و ۱/۱ میلیمتر است. همچنین در زمان حاکمیت الگوی این خوشه درصد بیشتری از کشور بارش دریافت کرده است. میانگین بارش‌های حداکثر در این خوشه ۳۴/۵ میلیمتر است که از سایر خوشه‌ها بیشتر است. در زمان حضور این الگو میانگین دمای کشور ۹/۱ درجه سانتیگراد بوده، که سردترین خوشه شناخته می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در زمان حاکمیت الگوهای این خوشه ایران بارش‌های فراگیر و سنگین همچنین سردترین دوره سال را سپری می‌کند. الگوهای ترکیبی شکل ۷ نشان می‌دهد که الگوها نسبت به سایر خوشه‌ها متمایز هستند. بطوریکه زبانه پرفشار سیبری عقب نشینی کرده و هسته ۱۰۳۴ هکتوپاسکالی آن بر روی نصف النهار ۹۰ درجه شرقی و مدار ۵۰ درجه عرض شمالی واقع گردیده و با هسته‌های پرفشار تبت در بر روی مدار ۳۵ درجه ادغام شده است.

خوشه سوم الگوی فشار تراز دریا شامل ۲۱۲۲ رخداد است که شامل ۲۳/۲ درصد از کل رخدادها است. میانگین بارش کشور در این خوشه ۰/۹ میلیمتر و میانگین مساحت بارشی ۲۳/۹ درصد است. میانگین بارش‌های حداکثر در این خوشه ۲۸/۷ میلیمتر است که تقریباً می‌توان گفت که بارش‌های سنگینی در این خوشه رخ داده است. الگوی میانگین تراز دریا این خوشه در شکل ۵ نمایش داده شده است. در این الگو سامانه غالب نسبتاً قوی پرفشار تبت در کنار پرفشار ضعیف تر سیبری نسبت به الگوهای قبلی است. در این الگو تقویت کم فشار پاکستان و کم فشار گنگ قابل توجه است و زبانه آنها شرق کشور و نیمه جنوبی ایران را تحت تاثیر قرار داده است. این کم فشارها با کم فشار تضعیف شده سودانی سامانه یکپارچه ای را شکل داده و یک ناحیه کم فشاری را از دره گنگ تا شمال افریقا به وجود آورده‌اند. در این ناحیه کم فشاری، کم فشار مدیترانه نیز با کم فشار سودان و ناحیه همگرایی دریای سرخ بهم آمیختگی دارند. میانگین دمای کشور در این خوشه ۱۵/۵ درجه سانتی گراد است و فراوانی رخداد آن در شکل ۶ نشان می‌دهد که این الگو از میانه بهمن اوج می‌گیرد و قویاً در بهار و میانه اردیبهشت و خرداد حضور دارد. در این الگو به علت حضور دو ناحیه کم فشار و پرفشار در شمال و جنوب ایرن و افزایش شیو دمایی بر روی ایران و شکل‌گیری منطقه جبهه زایی بارش‌های بیشتری نسبت به خوشه قبل رخ داده است. بنابر این این الگو را می‌توان یک الگوی معتدل کم بارش نامید.



شکل ۷- الگوی ترکیبی میانگین فشار تراز دریا خوشه چهارم



شکل ۸- درصد فراوانی روزانه رخداد الگوهای خوشه چهارم

شرقی با هسته مرکزی ۱۰۲۶ هکتوپاسکال تشکیل شده است. این پرفشار، پرفشار اقیانوس اطلس شمالی (آزور) است که زمانی نقویت می شود به سمت شرق حرکت می کند و حتی در الگوهای روزانه درون خوشه

بنابراین، در شرق ایرن یک ناحیه پرفشار قوی تشکیل شده که زبانه‌های آنها تا مرزهای شرقی ایران کشیده شده‌اند. در این تصویر یک ناحیه پرفشار دیگر بر روی مدار ۳۵ درجه عرض شمالی و ۵ درجه نصف النهار

مشاهده شده که تا شمال غرب ایران پیشروی می‌کند. همزمان با آن نیز کم فشار ایسلند قوی شده و با کم فشار قطبی ادغام شده است و کشیده شدن زبانه آن تا شمال دریای خزر، ریزش هوای سرد بر روی شمال ایران را فراهم کرده است. از نقشه‌های روزانه و میانگین دریافت می‌گردد که هرگاه پرفشار آזור تقویت شود (گاهی فشار در هسته آن به ۱۰۴۵ هکتوپاسکال می‌رسد)، زبانه آن تا شمال غرب ایران پیشروی نموده و همزمان با آن فشار در مرکز کم فشار ایسلند نیز تا ۹۵۰ هکتوپاسکال کاهش می‌یابد. در این زمان هوای سرد از شمال و غرب وارد کشور می‌شود. همچنین در شرق ایران پرفشار تبت که هسته آن تا ۱۰۶۰ هکتوپاسکال می‌رسد نیز هوای سرد را از شرق وارد می‌کند. بنابراین این با حضور دو پرفشار قوی در غرب-شمال غرب و شرق ایران، کم فشاری دینامیکی و سرد بر روی ایران به وجود می‌آورد. در این زمان شرایط برای ورود سامانه سودانی نیز فراهم می‌شود. با ورود این سامانه، چرخند مورد نظر تقویت شده و بارش‌های فراگیر و سنگینی در کشور رخ می‌دهد. همچنین دمای کل ایران در زمان ورود این سامانه‌ها به شدت افت می‌کند. فراوانی روزانه رخداد این الگو در شکل ۸ نشان دهنده کاملاً زمستانی بودن این خوشه است. این خوشه از اوایل پاییز ظاهر شده و در ماه‌های دی و بهمن به اوج خود می‌رسد و با درصد بسیار پایین تری تا خرداد ادامه می‌یابد. در کل می‌توان این الگو را یک الگوی زمستانی بسیار سرد و پر بارش نامید.

الگوی ترکیبی خوشه پنجم و فراوانی رخداد آن

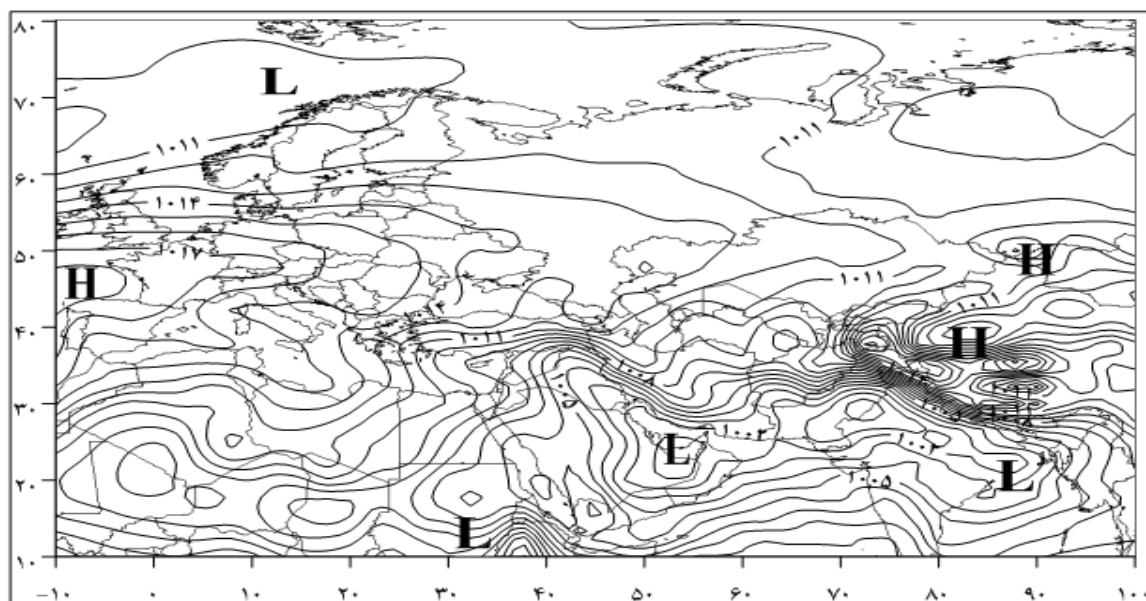
خوشه پنجم میانگین فشار تراز دریا از خوشه‌های پربسامد است. این خوشه ۳۱۹۰ رخداد را شامل شده و ۳۴/۹ درصد از کل رخدادها را تشکیل می‌دهد.

میانگین بارش ایران در این خوشه ۰/۲ میلی‌متر است و به طور میانگین ۷ درصد ایران در زمان حاکمیت این رخداد بارش دریافت می‌کند اما ویژگی قابل توجه خوشه دمای بالای آن است. بطوریکه میانگین دمای ایران در این خوشه ۲۶/۱ درجه سانتی‌گراد است. میانگین الگوهای جوی این خوشه (شکل ۹) نشان می‌دهند که کم فشار ایسلند و پرفشار آזור هر دو در این زمان ضعیف بود و به سمت عرض‌های بالاتر کشیده شده‌اند. الگوی بارز این خوشه کم فشار گنگ است که از دره گنگ تا شبه جزیره عربستان و شمال افریقا امتداد پیدا کرده است. هسته ای از این کم فشار بطور جداگانه بر روی خلیج فارس تشکیل شده و همراه با کم فشار گنگ الگوی گردشی غالب سراسر ایران را تشکیل داده‌اند، کم فشار گنگ یک کم فشار حرارتی است. بنابراین با تسلط بر روی ایران دمای سطح کشور را تا حد زیادی بالا می‌برد. با مشاهده نقشه‌های روزانه در صورت ورود زبانه پرفشار در شمال غرب و شمال ایران و همچنین عقب نشینی سامانه پرفشار آזור در تراز ورد سپهر میانی شرایط ناپایداری برای این سامانه مهیا شده و بارش‌های اندکی در جنوب شرق ایران به وجود می‌آورد. در صورت ورود زبانه پرفشار به کشور این سامانه گاهی بارش‌های رگباری گرم تابستانی را نیز در سایر نقاط ایران سبب می‌شود (خوشحال و علیزاده، ۱۳۸۹). فراوانی روزانه این الگو (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که الگویی تماماً تابستانی است و در دوره مورد مطالعه الگوی غالب فصل تابستان ایران بوده است. لذا می‌توان آن را الگوی گرم بسیار کم بارش نامید. شکل ۱۱ دارنمای ۵ خوشه حاصله از الگوهای فشار تراز دریا همراه با نامگذاری آنها را ایران نشان می‌دهد.

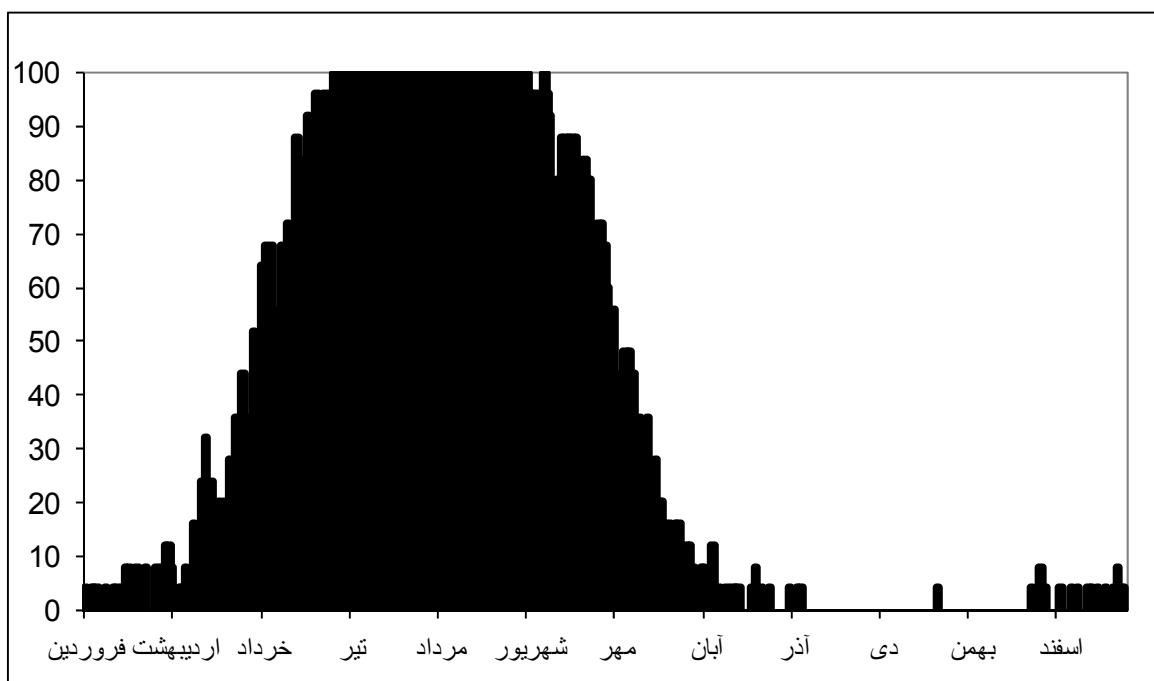
مشاهده شده که تا شمال غرب ایران پیشروی می‌کند. همزمان با آن نیز کم فشار ایسلند قوی شده و با کم فشار قطبی ادغام شده است و کشیده شدن زبانه آن تا شمال دریای خزر، ریزش هوای سرد بر روی شمال ایران را فراهم کرده است. از نقشه‌های روزانه و میانگین دریافت می‌گردد که هرگاه پرفشار آזור تقویت شود (گاهی فشار در هسته آن به ۱۰۴۵ هکتوپاسکال می‌رسد)، زبانه آن تا شمال غرب ایران پیشروی نموده و همزمان با آن فشار در مرکز کم فشار ایسلند نیز تا ۹۵۰ هکتوپاسکال کاهش می‌یابد. در این زمان هوای سرد از شمال و غرب وارد کشور می‌شود. همچنین در شرق ایران پرفشار تبت که هسته آن تا ۱۰۶۰ هکتوپاسکال می‌رسد نیز هوای سرد را از شرق وارد می‌کند. بنابراین این با حضور دو پرفشار قوی در غرب-شمال غرب و شرق ایران، کم فشاری دینامیکی و سرد بر روی ایران به وجود می‌آورد. در این زمان شرایط برای ورود سامانه سودانی نیز فراهم می‌شود. با ورود این سامانه، چرخند مورد نظر تقویت شده و بارش‌های فراگیر و سنگینی در کشور رخ می‌دهد. همچنین دمای کل ایران در زمان ورود این سامانه‌ها به شدت افت می‌کند. فراوانی روزانه رخداد این الگو در شکل ۸ نشان دهنده کاملاً زمستانی بودن این خوشه است. این خوشه از اوایل پاییز ظاهر شده و در ماه‌های دی و بهمن به اوج خود می‌رسد و با درصد بسیار پایین تری تا خرداد ادامه می‌یابد. در کل می‌توان این الگو را یک الگوی زمستانی بسیار سرد و پر بارش نامید.

الگوی ترکیبی خوشه پنجم و فراوانی رخداد آن

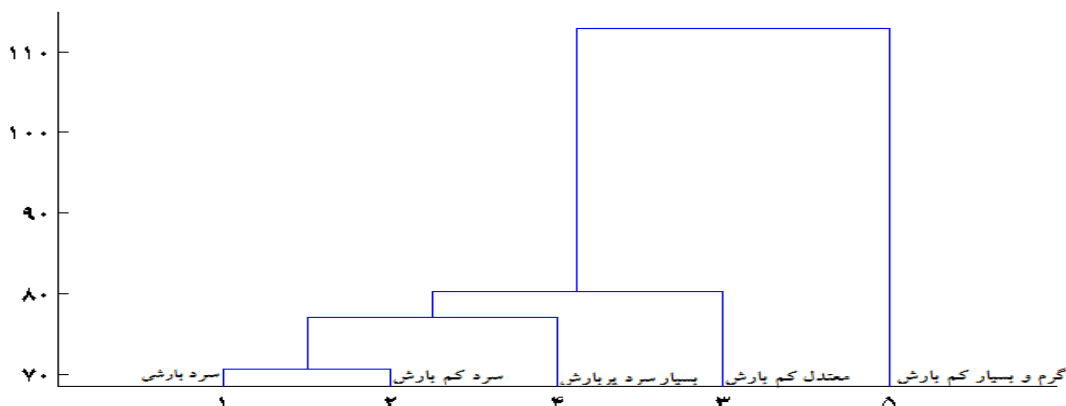
خوشه پنجم میانگین فشار تراز دریا از خوشه‌های پربسامد است. این خوشه ۳۱۹۰ رخداد را شامل شده و ۳۴/۹ درصد از کل رخدادها را تشکیل می‌دهد.



شکل ۹- الگوی ترکیبی میانگین فشار تراز دریا خوشه پنجم



شکل ۱۰- درصد فراوانی روزانه رخداد الگوهای خوشه پنجم



شکل ۱۱- دارنمای خوشه‌های میانگین فشار تراز دریا و نامگذاری هر یک از خوشه‌ها

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین الگوهای تراز دریای تاثیر گذار بر روی ایران شامل الگوهای سرد بارشی، سرد کم بارش، بسیار سرد پر بارش، معتدل بارشی و گرم بسیار کم بارش شدند. در کل می‌توان نتیجه گرفت هرگاه سامانه کم فشار ايسلند شدت داشته باشد و پرفشار آזור بر روی شمال غرب و غرب ایران واقع گردد و نیز در شرق ایران پرفشار تبت از شدت قابل توجهی برخوردار باشد، یک کم فشار دینامیکی قوی بر روی ایران تشکیل می‌گردد. این چرخند سرد سبب شکل‌گیری بارش‌های سنگین و فراگیری بر روی ایران می‌شود. در سایر شرایط از جمله زبانه پرفشار اروپایی، کم فشار مدیترانه‌ای، پرفشار سیبری و کم فشار سودان به تنهایی بارش‌های فراگیر و سنگینی را به وجود نمی‌آورند. بلکه شرایط بارش سنگین در ایران نیازمند قرارگیری دو هسته پرفشار قوی در شرق و غرب ایران می‌باشد. شرایط حرارتی از شرایط بارشی متجانس تر بوده بطوریکه سامانه گنگ از میانه خرداد ماه تا میانه مهر بر روی ایران تسلط دارد و باعث افزایش دمای ایران می‌شود.

در این پژوهش با به کار بردن رویکرد گردش‌ی به محیطی به طبقه‌بندی الگوهای گردش‌ی جو در تراز دریا پرداخته شد. ابتدا با استفاده از داده‌های شبکه‌ای، الگوهای جوی شناسایی و سپس شرایط دما و بارش در هر یک از الگوهای ذکر شده بررسی گردید. با استفاده از تحلیل‌های طیفی تغییرات کمتر از ۱۰ روز از داده‌ها حذف گردید و سپس با استفاده از تحلیل مولفه‌های مبنا حجم داده‌ها کاسته شد و در نهایت با بکارگیری تکنیک خوشه‌بندی الگوهای جوی طبقه‌بندی گردیدند. انتخاب تعداد الگوهای جوی از مهم‌ترین و مشکل‌ترین موارد در طبقه‌بندی الگوهای جوی است چرا که با بکارگیری روش‌های دستی و یا رایانه‌ای نمی‌توان الگوهای کاملی را دسته‌بندی نمود. در این پژوهش سعی گردید با نگرش درون سو و برون سو همچنین با در نظر گرفتن تمایز آب و هوایی هر یک از خوشه‌ها، خوشه‌بندی مناسبی انتخاب گردد. لذا با تجزیه و تحلیل‌های به کار گرفته شده تعداد ۵ خوشه برای الگوهای تراز دریا مناسب دیده شد.

منابع

- مفیدی عباس، (۱۳۸۳)، اقلیم شناسی سینوپتیکی بارش‌های سیل زا با منشا مرکز همگرایی دریای سرخ در خاورمیانه، فصل نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۵، صص ۷۱-۹۳
- یارنال، برنت (۱۳۸۵) اقلیم شناسی همدید با کاربرد در مطالعات محیطی، ترجمه سید ابوالفضل مسعودیان، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۱۳۸۵
- Alpert P. osetineski, a B. Ziv and H. Sharir, 2004, Semi-Objective Classification For Daily Synoptic Systems: Application To The Eastern Mediterranean Climate change. Int. J. Climatol. 24: 1001-1011 (2004)
- Anderson, T. W ,1958, An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, Wiley, New York
- Bielec-Bakowska Zuzanna, Katarzyna Piotrowicz, 2010, Weather types accompanying very high pressure in Krakow in the period 1901-2000. International Journal of Climatology.
- Cho Il-Hyun and etal, 2011, Changes in sea-level pressure over South Korea associated with high-speed solar wind events. Advances in Space Research xxx (2011) xxx-xxx
- Fahrmeir, L. and Hamerle, A ,1984, Multivariate statistics Verfahren, W. de Gruyter, Berlin, New York
- Galina S. Guentchev a, Julie A. Winkler, 2010, A two-tier atmospheric circulation classification scheme for the European-North Atlantic region. Physics and Chemistry of the Earth 35 (2010) 341-351
- Harman, H. H , 1976, Modern Factor Analysis, 3rd edn, University of Chicago Press, Chicago
- Harris, R. J , 1975, A Primer of Multivariate Statistics, Academic Press, London
- Jacobit. J, 2010, Classifications in climate research. Physics and Chemistry of the Earth 35 ,2010, 411-421
- خوشحال دستجردی، جواد، علیزاده، تیمور (۱۳۸۹) بررسی همدید و ترمودینامیک رگبار موجد سیلاب ۱۳۸۸/۶/۲۴ در استان خراسان رضوی، مدرس علوم انسانی آمایش و فضا، دوره چهاردهم شماره چهاردهم صص ۷۸-۱۱۱
- عزیزی، قاسم، روشنی، محمود، (۱۳۸۷) مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من - کندال، پژوهش‌های جغرافیایی - شماره ۶۴، تابستان ۱۳۸۷ ۲۸ - صص ۱۳
- عزیزی، قاسم، صمدی زهرا (۱۳۸۶) تحلیل الگوی سینوپتیکی سیل ۲۸ مهرماه ۱۳۸۲ استان‌های گیلان و مازندران، پژوهش‌های جغرافیایی - شماره ۶۰، تابستان ۱۳۸۶، ۷۴ - صص ۶۱
- عزیزی، قاسم، یوسفی، حسن، (۱۳۸۴) زمانیابی ورود پرفشار سیبری به سواحل جنوبی دریای خزر، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۹، شماره ۴، صص ۱۹۳-۲۱۳
- لشکری حسن، (۱۳۸۱)، مسیریابی سامانه کم فشار سودانی ورودی به ایران، مدرس دوره ۶، شماره ۲، صص ۱۳۳-۱۵۶
- محمدی بختیار، مسعودیان ابوالفضل، (۱۳۸۹)، تحلیل همدید بارش‌های سنگین در ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹، پاییز ۱۳۸۹
- مسعودیان، ابوالفضل، (۱۳۸۹) شناسایی و پهنه بندی نواحی سرد فرین در ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۲، صص ۴۳-۵۴

- Mean Sea Level Pressure and Precipitation Variability. over Europe. Phys. Chem Xarth (B), Vol. 25, No. 2, pp. 177-181, 200
- Richman, M. B. 1986, Rotation of principal components. International Journal of Climatology, 6: 293-335. doi: 10.1002/joc.3370060305
- Singh H.N., S.D. Patil, S.D. Bansod, Nityanand Singh, 2011, Seasonal variability in mean sea level pressure extremes over the Indian region. Atmospheric Research 101 (2011) 102-111
- Yarnal B and et al, 2001, Developments and Prospects in Synoptic Climatology, International Journal Of Climatology. Int. J. Climatol. 21: 1923-1950 (2001)
- Kendall, M. G, 1980, Multivariate Analysis, Griffin, London.
- Lawley, D. N. and Maxwell, A. E, 1971, Factor Analysis as a Statistical Method, 2nd edn, Butterworths, London.
- Lopez-Bustins Joan-Albert, Javier Martin-Vide, Arturo Sanchez-Lorenzo, 2008, Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns. Global and Planetary Change 63 (2008) 171-176
- Mardia, K. V., Kent, J. T. and Bibby, J. M ,1979, Multivariate Analysis, Academic Press, London
- Qian Budong, Jo&o Corte-Real, Hong Xu, 2000, Nonseasonal Variability of Monthly

Synoptic Classification of Effective Circulation Patterns on the Climate of Iran in Sea Level

Gh. Azizi, T. Alizadeh

Received: March 2, 2012/ Accepted: May 9, 2012, 5-8 P

Extended Abstract

1- Introduction

Classifications are an important tool in both general and applied climatology. The derivation and application of classifications have considerably increased in the climate research during the last decades, but already in earlier times of scientific evolution, we can find prominent and long-lived examples like the well-known global climate classification. This classification was based on threshold climatically regarding temperature and precipitation. Unlike the threshold classification for applying classification by multivariate analysis the condition of classification should be done without considering objective threshold and base on the

self-definitions. In This paper have been classified the sea level pressure and for achieving the most important circulation pattern on the sea level pressure on the climate of Iran. In Iran amply has studied about effective circulation pattern over Iran climatology.

2- Material and methods:

In this paper using circulation under environment approach, the most important of patterns which play key role over climate of Iran were classified. In the first step the mean daily sea level pressure from -10 to 100 degree eastern meridian and 10 to 80 degree northern latitude from reanalyze NCEP/NCAR database were collected. Then the spectrum analysis lower or 10 day changes from the principles data were removed and with applying principal component analysis the volume of database was reduced and a classified component was

Author(s)

Gh. Azizi(✉)
Associated Professor of Climatology, Tehran University, Tehran, Iran
T. Alizadeh
PhD Student of Climatology, Tehran University, Tehran, Iran
email: tm.vispard@yahoo.com

provided by cluster analysis. Two climate elements including temperature and precipitation data from Iran Meteorology Organization in 212 synoptic stations were extracted. Ultimately the mean, area, max as daily for both element precipitation and temperature were calculated.

3- Discussion:

Matrix-based filtering using principal component analysis was

reduced and obtained 57 factors that have eigen value greater than 1. This factor explains 97 percent of all data variation. In these 57 factors were selected 14 factors that are 1 percent of all data variation. With objective and subjective approach were found 5 clusters which can display the circulation pattern on sea level. The results of these 5 types have indicated in the table 1.

Table 1: the clustering data by climatic factors

Cluster	Event	Event Percent	Max-precipitation-mean (mm)	Area (percent)	Precipitation-mean (mm)	Temperature-°c (mean)
1	1290	14.1	34.4	24.4	1	11.8
2	1102	12.1	29.1	22	0.9	11.1
3	2122	23.2	28.7	23.9	0.9	15.5
4	1427	15.6	34.5	24.6	1.1	9.9
5	3190	34.9	17.5	7.3	0.2	26.1

The mean of temperature and precipitation were calculated in each of cluster. Then the composited pattern of the each type was drawn as the circulation of pattern on Iran climate. At final five weather types including cold and rainy, cold and low rainfall, very cold and rainy, modest and rainy, warm and without precipitation was developed.

4- Conclusion

With applying the circulation under environment approach, the pattern circulation in sea level pressure was classified. At the first was identified the grid point data and the atmospheric circulation pattern and then was correlated this pattern over climate of

Iran and obtained five weather types including cold and rainy, cold and low rainfall, very cold and rainy, modest and rainy, warm and without precipitation. The results showed that whenever two high pressure placed on west and east of Iran formed, the dynamical low pressure on Iran caused the heavy precipitation with very low temperature. Azores high pressure is one of them that placed on west of Iran and high pressure tongue development until west of Iran. The other one is Siberian High Pressure that placed on north earth of Iran. This high pressure merges with Tibet high pressure and formed the potent high pressure that develop the tongue high pressure and to enter cold air and reinforcement the

dynamical low pressure. The movement of this low pressure was intensified with Sudan low pressure, because of Sudan low passed over the warm sea and transfer the moisture of this seas and its cases that warm air from low pressure and cold air from high pressure formed the baroclinic air and front field. It is noteworthy that the extensive precipitation will have occurred in Iran when synchronism was occurred all condition that mentioned above.

Keyword: Circulation to environment approach, Composite pattern, Synoptic classification, Dynamical low pressure

References

- Alpert P. osetineski,a B. Ziv and H. Sharir, 2004, Semi-Objective Classification For Daily Synoptic Systems: Application To The Eastern Mediterranean Climate change. *Int. J. Climatol.* 24: 1001–1011 (2004)
- Anderson, T. W ,1958, *An Introduction to Multivariate Statistical Analysis*, Wiley, New York
- Bielec-Bakowska Zuzanna, Katarzyna Piotrowicz, 2010, Weather types accompanying very high pressure in Krakow in the period1901–2000.*International Journal of Climatology*.
- Cho Il-Hyun and etal, 2011, Changes in sea-level pressure over South Korea associated with high-speed solar wind events. *Advances in Space Research* xxx (2011) xxx–xxx
- Fahrmeir, L. and Hamerle, A ,1984, *Multivariate statistics Verfahren*, W. de Gruyter, Berlin, New York
- Galina S. Guentchev a, Julie A. Winkler, 2010, A two-tier atmospheric circulation classification scheme for the European–North Atlantic region. *Physics and Chemistry of the Earth* 35 (2010) 341–351
- Harman, H. H , 1976,*Modern Factor Analysis*, 3rd edn, University of Chicago Press, Chicago
- Harris, R. J , 1975,*A Primer of Multivariate Statistics*, Academic Press, London
- Jacobeit. J, 2010, Classifications in climate research. *Physics and Chemistry of the Earth* 35 ,2010, 411–421
- Kendall, M. G, 1980, *Multivariate Analysis*, Griffin, London.
- Lawley, D. N. and Maxwell, A. E, 1971, *Factor Analysis as a Statistical Method*, 2nd edn, Butterworths, London.
- Lopez-Bustins Joan-Albert, Javier Martin-Vide, Arturo Sanchez-Lorenzo, 2008, Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns. *Global and Planetary Change* 63 (2008) 171–176
- Mardia, K. V., Kent, J. T. and Bibby, J. M ,1979, *Multivariate Analysis*, Academic Press, London
- Qian Budong, Jo&o Corte-Real, Hong Xu, 2000, Nonseasonal Variability of Monthly Mean Sea Level Pressure and Precipitation Variability .over Europe. *Phys. Chem Xarth (B)*, Vol. 25,No. 2, pp. 177-181,200
- Richman, M. B. 1986, Rotation of principal components. *International Journal*

- of Climatology, 6: 293–335. doi: 10.1002/joc.3370060305
- Singh H.N., S.D. Patil, S.D. Bansod, Nityanand Singh, 2011, Seasonal variability in mean sea level pressure extremes over the Indian region. Atmospheric Research 101 (2011) 102–111
- Yarnal B and et al, 2001, Developments and Prospects in Synoptic Climatology, International Journal Of Climatology. Int. J. Climatol. 21: 1923–1950 (2001)