

طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی روزانه در خاورمیانه و ایران

زهرا قصابی^{۱*}، ابراهیم فتاحی^۲

۱- استادیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران.

۲- دانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران.

چکیده

الگوهای گردش جوی نقش اصلی در رخداد پدیده‌های محیطی به‌ویژه در مناطق معتدله دارند. این الگوها سبب ایجاد دوره‌های مرطوب یا خشک می‌شوند. طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی روزانه و شناسایی مراکز فعالیت آن‌ها در نواحی مختلف ایران در برنامه‌ریزی‌ها موثر است. در تحقیق حاضر از تحلیل مولفه‌های اصلی و خوشه‌بندی به منظور طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی روزانه استفاده شد. میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار سطح دریا طی دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۰ در تفکیک 0.5° از ECMWF استخراج شد. محدوده انتخابی شامل 10°N - 55°N ، خاورمیانه و ایران را می‌پوشاند. در تحلیل مولفه‌های اصلی نقاط وابسته به هم ادغام و ابعاد ماتریس کاهش داده شد، به طوری که ۹ مولفه اصلی باقی ماند. از آرایه S برای شناسایی تیپ‌های هوا و از خوشه‌بندی K-Means برای طبقه‌بندی تیپ‌های هوای روزانه استفاده گردید. همه روزها (۱۰۹۵۷ روز) به هیجده گروه تقسیم‌بندی شدند. نقشه‌های ترکیبی فشار سطح زمین و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و توزیع ماهانه تغییرپذیری الگوها به دست آمد. واگرایی شار رطوبت در هر الگو محاسبه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که فراوانی الگوهای ۱، ۷، ۱۳ و ۱۸ در دوره گرم سال و بقیه الگوها اغلب در دوره سرد سال است. این وضعیت با شرایط هم‌دیدگی هر یک از الگوها در سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مطابق است، طوری که در الگوهای گردش جوی دوره گرم سال کم‌فشار حرارتی سطح زمین در پائین‌تر از مدار 35° با پراارتفاع جنب حاره تراز میانی جو همراه است و بیشینه شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در بخش‌های شرقی ایران است. در الگوهای گردش جوی دوره سرد سال، جریان‌های جنوبی و جنوب‌غربی از کم‌فشار جنوب دریای سرخ، اغلب با ناوه تراز میانی جو همراه است، همگرایی شار رطوبت در جنوب دریای سرخ، بخش‌هایی از غرب، جنوب‌غرب، جنوب و شمال‌غرب ایران، شمال‌شرق دریای مدیترانه، جنوب‌غرب ترکیه و شرق دریای سیاه دیده شد.

کلید واژه‌ها: الگوهای گردش جوی، تحلیل مولفه‌های اصلی، شاررطوبت، خاورمیانه، ایران.

مقدمه

ایده اصلی از انواع الگوهای گردش جوی و طبقه‌بندی آن‌ها، تبدیل مجموعه‌ای از داده‌های کمیت‌های جوی به یک فهرست تک متغیره است که در آن روزهای با ویژگی‌های مشابه با هم گروه‌بندی شده‌اند. مزیت آن تفسیر آسان‌تر شرایط جوی است. طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی ابزاری برای کاوش در مجموعه داده‌ها است. انواع تیپ هوا با دو رویکرد بر اساس طبقه‌بندی توده هواها و یا الگوهای گردش جوی قابل شناسایی است. رویکرد مبتنی بر توده هواها، تیپ هوا را از مقادیر محلی کمیت‌های هواشناسی (مانند دما، رطوبت و سرعت باد) تعیین می‌کند. در رویکرد گردش، انواع گردش‌ها از فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل یا میدان باد در بازه‌های زمانی بر روی یک شبکه منظم تعیین و تحلیل می‌شود (Huth et al. 2008).

پژوهشگران متعددی به منظور طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی، روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) را به کار گرفته‌اند. این روش اولین بار توسط پیرسون (Pearson, 1901) مطرح شد و بتدریج استفاده از آن متداول گردید. در حال حاضر بهترین مرجع مدرن جولیف (Jolliffe, 2002) است. به بیان ساده، تحلیل مولفه‌های اصلی روشی برای استخراج متغیرهای مهم (به شکل مولفه) از مجموعه بزرگی از متغیرهای موجود در یک مجموعه داده است، طوری که مولفه‌ها غیرهمبسته هستند و برای هر یک از مولفه‌ها مقادیر عددی به نام نمرات مولفه در نظر گرفته می‌شود. استبان و همکاران (Esteban et al. 2006) در مطالعه الگوهای گردش جوی در اروپای غربی با روش مذکور، الگوهای گردش هم‌مدیدی روزانه در این منطقه را در ۲۰ گروه دسته‌بندی کرده و پیکربندی‌های فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در تمام سال نشان دادند. در پژوهش دیگری استبان و همکاران (Esteban et al. 2005) الگوهای گردش جوی در روزهای برفی در آندوررا، پیرینس را بر اساس شدت بارش حداقل ۳۰ سانتی‌متر برف در ۲۴ ساعت با تحلیل مولفه‌های اصلی و خوشه‌بندی K-means و ترسیم نقشه‌های ترکیبی فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال و ضخامت لایه ۵۰۰-۱۰۰۰ متر در هفت گروه دسته‌بندی کردند. کاسماچر و

اسچنیدر (Käsmacher and Schneider, 2011) الگوهای گردش جوی در مجمع الجزایر سوالبارد را بر مبنای داده‌های NCEP/NCAR با تفکیک مکانی ۲/۵ درجه برای کمیت‌های فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در ۹ گروه طبقه‌بندی کردند. این مطالعه به خوبی نشان‌دهنده حالات فصلی جو است و در فصول مختلف، دمای هوا و محتوای آب قابل بارش با انواع مختلف تیپ هوا در ارتباط است. جیانگ (Jiang, 2011) با دسته‌بندی تیپ‌های هوای هم‌مدیدی در شرق استرالیا نشان دادند که فراوانی تیپ هوای هم‌مدیدی در مقیاس‌های فصلی، بین سالانه و بین دهه‌ای نوسان دارد. از ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۵ کاهش وقوع چند تیپ هوا در ارتباط با ناوه ساحل شرقی که از شمال تا نیوساوت‌ولز امتداد می‌یابد و افزایش جزئی در فعالیت برخی از انواع واچرخندها وجود دارد. چادی و کلارک (Chadee and Clark, 2015) با تحلیل خوشه‌بندی دو مرحله‌ای در الگوریتم K-means برای مولفه‌های باد ۸۵۰ هکتوپاسکال از داده‌های بازتحلیل NCEP/DOE در دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰، هفت الگوی گردش جوی در کارائیب استخراج کردند. اسمیت و شریدان (Smith and Sheridan, 2018) ناهنجاری‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۱۰۰ و ۱۰ هکتوپاسکال و فشار تراز دریا را برای مطالعه الگوهای تاوایی پتانسیل وردسپهر و پوشن‌سپهر قبل از رخداد هوای سرد خوشه‌بندی کردند. ناهنجاری فشار تراز دریا ۱-۲ هفته قبل از رخداد هوای سرد در زمستان مشاهده و مشخص شد که تاوایی پتانسیل وردسپهر و پوشن‌سپهر در میانه زمستان تضعیف اما در اوایل و اواخر فصل هوای سرد، قوی است.

ارتباط الگوهای گردش جو با کمیت‌های مختلف هواشناختی نیز مورد توجه پژوهشگران است. لکسون و همکاران (Lakson et al. 2019) در بررسی اثر گردش‌های جوی بر افزایش دمای هوا در استونی با بررسی تغییرات فراوانی ۱۲ گروه تیپ‌های گردش جوی از مجموعه داده‌های COST733 به این نتیجه رسیدند که افزایش دما در طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۶۶ به احتمال زیاد با تغییرات دما در الگوهای گردش جوی وابسته است. ارتباط الگوهای گردش جوی با بارش‌های زیاد در لهستان توسط لویکازسا (Lupikasza, 2010) بررسی و نتایج نشان داد که تطابق مناسبی بین

معتدل، سرد و خشک، سرد و خشک بادی، یخبندان و گرم و خشک را برای ایستگاه موردنظر تعیین کرد و نشان داد که سامانه‌های پراتفاح عربستان و شمال آفریقا در حاکمیت شرایط گرم و خشک و ناوه مدیترانه و توده هوای سرد قطبی در ایجاد دوره‌های سرد نقش دارند.

الگوهای گردش جوی شناسایی شده برای ایران اغلب بر اساس داده‌های میانگین ماهانه جو تهیه شده‌اند (علیچانی، ۱۳۸۰، ۲۰۰۲). همچنین در مطالعات پیشین عمدتاً از داده‌های با تفکیک شبکه‌ای ۲/۵ درجه استفاده شده است (عزیزی و عزیزاده ۱۳۹۳، فتاحی و بابایی فینی ۱۳۹۳، مصطفائی و همکاران ۱۳۹۴ و حسینی و همکاران ۱۳۹۵). به دلیل اهمیت فصل زمستان به عنوان فصل اصلی بارش در ایران پژوهش‌های یاد شده اغلب این فصل را مورد توجه و مطالعه قرار داده و شناسایی الگوهای گردش جو دیگر فصل‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر، اغلب مطالعات به صورت منطقه‌ای در بخشی از کشور انجام شده است (غیور و همکاران ۱۳۹۱، حسینی و همکاران ۱۳۹۵، حنفی ۱۳۹۹، دارند و همکاران ۲۰۱۸). از این رو، در این پژوهش طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی در همه فصول با دقت بالا و با استفاده از داده‌هایی با تفکیک شبکه‌ای ۰/۵ درجه در مقیاس زمانی روزانه در منطقه ایران و خاورمیانه در دوره آماری ۲۰۱۹-۱۹۹۰ انجام شد که در بخش روش کار آمده است. در بخش نتایج با تهیه نقشه‌های ترکیبی فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به تحلیل الگوها پرداخته شد و فراوانی رخداد ماهانه و فصلی هر یک از الگوها بررسی شد. با توجه به تمرکز بیشتر مطالعات به داده‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سطح دریا (رضیئی ۱۳۸۶، فتاحی و بابایی فینی ۱۳۹۳، مصطفائی و همکاران ۱۳۹۴، دارند و همکاران ۲۰۱۸)، در تحقیق حاضر علاوه بر دو کمیت مذکور، شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال که از کمیت‌های اصلی و مهم در وقوع بارندگی است، در هر یک از الگوها محاسبه و تحلیل شد.

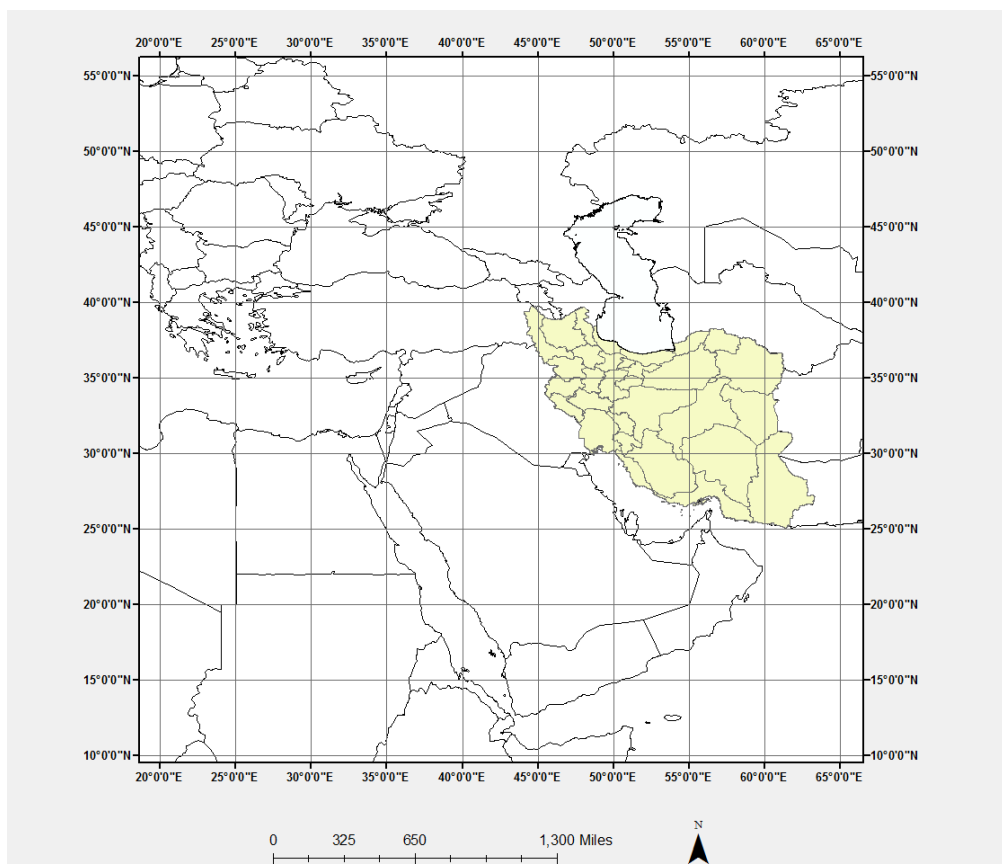
بارش‌های زیاد و الگوهای گردشی در جنوب، شمال‌شرق و شمال‌لهستان وجود دارد. در پژوهش دیگری همبستگی معنی‌داری بین شاخص نوسان جنوبی (SOI) و فراوانی تیپ هوای همدیدی در بازه‌های زمانی سالانه و فصلی در شرق استرالیا مشاهده شد که مهم‌ترین تغییر در فاز منفی SOI در بهار رخ داده و با وزش بادهای جنوب‌غربی و غربی و کاهش شدید واپرخندها مشخص است؛ بعلاوه، مهم‌ترین تغییر در فاز مثبت SOI در تابستان با وقوع واپرخندهای بیشتر رخ می‌دهد (جیانگ ۲۰۱۱).

در ایران، رضیئی (۱۳۸۶) با انجام PCA و خوشه‌بندی چند هسته‌ای، ۱۸ الگوی گردش جوی را برای منطقه خاورمیانه و ایران شناسایی کرد و نشان داد که الگوهای با جریان مداری فراوان‌ترین الگوها در سال و در دوره مطالعه هستند. با بررسی ارتباط این الگوها با دوره‌های خشک و تر مشخص شد که الگوهای با جریان مداری و شمال‌غربی در همه مناطق اغلب موجب خشکسالی می‌شوند، در حالیکه الگوهای با جریان جنوب‌غربی در همه مناطق موجب ترسالی می‌شوند. همچنین هر چه محور ناوه به شرق مدیترانه نزدیک‌تر و از عمق بیشتری برخوردار باشد، تاثیر بیشتری بر روی بارندگی منطقه دارد. در پژوهشی دیگر، فتاحی و رضیئی (۱۳۸۸) با دسته‌بندی الگوهای گردش جو در ایران را طی دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۵۰ در شبکه‌ای با تفکیک ۲/۵ درجه در هیجده گروه، توزیع ماهانه و تغییرات بلند مدت هر الگو را بررسی کردند. فتاحی و بابایی فینی (۱۳۹۳) با استفاده از PCA الگوهای همدیدی بارش‌زا و خشکی‌زا را طی دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۵۰ استخراج نمودند. مصطفائی و همکاران (۱۳۹۴) الگوهای گردش جوی بارندگی‌های شدید بر روی ایران را با داده‌هایی در تفکیک ۲/۵ درجه طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۰۹ به پنج گروه دسته‌بندی و رابطه بین الگوها و بارش را بر اساس شاخص Pi بررسی نمودند. حسینی و اکبری قمصری (۱۳۹۵) الگوهای همدیدی پدیدآورنده بارش‌های فرین حوضه آبخیز طالقان در استان البرز را با استفاده از PCA، خوشه‌بندی الگوهای همدیدی و نیز فراسنج صدک‌ها در چهار گروه با داده‌های ۲/۵ درجه تعیین کردند. حنفی (۱۳۹۹) تیپ‌های هوای منطقه شمال‌غرب کشور در ایستگاه مراغه را شناسایی و شش تیپ بارشی،

مواد و روش

منطقه مطالعه

محدوده مطالعه (شکل ۱) طول جغرافیایی ۲۰-۶۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۱۰-۵۵ درجه شمالی انتخاب شد



شکل ۱- محدوده مطالعه

زیادی از متغیرهای اقلیمی، زمینی و اقیانوسی را در یک شبکه ۳۰ کیلومتری در تمام کره زمین در ۱۳۷ تراز از سطح زمین تا ارتفاع ۸۰ کیلومتری را می‌پوشاند. در این پژوهش داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از مرکز مذکور در فاصله زمانی یک ساعت، بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۹۰)، طول جغرافیایی ۲۰-۶۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۱۰-۵۵ درجه شمالی دریافت شد. به دلیل حجم بسیار زیاد داده‌ها و محدودیت‌ها و مشکلات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری از میان حجم بالای داده‌ها، داده‌های با تفکیک شبکه‌ای ۰/۵ درجه استخراج شد. سپس میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در هر یک از نقاط شبکه محاسبه شد که ماتریس داده‌ها شامل

داده‌ها

طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی در ایران و خاورمیانه با تحلیل مولفه‌های اصلی اغلب با استفاده از تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به عنوان تراز مرجع که معرف تراز میانی جو بوده و تحت تأثیر توپوگرافی سطح زمین نیست، انجام می‌شود (Vicente-Serrano et al. 2011، امیری و همکاران ۱۳۹۷)؛ بنابراین داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از مرکز ECMWF شامل داده‌های ERA5 با تفکیک شبکه‌ای ۰/۲۵ درجه دریافت شد. ERA5 مقادیر گسترده‌ای از مشاهدات تاریخی را به تخمین‌های جهانی با استفاده از مدل‌های پیشرفته و سیستم‌های داده‌گذاری شامل می‌شود. همچنین، تخمین‌های ساعتی از تعداد

روزها (۱۰۹۵۷ روز) طی دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۹-۱۹۹۰) در ۱۸ گروه (فتاحی و بابایی‌فینی، ۱۳۹۳) دسته‌بندی شدند.

تهیه نقشه‌های ترکیبی

در نهایت نقشه‌های فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای هر یک از الگوها تهیه و تفسیر شد. فراوانی رخداد ماهانه و فصلی هر یک از الگوها و ارتباط توزیع مکانی شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال که از کمیت‌های اصلی و مهم در وقوع بارندگی است، بررسی شد. برای مطالعه شار رطوبت، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال انتخاب شد، زیرا اغلب ابرهای بارشی در ارتفاع کمتر از ۲۷۰۰ متر در منطقه مطالعاتی روی کشور ایران تشکیل می‌شوند که پائین‌تر از تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (ارتفاع تقریبی ۳۰۰۰ متر) است و نیز تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال در پائین‌تر از تراز سطح زمین در منطقه مطالعه قرار دارد و بنابراین داده‌های آن اندازه‌گیری نمی‌شود و برآوردی از محاسباتی است که توسط رادیوسوند انجام می‌شود. شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال طبق رابطه (۱) (Banacos and Schultz, 2005) محاسبه و تحلیل شد. لازم به ذکر است که محدوده مطالعه همه پهنه‌های آبی مؤثر بر ایران (دریای مدیترانه، دریای سرخ و دریای عرب) که از منابع مهم رطوبتی بارش هستند را در بر گرفته است.

$$MFC = -\nabla \cdot (q\bar{V}_h) = -\bar{V}_h \cdot \nabla q - q\nabla \cdot \bar{V}_h \quad (1)$$

$$MFC = [-u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y}] - q(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y})$$

در رابطه (۱) منظور از MFC همگرایی شار رطوبت (گرم بر کیلوگرم بر ثانیه) است. در سمت راست رابطه جمله اول فرارفت افقی رطوبت ویژه و جمله دوم همگرایی افقی رطوبت ویژه را نشان می‌دهند (Banacos and Schultz, 2005).

نتایج

در مطالعه حاضر به منظور شناخت و تحلیل الگوهای گردش جوی مؤثر بر آب و هوای ایران، روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با آرایه S بر روی ماتریس داده‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و با تفکیک مکانی ۰/۵ درجه در تمامی ماه‌های سال و طی دوره

۸۲۸۱ ستون (نقاط شبکه) و ۱۰۹۵۷ سطر (تعداد روزها) می‌باشد. در ادامه مطالعه برای تهیه نقشه‌های فشار سطح دریا داده‌های فشار سطح دریا و برای محاسبه و تهیه نقشه شار رطوبت، داده‌های سرعت افقی باد، دما و رطوبت نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال دریافت شدند.

روش کار

تحلیل مولفه‌های اصلی

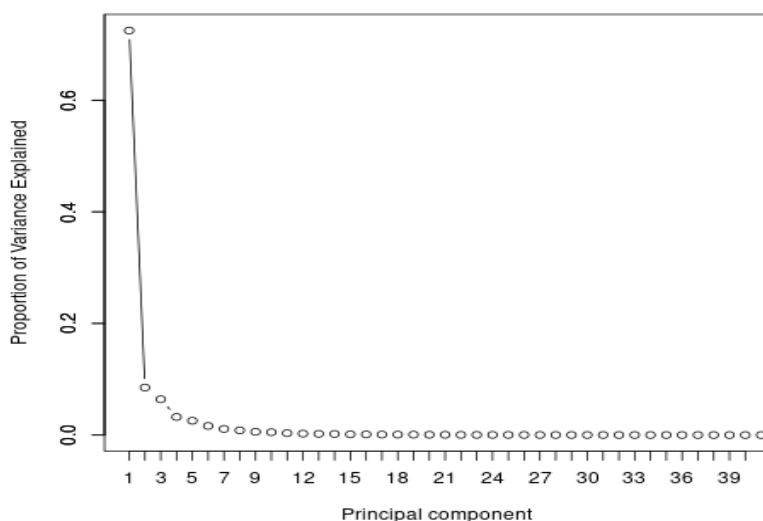
هدف از تحلیل مولفه‌های اصلی، یافتن تعداد مولفه‌هایی است که همبستگی‌های مشاهده شده بین متغیرها را توضیح دهند. از آنجائیکه بیشینه تعداد مولفه‌ها برابر با تعداد متغیرهاست، اولین مولفه اصلی استخراج شده بیشترین مقدار پراکندگی داده‌ها را در کل مجموعه داده‌ها به خود اختصاص می‌دهد. دومین مولفه بیشترین مجموعه داده‌ها که توسط مولفه اول محاسبه نشده است را در نظر می‌گیرد و با مولفه اول همبستگی ندارد. به عبارتی، با گذر از مولفه‌ی ابتدایی به سمت مولفه‌های انتهایی، هر مولفه واریانس کمتری را تشریح می‌کند. سپس چند مولفه اول با مقادیر بزرگتر از یک که بخش بزرگی از واریانس توضیح داده شده را می‌پوشاند، انتخاب و از بقیه مولفه‌ها که اهمیت چندانی ندارند، چشم‌پوشی می‌شود. در پژوهش حاضر برای تحلیل مولفه‌های اصلی با آرایه S و انتخاب مولفه‌ها از برنامه‌نویسی به زبان R استفاده شد.

خوشه‌بندی

از میان روش‌های مختلف، روش خوشه‌بندی چند هسته‌ای (K-means) بسیار شناخته شده و پر کاربرد می‌باشد. ویژگی اصلی این روش آزادی حرکت و جابجایی عضوهای گروه‌ها است. جابجایی عضوها در این روش به وسیله فرایند از سرگیری انجام می‌گیرد. میزان واریانس درون گروهی گروه‌ها در روش چند هسته‌ای بسیار پائین است و گروه‌های بدست آمده بسیار همگن می‌باشند. در تحقیق حاضر برای طبقه‌بندی تیپ‌های هوا، از خوشه‌بندی به روش K-means استفاده شد، طوری که ارائه‌دهنده متناوب‌ترین الگوهای گردش جوی در منطقه مطالعه در طول سال باشد. پس از انتخاب مولفه‌های اصلی و تعیین نمرات مولفه‌ها، تمامی

داده‌ها به وسیله نه مولفه انتخابی توضیح داده شد. با توجه به نتایج جدول ۱ و همچنین نقطه شکست نمودار غربالی (شکل ۲)، ملاحظه می‌شود که مولفه اول با ۷۲/۱۸ درصد واریانس بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارد و سایر مولفه‌ها از وزن کمتری برخوردار هستند.

آماره ۲۰۱۹-۱۹۹۰ اعمال گردید. براساس نتایج بدست آمده از این روش و بر اساس نمودار غربالی (شکل ۲)، ۹ مولفه اول که از مولفه‌های دیگر متمایز بوده و درصد قابل توجهی از واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند، انتخاب شد. جدول ۱ درصد واریانس توضیح داده شده به وسیله بردارهای ویژه را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۹۵/۹۳ درصد از واریانس کل



شکل ۲- نمودار غربالی تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

جدول ۱- درصد واریانس توضیح داده شده مولفه‌های انتخابی حاصل از انجام PCA بر روی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

شماره مولفه	درصد واریانس توضیح داده شده	شماره مولفه	درصد واریانس توضیح داده شده
۱	۷۲/۱۸	۶	۱/۲۱
۲	۸/۰۱	۷	۱/۱۳
۳	۶/۱۱	۸	۱/۱۲
۴	۳/۱۴	۹	۱/۰۰
۵	۲/۰۳	مجموع	۹۵/۹۳

جنوب غرب ایران، عراق و عربستان استقرار دارد و پربند ۱۰۰۸ هکتوپاسکال بخش‌های زیادی از شرق و مرکز ایران و نیز عربستان تا شمال شرق آفریقا را دربر گرفته است. پرفشار ۱۰۱۶ هکتوپاسکال بر روی روسیه دیده می‌شود. در نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، پراارتفاع جنب‌حاره که با کم‌فشار حرارتی سطح زمین همراه است، در زیر مدار ۳۰ درجه قرار گرفته است و گسترش آن از شمال شرق آفریقا تا جنوب غرب و جنوب ایران ادامه دارد. ناوه ضعیفی در شرق اروپا و پشته ضعیفی حاصل از نفوذ

شکل‌های ۳ تا ۷ الگوهای میانگین فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، فراوانی ماهانه و شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال را در الگوهای گردش ۱ تا ۱۸ نشان می‌دهد. این الگوها به تفصیل در زیر تفسیر می‌شوند.

الگوی گردش ۱

با توجه به نقشه فشار سطح دریا در این الگو مشاهده می‌شود که کم‌فشار حرارتی ۱۰۰۴ هکتوپاسکال در جنوب و

است. همگرایی نسبتاً ضعیف شار رطوبت در بخش‌هایی از غرب و جنوب‌شرق ایران و جنوب دریای سرخ دیده می‌شود. انتظار می‌رود با استقرار این الگو شرایط بدون بارش در کشور ایجاد شود.

الگوی گردشی ۴

در نقشه سطح زمین کم‌فشاری بر روی روسیه حاکم است و همراه با آن در تراز میانی جو کم‌ارتفاعی قرار دارد که ناوه آن تا نوار شمالی ایران کشیده شده است. همچنین در نقشه سطح زمین پرارتفاع ۱۰۲۴ هکتوپاسکال از جنوب اروپا و دریای سیاه تا لبه مرزهای شمال‌غربی ایران گسترش دارد که با پشته در تراز میانی جو همراه است. پرارتفاع جنب حاره تراز میانی در پائین‌تر از مدار ۲۰ درجه مشاهده می‌شود. بیشترین فراوانی رخداد این الگو در ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه تا مارس در دوره سرد سال است و در دوره گرم سال فعالیت ندارد. همگرایی ضعیف شار رطوبت در بخش‌هایی از جنوب ایران و جنوب دریای سرخ دیده می‌شود. همچنین در شرق دریای سیاه به سوی شمال کشور آذربایجان همگرایی نسبی شار رطوبت با تزریق رطوبت از دریای سیاه وجود دارد. بنابراین انتظار می‌رود که در اغلب مناطق کشور شرایط آرام جوی حاکم باشد اما در بخش‌هایی از شمال‌غرب و غرب سواحل دریای خزر با افزایش رطوبت بارش‌های پراکنده دور از انتظار نیست

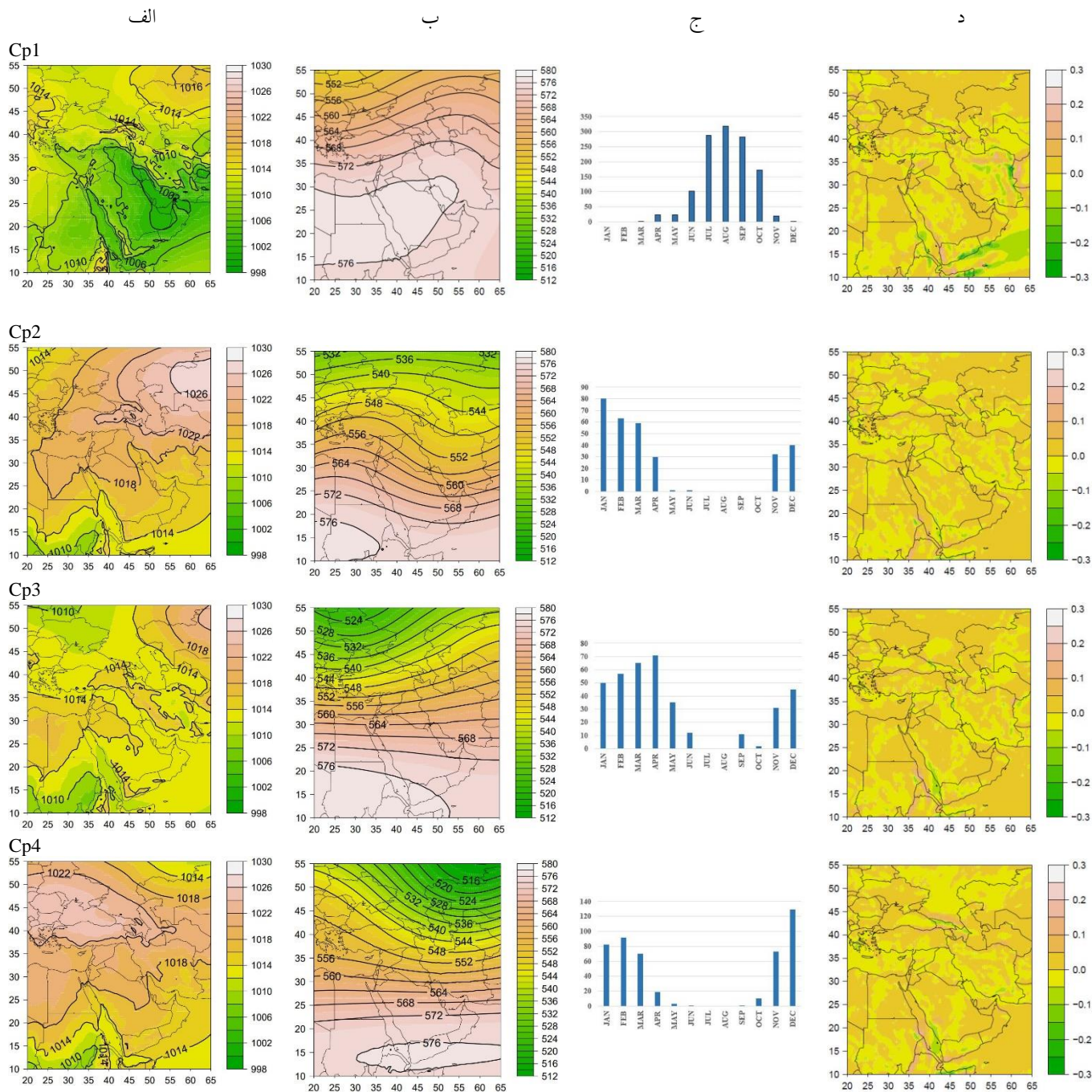
پرارتفاع جنب حاره به سوی شرق دریای خزر دیده می‌شود. این الگو کاملاً تابستانه است و در ماه‌های ژوئن تا اکتبر فعالیت بیشتری دارد. همچنین الگوی میانگین شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، همگرایی در بخش‌های شرقی ایران با بیشینه مقدار $10^{-1} grkg^{-1} s^{-1}$ ، و مرزهای دریایی یمن و عمان با بیشینه مقدار $10^{-1} grkg^{-1} s^{-1}$ نشان می‌دهد که با استقرار کم‌فشار حرارتی در سطح زمین و جریان‌های جنوبی ناشی از آن سازگار است. همچنین در جنوب دریای سرخ همگرایی شار رطوبت مشاهده می‌شود. به طور کلی این الگو استقرار شرایط گرم و خشک را در منطقه مطالعه نشان می‌دهد.

الگوی گردشی ۲

پر فشار سیبری با مرکز ۱۰۲۷ هکتوپاسکال و با امتداد شرقی - غربی تا نوار شمالی ایران و دریای خزر کشیده شده است و در جنوب ایران کم‌فشار نسبی ۱۰۱۶ هکتوپاسکال قرار دارد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه ارتفاعی در شرق دریای خزر به سمت مرکز و جنوب ایران تا شرق عربستان امتداد یافته است، همزمان پرارتفاع جنب‌حاره در شمال‌شرق آفریقا است و پشته آن تا دریای سیاه امتداد دارد. از نظر توزیع سالانه بیشترین فراوانی این الگو در دوره سرد سال مربوط به ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه تا آوریل است و در ماه‌های گرم سال فعالیت ندارد. همگرایی ضعیف شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در بخش‌های جنوبی ایران و جنوب دریای سرخ دیده می‌شود. استقرار الگوی مذکور آب و هوای سرد و خشک را در نوار شمالی کشور نشان می‌دهد.

الگوی گردشی ۳

در سطح زمین کم‌فشار ۱۰۱۲ هکتوپاسکال در شرق اروپا و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال کم‌ارتفاعی در این منطقه استقرار دارد که ناوه نسبتاً کم‌عمق و ضعیف آن تا شمال دریای سیاه کشیده شده، اما در مدار ۲۵ تا ۳۵ درجه شمالی پربندها مداری‌اند. پرارتفاع جنب‌حاره در تراز میانی جو در زیر مدار ۲۰ درجه قرار دارد. بیشترین فراوانی این الگو مربوط به ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه تا می در دوره سرد سال



شکل ۳- الگوهای گردش جوی روی ایران در دوره آماری ۲۰۱۹-۱۹۹۰، الف) الگوی میانگین فشار سطح دریا، ب) الگوی میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ج) فراوانی ماهانه و د) الگوی میانگین و اگرایی شار رطوبت (همگرایی با مقادیر منفی به رنگ سبز) در الگوهای گردشی ۱ تا ۴

همزمان پشته‌ای از پرارتفاع جنب‌حاره در راستای نصف-النهاری از عربستان تا شرق دریای سیاه کشیده شده است. بیشینه رخداد این الگو در ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه تا آوریل در دوره سرد سال است و در فصل تابستان اثری از آن دیده نمی‌شود. الگوی میانگین شار رطوبت، همگرایی

الگوی گردشی ۵ در این الگو شبیه به سطح زمین الگوی ۲، پرفشار سیبری با مرکز ۱۰۲۶ هکتوپاسکال تا نیمه شمالی ایران نفوذ کرده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه ارتفاعی در شرق دریای خزر به سمت نوار شرقی ایران امتداد یافته است،

شار رطوبت ناشی از استقرار ناوه تراز میانی جو و جریان-های جنوب‌غربی و غربی از دریای مدیترانه وجود دارد و بنابراین رخداد بارش در شمال‌غرب و بخش‌هایی از غرب کشور دور از انتظار نیست.

الگوی گردش ۸

پرفشار سبیری با مرکز ۱۰۲۹ هکتوپاسکال در مدار ۵۰ درجه قرار دارد و با گسترش به عرض‌های پائین‌تر، کشور ایران را دربرگرفته است. در روی دریای سرخ و نیز در مرکز مدیترانه کم‌فشارها استقرار دارند. در تراز میانی جو ناوهای از غرب دریای سیاه در راستای نصف‌النهار به سوی بخش‌های مرکزی مدیترانه دیده می‌شود. گرادیان پربندها در بین عرض‌های ۲۰ تا ۴۰ درجه نسبتاً زیاد (۴۰ دکامتر) است. الگوی میانگین شار رطوبت، همگرایی در شمال‌شرق دریای مدیترانه، جنوب ترکیه و جنوب دریای سرخ نشان می‌دهد. از این‌رو انتظار بارش در بخش‌های غربی کشور وجود دارد. این الگوی زمستانه در ماه‌های دسامبر و ژانویه تا مارس بیشتر رخ می‌دهد.

الگوی گردش ۹

پرفشار شرق اروپا با مرکز ۱۰۲۴ هکتوپاسکال در مدار ۴۵ درجه و در غرب دریای سیاه قرار دارد و از غرب دریای خزر در حال نفوذ به ایران است؛ در دیگر مناطق کشور کم-فشار نسبی حاکم است. در تراز میانی جو ناوهای عمیقی با کجی مثبت در راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب از شمال دریای خزر به سوی شرق ترکیه و در ادامه تا شمال دریای سرخ دیده می‌شود، گرادیان پربندها در بین عرض‌های ۲۰ تا ۴۵ درجه نسبتاً زیاد است. این الگو در دوره سرد سال در ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه تا مه فعال است. الگوی میانگین شار رطوبت، همگرایی در جنوب دریای سرخ، شمال‌شرق دریای مدیترانه، جنوب ترکیه و بخش‌هایی از غرب، جنوب‌غرب و جنوب ایران با مقدار بیشینه $grkg^{-1}s^{-1}$ ۰/۱۰ نشان می‌دهد. دوره فعالیت این الگو با استقرار شرایط آب و هوای مرطوب رخداد بارش را در مناطق غربی، جنوب‌غربی و زاگرس مرکزی را محتمل‌تر می‌کند.

در شمال‌شرق دریای مدیترانه و شرق ایران با مقدار بیشینه $grkg^{-1}s^{-1}$ ۰/۱۱ و جنوب دریای سرخ با مقدار بیشینه $grkg^{-1}s^{-1}$ ۰/۱۲ نشان می‌دهد. استقرار هوای سرد در نیمه شمالی بویژه در شمال‌شرق کشور و بارش‌های پراکنده در بخش‌هایی از شرق و جنوب‌شرق کشور انتظار می‌رود.

الگوی گردش ۶

پرفشار سبیری با مرکز ۱۰۳۰ هکتوپاسکال تا نیمه شمالی ایران نفوذ کرده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه نسبتاً ضعیفی در شرق دریای خزر وجود دارد و پشته‌ای از غرب دریای سیاه به عرض‌های بالاتر کشیده شده است. در پائین تر از مدار ۳۵ درجه پربندها مداری‌اند. اغلب رخداد این الگو در ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه تا مارس در دوره سرد سال است و در فصل تابستان اثری از آن دیده نمی‌شود. الگوی میانگین شار رطوبت، همگرایی در بخش‌هایی از شرق و جنوب ایران و جنوب دریای سرخ نشان می‌دهد. استقرار این الگو هوایی آرام در اغلب مناطق کشور را حاکم می‌کند.

الگوی گردش ۷

الگوی فشار سطح دریا حاکمیت کم‌فشار حرارتی در اغلب مناطق ایران (به جز نوار شمالی کشور)، عراق، بخش‌هایی از جنوب ترکیه، عربستان تا شرق آفریقا را نشان می‌دهد. در نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، پراارتفاع جنب‌حاره در زیر مدار ۳۰ درجه قرار گرفته است و گسترش آن از شمال‌شرق آفریقا تا نیمه جنوبی ایران ادامه دارد و پشته آن تا شمال‌شرق کشور امتداد دارد. بعلاوه، ناوهای از شمال‌شرق دریای سیاه تا شرق مدیترانه و حتی شمال دریای سرخ مشاهده می‌شود. این الگوی تابستانه در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر فعالیت بیشتری دارد. شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشابه با الگوی گردش ۱، همگرایی در بخش‌هایی از شرق ایران با مقدار بیشینه $grkg^{-1}s^{-1}$ ۰/۲۹ و دریای عرب و مرزهای دریایی یمن و عمان با مقدار بیشینه $grkg^{-1}s^{-1}$ ۰/۲۷ نشان می‌دهد که با استقرار کم‌فشار حرارتی در سطح زمین و جریان‌های جنوبی ناشی از آن سازگار است. علاوه بر آن در جنوب دریای سرخ، شمال‌شرق دریای مدیترانه و جنوب ترکیه همگرایی

الگوی گردشی ۱۰

در الگوی سطح زمین کم‌فشار ۱۰۱۲ هکتوپاسکال در دریای سرخ، عربستان، عراق و مرزهای غربی و جنوب‌غربی ایران قرار دارد که در تراز میانی جو با ناوه عمیقی که از شمال دریای سیاه تا میانه دریای سرخ کشیده شده همراه است و نیمه غربی ایران در شرق این ناوه قرار گرفته است. همچنین در سطح زمین پرفشار سبیری با مرکز ۱۰۲۶ هکتوپاسکال تا شمال دریای خزر امتداد دارد. این الگو در ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه تا آوریل فعالیت بیشتری دارد. الگوی میانگین شار رطوبت، همگرایی در جنوب دریای سرخ، شرق مدیترانه و غرب سوریه، غرب، جنوب‌غرب و بخش‌هایی از جنوب ایران با مقدار بیشینه $grkg^{-1}s^{-1}$ ۰/۱۱ نشان می‌دهد. با استقرار این الگو رخداد بارش در غرب، جنوب‌غرب، بخش‌هایی از شمال‌غرب و به تدریج با پیشروی ناوه تراز میانی به سوی شرق در مناطق مرکزی، جنوبی و شمال‌شرق و شرق کشور انتظار می‌رود.

الگوی گردشی ۱۱

پرفشار سبیری به مرکز ۱۰۲۲ هکتوپاسکال با گسترش به عرض‌های پائین‌تر اغلب مناطق ایران، شرق ترکیه، عراق، عربستان و شرق مدیترانه را دربر گرفته است. کم‌فشار ۱۰۰۸ هکتوپاسکال در مدار ۵۵ درجه در شرق اروپا دیده می‌شود که با کم‌ارتفاع ۵۲۰ هکتوپاسکال در تراز میانی جو همراه است. در تراز میانی جو گرادیان پربندها در بالاتر از مدار ۳۵ درجه زیاد است. این الگو در ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر و ژانویه تا آوریل فعالیت بیشتری دارد. الگوی میانگین شار رطوبت، همگرایی نسبتاً ضعیفی در جنوب دریای سرخ و جنوب‌غرب ترکیه نشان می‌دهد. شرایط آرام جوی با استقرار این الگو پیش‌بینی می‌شود.

الگوی گردشی ۱۲

پرفشار سبیری به مرکز ۱۰۲۱ هکتوپاسکال در مدار ۵۰ درجه قرار دارد. نوار جنوبی و بخش‌های مرکزی و شرقی ایران تحت تاثیر کم‌فشاری هستند که از دریای سرخ به سوی عربستان و جنوب ایران گسترش دارد. در تراز میانی جو کم‌ارتفاع بریده ۵۴۰ هکتوپاسکال بر روی دریای سیاه قرار دارد و ناوه عمیق آن از دریای سیاه تا جنوب مدیترانه دیده می‌شود. گرادیان پربندها در بین مدارهای ۲۰ تا ۳۵

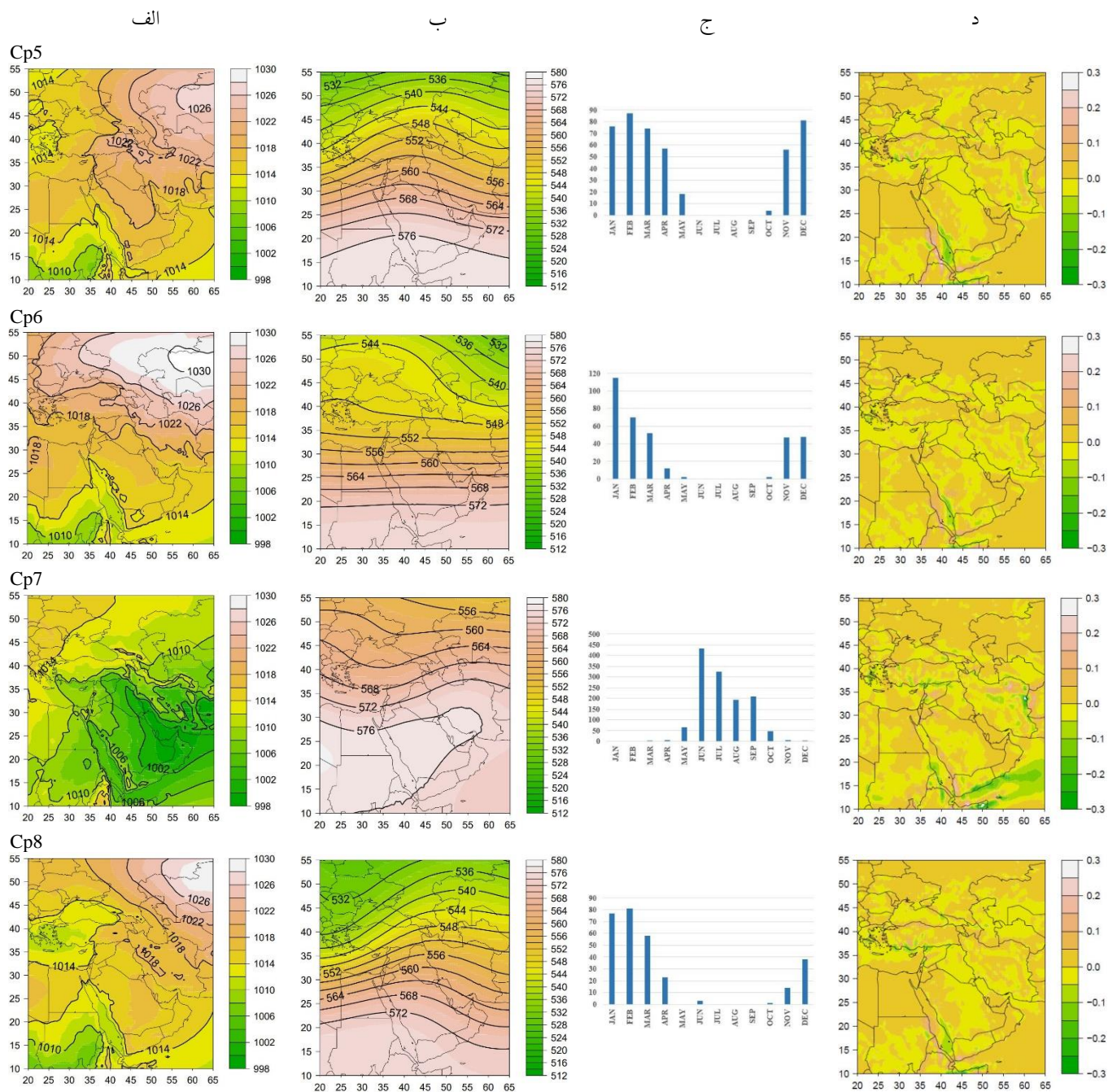
درجه زیاد است. این الگو بیشتر در ماه‌های آوریل و مه با فراوانی زیاد رخ می‌دهد اما در ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر و ژانویه تا مارس نیز فعالیت دارد. الگوی میانگین شار رطوبت، همگرایی در شمال‌شرق دریای مدیترانه، جنوب ترکیه، غرب و شمال‌غرب ایران و جنوب دریای سرخ با مقدار بیشینه $grkg^{-1}s^{-1}$ ۰/۱۲ نشان می‌دهد. شرایط هوای گرم و مرطوب بویژه در نیمه غربی کشور و رخداد بارش در شمال‌غرب، غرب، زاگرس مرکزی و به تدریج در مرکز کشور انتظار می‌رود.

الگوی گردشی ۱۳

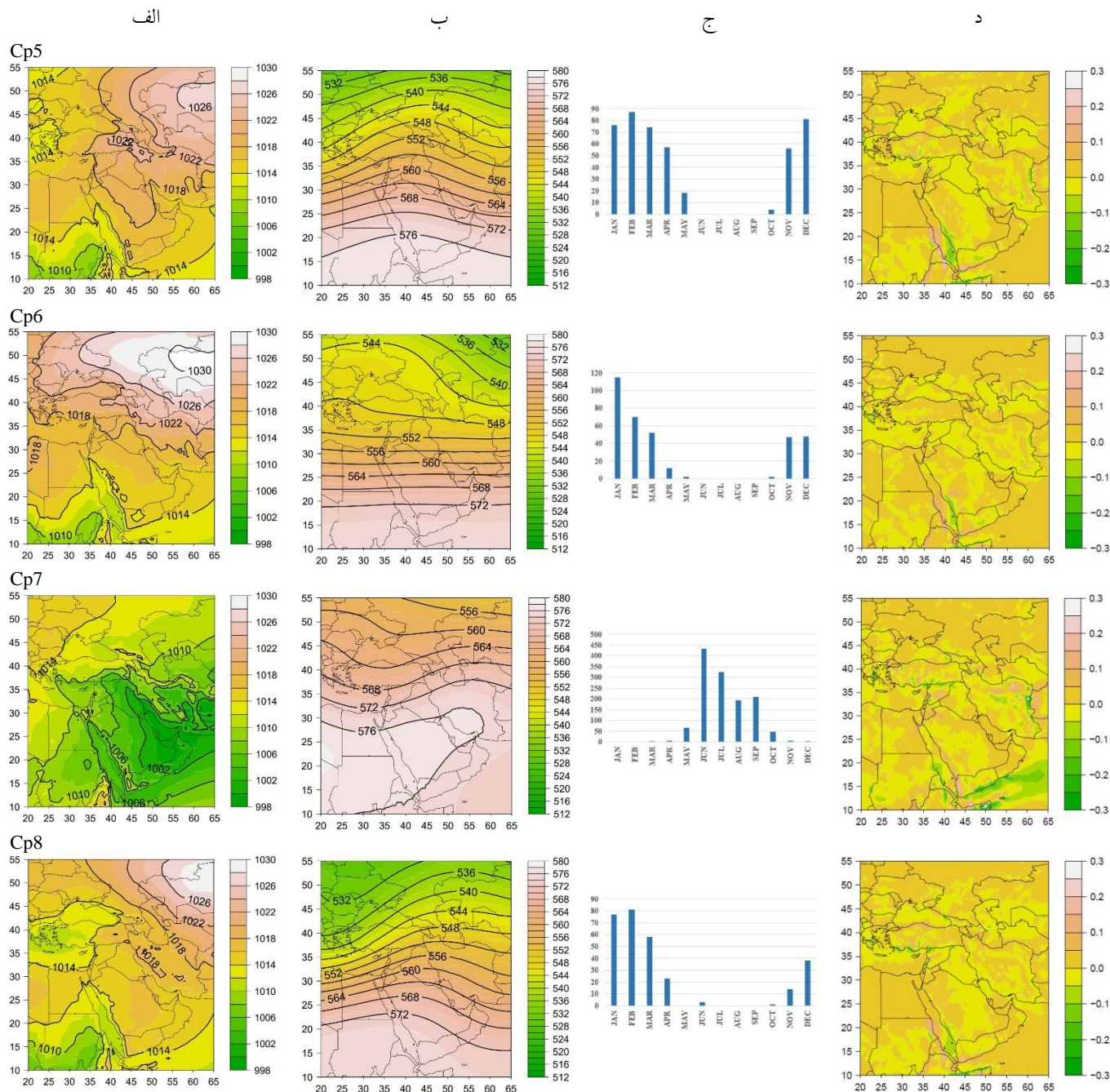
در اغلب مناطق کشور (به جز نوار شمالی)، همچنین بر روی عراق، عربستان و دریای سرخ کم‌فشار حرارتی حاکم است که با پراارتفاع جنب‌حاره با امتداد از شمال‌شرق آفریقا تا جنوب ایران در تراز میانی جو همراه است و پشته آن تا شمال دریای خزر کشیده شده است. بعلاوه، ناوه نسبتاً ضعیفی در غرب ترکیه قرار دارد. فعالیت این الگو در ماه‌های گرم سال از آوریل تا اوایل اکتبر است که اوج رخداد آن در ماه مه است. شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال همگرایی در بخش‌هایی از شرق ایران با مقدار بیشینه $grkg^{-1}s^{-1}$ ۰/۱۶ و مرزهای دریایی یمن و عمان با مقدار بیشینه $grkg^{-1}s^{-1}$ ۰/۲۲ نشان می‌دهد که با جریان‌های جنوبی کم‌فشار حرارتی سطح زمین هماهنگ است. برقراری هوای گرم در اغلب مناطق کشور با استقرار این الگو پیش‌بینی می‌شود.

الگوی گردشی ۱۴

گسترش پرفشار سبیری با مرکز ۱۰۲۵ هکتوپاسکال تا نیمه شمالی ایران و استقرار کم‌فشار بر روی دریای سرخ، عربستان و نوار جنوبی ایران در الگوی سطح زمین مشخص است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه‌ای از جنوب‌شرق مدیترانه تا غرب دریای سرخ دیده می‌شود. این الگو بیشتر در فصل پاییز و در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر رخ می‌دهد، با این حال در ماه‌های ژانویه تا مه نیز به وقوع می‌پیوندد. الگوی میانگین شار رطوبت همگرایی در بخش‌هایی از شرق و جنوب‌شرق ایران و جنوب دریای سرخ دارد. استقرار این الگو جوی آرام را برای اغلب مناطق کشور نشان می‌دهد.



شکل ۴ مانند شکل ۳ اما در الگوهای گردشی ۵ تا ۸



شکل ۵- مانند شکل ۳ اما در الگوهای گردشی ۹ تا ۱۲

الگو به جز ژوئیه و اوت در بقیه ماه‌ها رخ می‌دهد، اما بیشینه فعالیت آن در اکتبر، نوامبر و دسامبر (فصل پائیز) است. همگرایی ضعیفی از شار رطوبت در جنوب غرب ترکیه و جنوب دریای سرخ وجود دارد. استقرار این الگو جوی آرام را برای اغلب مناطق کشور نشان می‌دهد.

الگوی گردشی ۱۶

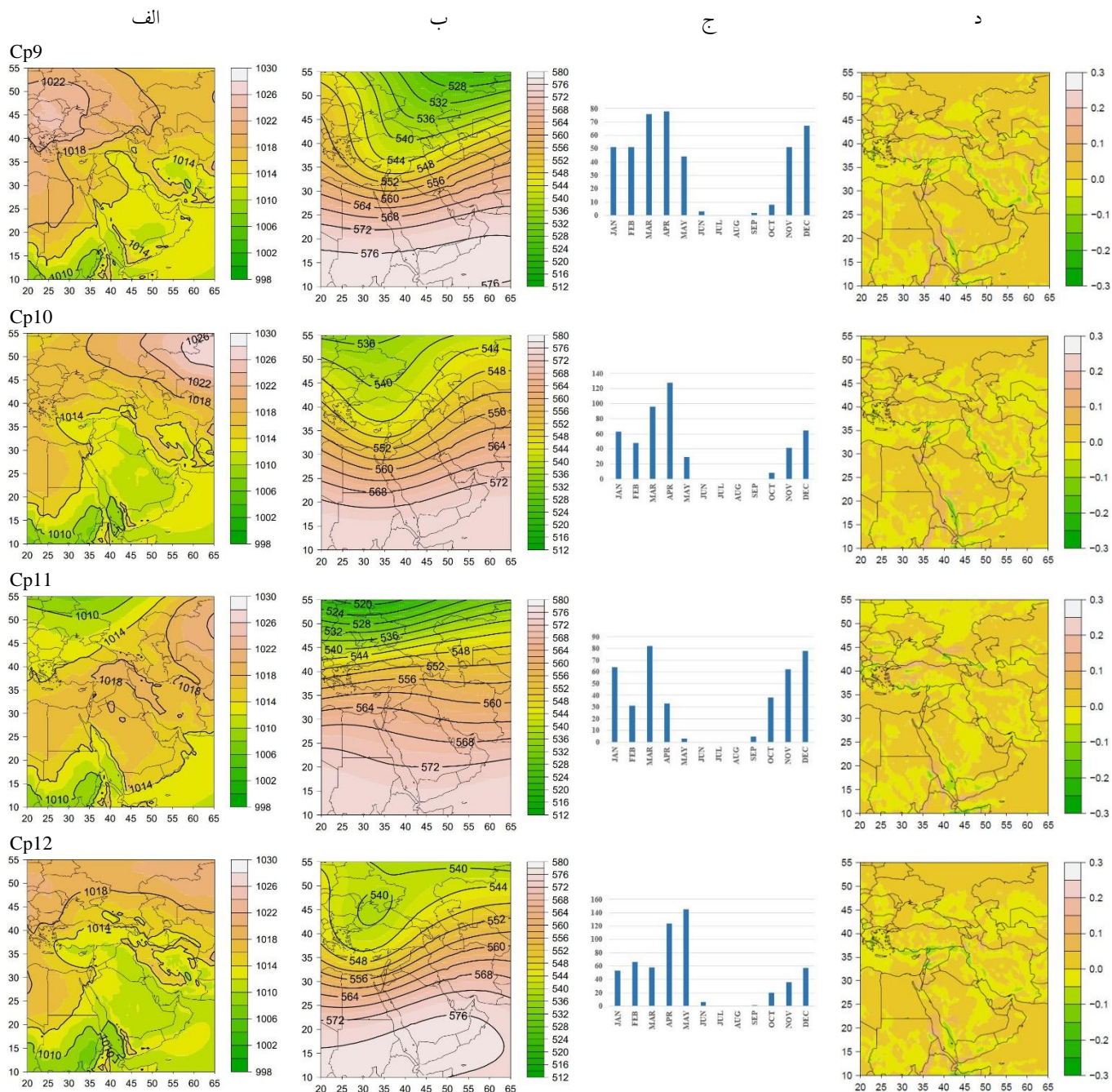
پرفشار سبیری با مرکز ۱۰۳۰ هکتوپاسکال در مدار ۵۰ درجه تا نیمه شمالی ایران نفوذ کرده، از سوی دیگر جنوب

الگوی گردشی ۱۵

نوار شمالی ایران و ارتفاعات رشته‌کوه زاگرس تحت تاثیر پرفشار ۱۰۱۶ هکتوپاسکال قرار دارند و در روی دریای سرخ کم‌فشار ۱۰۱۲ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود. اما در تراز میانی جو پرفشار جنب‌حاره در جنوب دریای سرخ و جنوب عربستان قرار دارد، گرادیان پربندها بین مدار ۲۵ تا ۵۵ درجه زیاد است (بیش از ۴۶ دکامتر) و گذر ناوه ضعیفی از عرض‌های بالا در شمال دریای سیاه مشاهده می‌شود. این

در ماه‌های دسامبر و ژانویه به اوج فعالیت خود می‌رسد. همگرایی شار رطوبت در جنوب دریای سرخ، شمال‌شرق دریای مدیترانه، غرب سوریه و بخش‌هایی از غرب کشور دیده می‌شود. بنابراین انتظار شرایط مرطوب در مناطق غرب و شمال‌غرب کشور وجود دارد.

شرق ایران متأثر از کم‌فشار جنوب دریای سرخ است و کم‌فشار دیگری در بخش‌های مرکزی مدیترانه قرار دارد که با ناوه عمیقی در تراز میانی جو در این منطقه همراه است. پشته ارتفاعی از شرق عربستان به سوی جنوب‌غرب ایران تا شمال دریای خزر کشیده شده است. این الگو از اکتبر تا دسامبر و ژانویه تا آوریل در دوره سرد سال رخ می‌دهد و



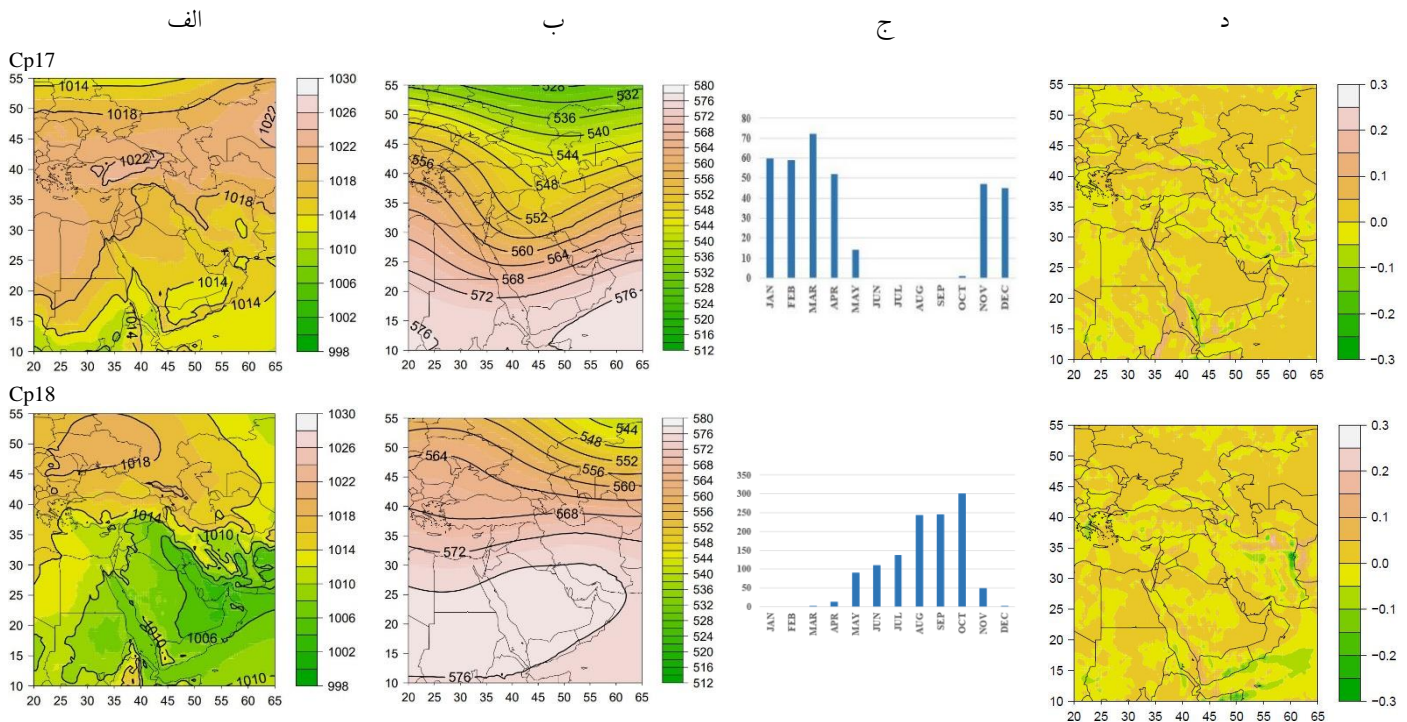
شکل ۶- مانند شکل ۳ اما در الگوهای گردش ۱۳ تا ۱۶

الگوی گردش جوی ۱۷

نواری از پرفشار ۱۰۲۰ هکتوپاسکال بین مدار ۳۵ تا ۴۵ درجه و در نیمه جنوبی ایران کم‌فشار مستقر است. در تراز میانی جو ناهای در شمال‌غرب کشور وجود دارد که بخش جنوبی آن روی عراق و عربستان تا میانه دریای سرخ کشیده شده است. فعالیت این الگو در ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه تا مه است. همگرایی شار رطوبت در بخش‌هایی از جنوب‌غرب، جنوب و جنوب‌شرق ایران، شرق دریای سیاه، شمال کشور آذربایجان و جنوب دریای سرخ دیده می‌شود. در نتیجه با استقرار این الگو شرایط مساعد برای بارش در شمال آذربایجان‌ها و بخش‌هایی از جنوب‌غرب و جنوب کشور پیش‌بینی می‌شود.

الگوی گردش جوی ۱۸

پرفشار شرق اروپا با مرکز ۱۰۱۹ هکتوپاسکال تا شمال‌غرب ایران امتداد یافته، اما اغلب مناطق کشور تحت تاثیر کم‌فشار حرارتی است که تا عراق، عربستان و دریای سرخ گسترش دارد. پراارتفاع جنب‌حاره از شمال‌شرق آفریقا به سوی جنوب ایران در تراز میانی جو دیده می‌شود. دو ناهه ضعیف یکی در شرق مدیترانه و دیگری در شمال‌شرق دریای خزر وجود دارد. وقوع این الگو از مه تا اکتبر با بیشینه رخداد در اکتبر است. در الگوی میانگین شار رطوبت، همگرایی در بخش‌هایی از شرق و جنوب‌شرق ایران با مقدار بیشینه $0.16 \text{ grkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ و مرزهای دریایی یمن و عمان با مقدار بیشینه $0.11 \text{ grkg}^{-1}\text{s}^{-1}$ است که با جریان‌های جنوبی کم‌فشار حرارتی سطح زمین هماهنگ است.



شکل ۷- مانند شکل ۳ اما در الگوهای گردش جوی ۱۷ و ۱۸

نتیجه‌گیری

تحلیل الگوهای گردش جوی با داده‌های جوی روزانه در توضیح پدیده‌های هواشناسی مانند بارش برف سنگین، خشکسالی، آلودگی و بویژه در پیش‌بینی تغییرات آب و هوا در مقیاس محلی اهمیت دارد. در این پژوهش، پس از طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی روزانه بر اساس داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ترسیم نقشه‌های

ترکیبی آن با فشار سطح زمین، توزیع ماهانه و فصلی الگوها بررسی شد و سپس شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در هر یک از الگوها محاسبه و توزیع آن در منطقه مطالعه ترسیم و تحلیل شد. نتایج طبقه‌بندی الگوی گردش جوی نشان‌دهندگی تفاوت‌های معنی‌دار در آرایش الگوها، فراوانی تیپ‌های هوا و مسیر حرکت آنها به سوی ایران است. با توجه به توزیع

مشاهده نبوده، در نتیجه این جزئیات می‌تواند در تحلیل‌های محلی برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر مکانی و زمانی به‌کار رود.

منابع

1. Amiri A., B. Alijani, Z. Hejazizadeh, E. Fattahi and M. Azadi. 2018. Investigating the Relationship between Relative Vorticity Activity Centers in the Middle East and Air Temperature in Iran. *Journal of Climate Research*. 9 (36). 1-12.
2. Hoseyni A. and H. Akbari Ghamsari. 2017. Identification of synoptic patterns causing heavy rainfall in Taleghan watershed in Alborz province. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*. 3(4). 89-100.
3. Hanafi A. 2020. Identify weather types of North West and their relationship with Atmospheric circulation patterns (case study: Maragheh synoptic stations). *Journal of Geographical sciences*. 16(32). 31-44.
4. Raziei T. 2007. Investigation of the relationship between 500 hPa atmospheric circulation patterns and dry and wet periods in western Iran. Ph.D Thesis, University of Tehran.
5. Fattahi E. and T. Raziei. 2009. Daily Atmospheric Circulation Patterns over Iran. *Journal of Geographical research*. 93. 45-74
6. Fattahi E. and O. Babaei Fini. 2018. Classification of synoptic patterns of precipitation and drought in Iran. *Journal of Geographical research*. 29(1). 105-122.
7. Azizi G. and Alizadeh T. 2014. Relationship between the Type of Sea Level Circulation Patterns and Widespread Rrainfall in Iran. *Journal of Physical Geography Research*. 46(3). 297-310.
8. Alijani B. 2001. Weather types and their effect on Iran's climate. *Kavoshnameh*. 2(3). 21-49.
9. Ghayoor H. A.H. Halbyan. B. saberi and F. Hoseynalipoor Jazi. 2012. Investigation of the relationship between heavy rainfall and high atmospheric circulation patterns (Case study: South Khorasan province). *Environmental hazards*. 1(2). 11-27.
10. Mostafaei H. B. Alijani and M. saligheh. 2015. Synoptic analysis of heavy and widespread rainfall in Iran. *Journal of Spatial analysis of environmental hazards*. 2(4). 65-76
11. Alijani B. 2002. Variation of 500hpa flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with climate of Iran.

ماهانه و فصلی هر یک از الگوها مشاهده شد که الگوهای گردشی cp1، cp7 و cp18 در تابستان و اوایل پائیز، الگوی گردشی cp13 در اواخر بهار، تابستان و اوایل پائیز، الگوهای گردشی cp2، cp4، cp6، cp8، cp11 و cp16 در اواخر پائیز تا اوایل بهار سال بعد و الگوهای گردشی cp3، cp5، cp9، cp10، cp12، cp14، cp15 و cp17 در اواخر پائیز تا بهار سال بعد رخ می‌دهند. این وضعیت با شرایط همدیدی هر یک از الگوها در سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مطابق است.

در الگوهای گردشی دوره گرم سال کم‌فشار حرارتی سطح زمین در پائین‌تر از مدار ۳۵ درجه با پراارتفاع جنب حاره تراز میانی جو همراه است و بیشینه شار رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در بخش‌های شرقی ایران و مرزهای دریایی یمن و عمان است که با جریانات جنوبی و جنوب‌شرقی کم‌فشار حرارتی سازگار است. در الگوهای گردشی cp2، cp4، cp6، cp8، cp11 و cp16 که در دوره سرد سال رخ می‌دهند؛ جریان‌های جنوبی و جنوب‌غربی از کم‌فشار تشکیل شده در جنوب دریای سرخ با ناوهای در تراز میانی جو همراه است، همگرایی شار رطوبت در جنوب دریای سرخ وجود دارد و نیز در بخش‌هایی از جنوب و جنوب-غرب ایران، شرق دریای سیاه، شمال‌شرق دریای مدیترانه و جنوب ترکیه مشاهده شد. در بقیه الگوهای گردشی که در دوره سرد سال و نیز در فصل بهار رخ می‌دهند؛ کم‌فشار جنوب و مرکز دریای سرخ با ناوهای در تراز میانی جو با گسترش اغلب از مرکز یا شرق دریای مدیترانه تا روی دریای سرخ مشاهده شد، همگرایی شار رطوبت اغلب در بخش‌های غرب، جنوب‌غرب و جنوب، شمال‌غرب ایران، شمال‌شرق دریای مدیترانه، جنوب‌غرب ترکیه و جنوب دریای سرخ دیده شد.

طبقه‌بندی الگوهای گردش جوی در پژوهش حاضر با مطالعات پیشین (رضیئی ۱۳۸۶، فتاحی و رضیئی ۱۳۸۸) همخوانی دارد، علاوه بر آن کاربست داده‌های با تفکیک 0.5° ، جزئیات بیشتری از مشخصات منطقه‌ای از پرفشارها و کم‌فشارها و نیز مراکز کم‌ارتفاع و پراارتفاع را به طور آشکار نشان می‌دهد که در مطالعات قبلی قابل تفکیک و

19. Kasmacher O. and C. Schneider. 2011. An Objective Circulation Pattern Classification for the Region of Svalbard. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 1-13, DOI: 10.1111/j.1468-0459.2011.00431.x.
20. Lakson M. P. Post and M. Sepp. 2019. The Impact of Atmospheric Circulation on Air Temperature Rise in Estonia. *Frontiers in Earth Science*. 7.1-12. DOI: 10.3389/feart.2019.00131.
21. Lupikasza E. 2010. Relationships between occurrence of high precipitation and atmospheric circulation in Poland using different classifications of circulation types. *Physics and Chemistry of the Earth*. 35. 448-455.
22. Pearson K. 1901. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine. Series 6*. 2(11). 559-572.
23. Smith Erik T. and S.C. Sheridan. 2018. The influence of atmospheric circulation patterns on cold air outbreaks in the eastern United States. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.5935.
24. Vicente Serrano. S.M. R. Trigo. J.I. Lopez Moreno. M.L.R. Liberato. J. Lorenzo Lacruz. S. Begueria. E. Moran Tejada and A. El Kenawy. 2011. The 2010 extreme winter north hemisphere atmospheric variability in Iberian precipitation: anomalies, driving mechanisms and future projections. *Climate Research*. 46. 51-65. DOI: 10.3354/cr00977.
- Theoretical and Applied Climatology. 72. 41-54.
12. Chadee Xsitaaz T. and R.M. Clark. 2015. Daily near-surface large-scale atmospheric circulation patterns over the wider Caribbean. *Climate Dynamic-Springer*. 44. 2927-2946. DOI 10.1007/s00382-015-2621-2.
13. Darand M. R. Garcia Herrera. H. Asakereh. R. Amiri and D. Barriopedro. 2018. Synoptic conditions leading to extremely warm periods in Western Iran. *International Journal of Climate*. 38(1). 307-319. DOI:10.1002/joc.5177.
14. Esteban P. J.M. Vide and M. Masesc. 2006. Daily Atmospheric Circulation Catalogue for Western Europe Using Multivariate Techniques. *International Journal of Climatology*. 26. 1501-1515. DOI: 10.1002/joc.1391.
15. Esteban P. P.D. Jones. J.M. Vide and M. Mases. 2005. Atmospheric Circulation Patterns Related to Heavy Snowfall Days in Andorra, Pyrenees. *International Journal of Climatology*. 25. 319-329.
16. Huth R. C. Beck. A. Philipp. M. Demuzere. Z. Ustrnul. M. Cahynov'a. J. Kysel'y and O. E. Tveito. 2008. Classifications of atmospheric circulation patterns. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1146, 105-152.
17. Jiang N. 2011. A new objective procedure for classifying New Zealand synoptic weather types during 1958-2008. *International Journal of Climatology*. 31. 863-879. DOI: 10.1002/joc.2126.
18. Jolliffe I.T. 2002. *Principal Component Analysis*. Second edition, New York: Springer-Verlag New York, Inc.