

الگوهای گردشی جو و دوره‌های فرین تر و خشک فصل زمستان در جنوب شرق ایران

محدثه وزیری مهر^۱، محسن حمیدیان پور^{۲*}، محمود خسروی^۳ و حمید نظری پور^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲. دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۳. استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۴. استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۵/۹، پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۷/۱۲)

چکیده

منطقه فراخشک و خشک جنوب شرق ایران، نمونه بارزی از یک منطقه متأثر از رویدادهای فرین اقلیمی به مانند سیل و خشکسالی می‌باشد. در این مطالعه، با هدف درک علل و فرایندهای منجر به رخداد دوره‌های فرین زمستانه در منطقه جنوب شرق ایران، وردایی‌های زمانی فضایی دوره‌های فرین تر و خشک زمستانه و ارتباط رخداد آنها با گردش مقیاس سینوپتیک جو بررسی شده است. داده‌های شبکه‌ای مقیاس ماهانه از شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق (SPEI01) و داده‌های میانگین روزانه میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی (HGT500) از داده‌های شبکه‌ای بازکاوی شده NCEP-NCAR به ترتیب برای ارزیابی دوره‌های فرین تر و خشک و تیپ‌های گردشی جو زمستانی در یک دوره ۵۵ ساله (۱۹۶۰-۲۰۱۵) استفاده شده است. ارزش‌های خارج از محدوده $+1/5$ تا $-1/5$ از شاخص مزبور به ترتیب اساس تعیین دوره‌های تر و خشک فرین لحاظ شده‌اند. با اجرای یک تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) با دوران واریماکس بر روی ماتریس همبستگی از حالت تجزیه S داده‌های SPEI01، سه منطقه فرعی با وردایی اقلیمی مستقل شناسایی شدند. سپس، الگوهای گردش جو روزانه مقیاس سینوپتیک به تیپ گردشی (CTs) دوازده‌گانه بر اساس اجرای تکنیک تحلیل خوشه‌ای غیرسلسله‌مراتبی k-means به پیروی از استبان و همکاران (۲۰۰۵)، تقسیم شده‌اند. ارتباط بین CTs با دوره‌های تر و خشک فرین در منطقه جنوب شرق ایران با اعمال شاخص عملکرد (PI) بر روی داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های نماینده مناطق فرعی بررسی شده است. یافته‌ها بیانگر یک ارتباط معنی‌دار بین رخداد CTs و دوره‌های فرین تر و خشک در ایستگاه‌های نماینده مناطق فرعی می‌باشد. تیپ گردشی $CT1+$ سهم غالب در رخداد دوره‌های تر فرین و تیپ‌های گردشی $CT1-$ و $CT2+$ در رخداد دوره‌های فرین خشک در زیرمنطقه شرق و جنوب شرق (ایستگاه زاهدان) دارا می‌باشد. در زیرمنطقه ساحلی جنوبی، تیپ‌های گردشی $CT2-$ سهم غالب در رخداد دوره‌های فرین تر و تیپ‌های گردشی $CT4-$ و $CT6-$ در رخداد دوره‌های فرین خشک دارا می‌باشند. سهم تیپ گردشی $CT5-$ در رخداد دوره‌های تر فرین و تیپ گردشی $CT1+$ در زیرمنطقه شمال و شمال غربی بیشینه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل مؤلفه اصلی، تحلیل خوشه‌ای، الگوی گردشی جو، شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق، جنوب شرق ایران.

۱. مقدمه

با این وجود، فاصله از مسیر ورود بادهای غربی باران‌زا، عرض جغرافیایی پایین و عوارض توپوگرافی مسیر، توده‌های هوای باران‌زای غربی را محدود می‌کند. از این‌رو، رژیم بارش زمستان بسیار متمرکز می‌باشد (رضیعی، ۲۰۱۸a). از جمله پیامد این رژیم بارش متمرکز، دوره‌های فرین تر و خشک در این منطقه می‌باشد. زمستان‌های خشک و بدون بارش به مانند ۱۳۹۹ و ۱۳۹۵ و زمستان‌های مرطوب به مانند سال آبی ۱۳۹۸ و ۱۳۷۶

در محیط‌های خشک و فرا خشک همچون جنوب شرق ایران، دوره‌های فرین تر و خشک یک مخاطره شدید برای جوامع به حساب می‌آیند و بر بخش‌های کشاورزی، شبکه‌های حمل و نقل، پوشش گیاهی، محیط‌زیست، منابع آب و پایداری جوامع انسانی تأثیر می‌گذارند. اقلیم این منطقه، بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر (رضیعی، ۱۳۹۶) و دِمارتن (رحیمی و همکاران، ۲۰۱۳) در زیرمجموعه اقلیم خشک با رژیم عمدتاً زمستانه قرار دارد.

(نظری پور، ۱۳۹۴؛ شیراوند و همکاران، ۱۳۹۹؛ مرادی و رنجبر سعادت آبادی، ۱۳۹۹) از جمله آنهاست. این رویدادهای فرین نمونه‌های ایده‌آل از یک مخاطره اقلیمی است که درک مکانیسم‌های آنها برای کاهش خطر و آسیب‌پذیری مفید خواهد بود. مبتنی بر مطالعات اخیر آستانه یک رویداد تر و خشک به‌عنوان روزهای متوالی تر و خشک از دو نوع آستانه استفاده شده است. یکی از آستانه‌ها بر پایه یک مقدار ثابت (لی و همکاران، ۲۰۱۷) و دیگری بر پایه مقادیر متنوع فضایی بر اساس صدک‌ها (لانا و همکاران، ۲۰۰۶) یا میانگین روزانه بارش (سینگ و رانادا، ۲۰۱۰) شکل می‌یابد. با این وجود، معیارهای متنوعی برای شناسایی رویدادهای تر و خشک بر اساس مقیاس زمانی بزرگ‌تر (دوره، سالانه، ماهانه)، موجود است. از جمله این معیارها، شاخص‌های خشکسالی می‌باشند.

طبقه‌بندی گردش جو، موضوعی است که دهه‌ها توسط متخصصان اقلیم مورد بررسی قرار گرفته است و سعی می‌کنند پدیده‌های زیست‌محیطی یا انسانی (به‌عنوان مثال بارش شدید برف، خشکسالی، رانش زمین، فرسایش خاک، آلودگی، مرگ‌ومیر و غیره) را با استفاده از آماره‌های نقشه هوا توضیح دهند. علاقه به بهبود این روش‌ها در اقلیم و به‌ویژه در پیش‌بینی تغییرات اقلیم در مقیاس محلی، سبب ایجاد پروژه‌هایی مانند طبقه‌بندی گردش جو و ریزمقیاس‌نمایی منطقه‌ای شده که متمرکز بر تجزیه و تحلیل و توسعه طبقه‌بندی گردش جو می‌باشند (یارنال و همکاران، ۲۰۰۱؛ استبان و همکاران، ۲۰۰۶). امروزه، روش رایج و معتبر برای طبقه‌بندی الگوهای گردش جو بر پایه استفاده از آمار چندمتغیره، تکنیک تحلیل مؤلفه اصلی و تحلیل خوشه‌ای می‌باشد. این روش‌شناسی برای طبقه‌بندی الگوهای گردش جو توسط پژوهشگران مختلف ارزیابی و با سایر روش‌ها مقایسه شده است. نتایج این پژوهش‌ها گواه آن است که روش‌های چند متغیره برآمد بهتری را حاصل می‌کند (هو، ۱۹۹۶). علیجانی (۲۰۰۲) رابطه بین تغییرات

میانگین ماهانه الگوهای جریان تراز میانی جو با بارش و دما را در گستره ایران در ماه‌های فصل زمستان از ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ با تکنیک تحلیل مؤلفه اصلی بررسی کرده است. نتایج این تحقیق بیانگر نقش اساسی ناوه‌ها و پشته‌های نزدیک ایران در شرایط جوی کشور ایران می‌باشد. رضی و همکاران (۲۰۱۲b) تأثیر الگوهای گردشی بزرگ مقیاس بر رژیم‌های فصلی بارش روزانه را برپایه روش‌های آماری چندمتغیره در ایران بررسی کرده‌اند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که توزیع فضایی بارش در گستره ایران تا حدود زیادی توسط موقعیت جغرافیایی تراف خاورمیانه در تراز میانی جو و آنتی‌سیکلون عربی کنترل می‌شود. جنبه‌های هم‌دید از الگوهای فصلی دوره‌ها تر و خشک در میانه غرب ایران بر پایه داده‌های فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال بررسی شده است. نتایج نشان داده است دوره‌های خشک میانه غرب ایران عمدتاً با شدت پرفشار آزرور و جابه‌جایی‌های مرکز آن به سمت شرق و شمال‌شرق در ارتباط است (خوش‌اخلاق و همکاران، ۲۰۰۸). الگوهای گردشی جو در طول دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر بررسی شده است. نتایج نشان داده است که استقرار پشته قوی در ترازهای میانی جو همراه با شکل‌گیری و اچرخند قوی در ترازهای زیرین بر جانب شمالی دریای سیاه، از ویژگی‌های دوره‌های مرطوب و افزایش میزان فعالیت و اچرخندها در منطقه خاورمیانه و تشدید فعالیت پُرفشار سبیری از نشانه‌های دوره‌های خشک در سواحل جنوبی دریای خزر محسوب می‌شود (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۳).

روابط بین الگوهای گردش جو با دوره‌های تر و خشک زمستان در جنوب غرب ایران توسط رضی و همکاران (۲۰۱۲a) با استفاده از شاخص SPI یک ماهه ۱۴۰ ایستگاه هواشناسی استخراج شد. نتایج نشان داده که تیپ‌های گردش جو خاص قادر به پیش‌بینی دوره‌های تر و خشک در جنوب غرب ایران می‌باشند. پلوت و همکاران (۲۰۰۱) در یک رویکرد مشابه، الگوهای گردش جو مقیاس بزرگ ۷۰۰

مقیاس‌های زمانی ۱ تا ۴۸ ماهه از ژانویه ۱۹۰۱ تا دسامبر ۲۰۱۵ با تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه قوسی موجود است. در این بررسی از نسخه SPEIbase v.2.6 این مجموعه داده با مقیاس یک ماهه (SPEI01) برای دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۵ استفاده شده است. ماه‌های دسامبر تا مارس (DJFM) به عنوان ماه‌های فصل زمستان انتخاب و داده‌ها برای ۵۵ زمستان از طریق امکانات برنامه‌نویسی متلب در محدود جنوب شرق ایران استخراج شده است. تعداد ۱۶۸ یاخته، محدوده جنوب شرق ایران را در برمی‌گیرد. محدوده غربی و شمالی منطقه مورد مطالعه را به ترتیب نصف النهار ۵۵ درجه شرقی و مدار ۳۲ درجه شمالی محدود می‌کند (شکل ۱). در نهایت یک پایگاه داده جدید با آرایش $SPEI01_{220 \times 168}$ تشکیل و مبنای پردازش‌های بعدی قرار گرفت. جزئیات شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق شبکه‌ای در (ویسنه سرانو و همکاران، ۲۰۱۰) یافت می‌شود. درجات شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق همانند شاخص استاندارد شده بارش (پلانگ و همکاران، ۲۰۱۹) می‌باشد. به طور خاص، مقادیر SPEI بین $+0.99$ و -0.99 - نشانگر شرایط تقریباً نرمال، بین -1 تا -1.49 - شرایط خشکی متوسط، بین -1.5 تا -1.99 - خشکی سخت (شدید) و مقادیر کوچک تر از -2 - شرایط فوق العاده خشک می‌باشد. دامنه‌های عددی مشابه با مقادیر مثبت بیانگر شرایط مرطوب (تر) هستند (لی و همکاران، ۲۰۱۵). به طور معمول، مقیاس‌های زمانی ۱ یا ۳ ماهه برای توصیف شرایط خشکسالی هواشناختی استفاده می‌شود. برای بررسی ارتباط بین تیپ‌های گردشی روزانه جو با دوره‌های تر و خشک، ارزش‌های خارج از دامنه (-1.5) و $(+1.5)$ به عنوان دوره‌های تر و خشک فرین در نظر گرفته شده‌اند.

داده‌های میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز میانی جو برای ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۵، از طریق مجموعه داده‌های باز کاوی شده NCEP-NCAR (کیستلر و همکاران، ۲۰۰۱) شامل منطقه

هکتوپاسکال مرتبط با رویدادهای بارش سنگین (سیل، بارش برف شدید و بهمن) را در منطقه آلپ بررسی کرده‌اند. بیرکلند و موک (۲۰۰۱) یک موج بهمن سهمگین که غرب ایالات متحده آمریکا را در فوریه ۱۹۸۶ متأثر کرده بود را بررسی و نشان دادند که این رویداد فرین ناشی از یک الگوی بندالی ماندگار غیرمعمول در تراز میانی جو می‌باشد. ارتباط بین تیپ‌های گردشی جو بزرگ مقیاس و بارش روزانه فصل زمستان در گستره ایران برای دوره ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۰ بر پایه روش‌های چندمتغیره بررسی شده است (رضیئی و همکاران، ۲۰۱۲b). ارتباط بین رژیم‌های هوا و بارش زمستانه در پرتغال بر پایه تجزیه و تحلیل خوشه‌ای با توابع متعامد تجربی بر روی میدان‌های میانگین فشار تراز دریا بررسی شده است. در نهایت، رژیم‌های متنوع هوا به عنوان عامل تنوع سالانه بارش زمستان شناسایی شده است. نتایج این بررسی نشان داده است که هر الگوی گردشی روزانه مرتبط با پنج رژیم هوا شامل سیکلونی، غربی، فاز منفی نوسان اطلس شمالی، فاز مثبت نوسان اطلس شمالی و رژیم هوای شرقی می‌باشند (سانتوس و همکاران، ۲۰۰۵). در این پژوهش، با استفاده از آستانه شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق، دوره‌های تر و خشک در جنوب شرق ایران شناسایی و همبستگی رخداد آنها با تیپ‌های گردشی جو روزانه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز میانی جو با استفاده از تکنیک‌های تحلیل مؤلفه اصلی و تحلیل خوشه‌ای توصیف می‌شود. انتظار می‌رود نتایج این بررسی در پیش‌بینی رخداد دوره‌های تر و خشک در منطقه مورد مطالعه کارآمد باشد.

۲. داده‌ها و روش‌شناسی

۲-۱. داده

داده‌های این پژوهش دو دسته می‌باشند. داده‌های شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق برای ارزیابی دوره‌های تر و خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد. این داده‌ها به صورت شبکه‌ای برای کل خشکی‌های سیاره زمین در

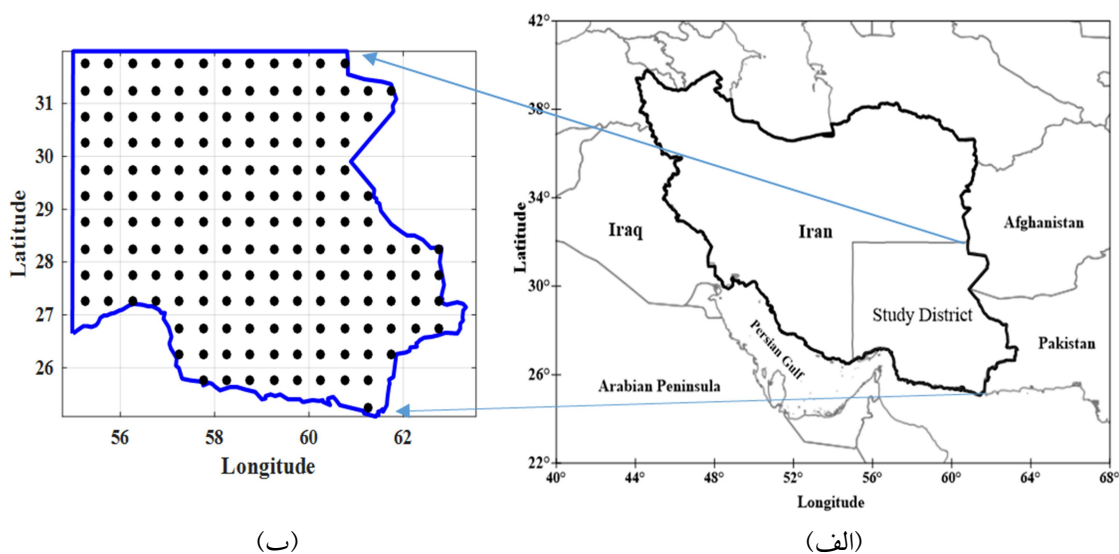
۲۰ تا ۷۰ درجه شمالی و صفر تا ۷۰ درجه شرقی با تفکیک مکانی ۲/۵ درجه قوسی برای طبقه‌بندی تیپ‌های گردشی روزانه جو استخراج شده‌اند. این پایگاه داده با آرایش $HGT500_{6668 \times 609}$ ایجاد و مبنای پردازش‌های بعدی قرار دارد. دوره دسامبر تا مارس نماینده رژیم بارش غالب گستره ایران، به‌ویژه مناطق فراخشک و خشک مرکزی و جنوب‌شرقی می‌باشد که بیشینه بارش آن به‌شدت با الگوهای گردشی جو بزرگ مقیاس پیوند خورده است. شایان ذکر است این منطقه شامل یک‌چهارم گستره ایران است که در چارچوب منتهی‌الیه مرزهای جنوبی تا 32° شمالی و 55° شرقی تا منتهی‌الیه مرزهای شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). این بخش از ایران دارای توپوگرافی متنوعی از بیابان لوت و چاله جازموریان با کمینه ارتفاع چندصد متر تا ارتفاعات مرکزی به مانند هزار و لاله‌زار و ارتفاعات جنوب‌شرقی مانند تفتان و بزمان با بیشینه ارتفاع ۴۴۶۵ متر می‌باشد.

۲-۲. روش‌شناسی

۲-۲-۱. تحلیل مؤلفه اصلی

رویکردهای تحلیل چندمتغیره محدود به یک روش خاص نیست. علاوه بر تنوع روش‌های تحلیل چندمتغیره و چالش‌گزینش روش بهینه، انبوهی از تصمیمات درون‌سو وجود

دارد که اثر چشمگیری بر خروجی این روش‌ها می‌گذارد. شناخته‌شده‌ترین تحلیل‌های چندمتغیره شامل تحلیل عاملی عمومی (CFA)، تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و توابع متعامد تجربی (EOF) هستند. هدف هر سه نوع تحلیل، شناسایی ساختار زیربنایی داده‌های چندبُعدی از طریق استخراج مقادیر ویژه و بردارهای ویژه از ماتریس پراکنش می‌باشد. اقلیم‌شناسان، رویکرد تحلیل مؤلفه اصلی را مناسب‌تر می‌دانند. در به‌کارگیری روش‌های تحلیل چندمتغیره (بردارهای ویژه) بر روی داده‌های اقلیمی با سه مقوله متغیر جوی، زمان و مکان مواجه هستیم. عمدتاً، محقق یکی از این مقولات را ثابت و دو مقوله دیگر را متغیر در نظر می‌گیرد که به این ترتیب شش حالت تجزیه (O, P, Q, R, S, T) پیش می‌آید. در مطالعات مکانی عمدتاً از حالت‌های T, S و R استفاده می‌شود. در این بررسی از حالت S استفاده می‌شود. در این حالت تجزیه، متغیر مورد نظر ($SPEI01$ یا $HGT500$) بر روی نقاط شبکه قرار داشته و بدین ترتیب، مکان‌ها (ایستگاه) برپایه هم‌وردایی زمانی یک متغیر معین، گروه‌بندی می‌شوند. در مرحله بعد، داده‌ها استانداردسازی شده و از حالت عادی خارج می‌شوند. پس از انتخاب داده‌ها و آماده‌سازی ماتریس مشاهدات (حالت تجزیه)، بایستی ماتریس پراکنش را انتخاب کرد.



شکل ۱. موقعیت منطقه جنوب شرق ایران (الف) و موقعیت پخته‌های شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تفرق (ب).

(Parallel analysis)، مادام که مقادیر ویژه (واقعی) بزرگ‌تر از مقادیر ویژه متناظر در نمرات تصادفی باشد، آن مؤلفه حفظ می‌شود. بر اساس معیارهای فوق، تعداد سه مؤلفه از داده‌های SPEI01 و تعداد ۵ مؤلفه از داده‌های HGT500 به ترتیب با ۸۸ و ۷۲ درصد پراش تجمعی کل به‌عنوان مؤلفه‌های نهایی برای تحلیل‌های بعدی انتخاب شده‌اند.

تحلیل مؤلفه اصلی در مواردی به‌عنوان یک تحلیل نهایی به شمار می‌رود. به‌عنوان مثال، زمانی که قرار است مکان‌ها (ایستگاه‌ها) بر اساس هم‌وردایی زمانی یک متغیر معین طبقه‌بندی شود که عمدتاً با حالت تجزیه S ممکن می‌شود. در این موارد، مرزبندی مناطق برپایه قانون بیشینه بارگوییۀ مؤلفه‌های انتخابی انجام می‌گیرد (رضیعی، ۲۰۱۸b). بر این اساس هر مکان به مؤلفه‌ای تعلق می‌گیرد که بیشترین بار را روی آن داشته باشد. بنابراین، ماتریس بارها، به‌عنوان یکی از خروجی‌های تحلیل مؤلفه اصلی، اساس مرزبندی مناطق همگن قرار می‌گیرد. در این بررسی، تحلیل مؤلفه اصلی به‌عنوان یک تحلیل نهایی برای داده‌های SPEI01 به‌شمار می‌رود.

۲-۲-۲. تحلیل خوشه‌ای

در بسیاری از موارد، تحلیل مؤلفه اصلی به‌عنوان یک پردازشگر برای تحلیل‌های بعدی عمل می‌کند. در چنین مواردی، هدف از انجام تحلیل مؤلفه اصلی، کاهش بُعد داده‌ها با حفظ همزمان اطلاعات مهم است. در مطالعات طبقه‌بندی الگوهای گردشی جو، عمدتاً از تحلیل خوشه‌ای به‌عنوان تحلیل بعد از تحلیل مؤلفه اصلی استفاده می‌شود. در این حالت، ماتریس نمرات مؤلفه‌هایی نهایی، به‌عنوان ورودی تحلیل خوشه‌ای برای هدف نهایی لحاظ می‌شود. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به رویکردهای سلسله‌مراتبی و غیر سلسله‌مراتبی تقسیم می‌شود. در این بررسی از یک روش غیر سلسله‌مراتبی موسوم به k-means (هایر و همکاران، ۱۹۹۸؛ رومرو و همکاران،

ماتریس‌های همبستگی، همپراش یا کواریانس و ماتریس ضرب داخلی از جمله ماتریس‌های پراکنش می‌باشند. در این بررسی از ماتریس همبستگی استفاده شده که قادر است به بهترین نحو توزیع واریانس در مجموعه داده‌ها (باری و کارلتون، ۲۰۰۱) را نمایش و الگوهای همبستگی فضایی را بدون تأثیرپذیری از واریانس‌های بیشینه نقاط شبکه (جولیف، ۱۹۸۶) تشخیص دهد. بنابراین، یک تحلیل مؤلفه اصلی با حالت ماتریس تجزیه S بر روی ماتریس پراکنش همبستگی (به‌عنوان نمونه SPEI01 زمستانه) با دوران متعامد واریماکس، برای شناسایی مدهای تغییرپذیری دوره‌های تر و خشک زمستانه در جنوب شرق ایران اعمال می‌شود. دوران بردارهای ویژه به دو صورت عمود یا متعامد و دوران مایل یا غیرمتعامد صورت می‌گیرد. طرفداران دوران به تفسیرپذیری نتایج (مؤلفه‌های مبنا) توجه داشته و انجام دوران در مطالعات مکانی را لازم می‌دانند (ریچمن، ۱۹۸۶). در یک تحلیل مؤلفه اصلی، چند مؤلفه نخست غالباً بخش بزرگی از پراش داده‌ها را تبیین می‌کنند. تصمیم درباره انتخاب تعداد مؤلفه‌های نهایی توسط معیارهای مختلفی ممکن می‌شود. این معیارها به‌طور کلی به دو دسته آزمون‌های گرافیکی مانند آزمون پرتگاهی (کتل، ۱۹۹۶)، تحلیل موازی (تودروف و همکاران، ۲۰۱۸)، نورث (۱۹۸۲) و آزمون‌های غیرگرافیکی مانند درصد پراش تبیین‌شده و روش کایزر (کایزر، ۱۹۶۰) از جمله آنهاست. در این بررسی، از معیار متداول کایزر، آزمون پرتگاهی کتل و تحلیل موازی استفاده شده است. بر اساس معیار کایزر، تنها مؤلفه‌هایی انتخاب می‌شوند که مقدار ویژه آنها بالاتر از ۱ (یا ۱/۵) باشد. همچنین، چنان‌چه مؤلفه‌ای قادر به تبیین بیش از ۵ درصد پراش داده‌ها باشد، به‌عنوان مؤلفه نهایی انتخاب می‌شود. بر اساس معیار گرافیکی آزمون پرتگاهی، محلی که نمودار مقادیر ویژه متناظر با هر مؤلفه میل به خطی‌شدن می‌کند، نشانگر مرز بین مؤلفه‌های اصلی و غیراصلی است. در روش تحلیل موازی

آنها به عنوان گروه های بالقوه برای طبقه بندی الگوهای گردشی اتخاذ می شود. در این رویه جدید، هسته ها از طریق متوسط تمام روزهایی محاسبه می شوند که اصل نمرات فرین برای یک فاز و الگوی معین را برآورده می کنند. مشاهدات (روزها) با ارزش های بالا از نمرات عاملی برای یک مؤلفه معین (ارزش های بالاتر از ۲+ برای فازهای مثبت یا کمتر از ۲- برای فازهای منفی) و ارزش های پایین از نمرات عاملی برای بقیه (بین ۲- تا ۲+) انتخاب می شوند. روش نمرات فرین، تعداد گروه ها و هسته ها برای k-means را تعیین می کند (رضیعی و همکاران، ۱۳۸۹).

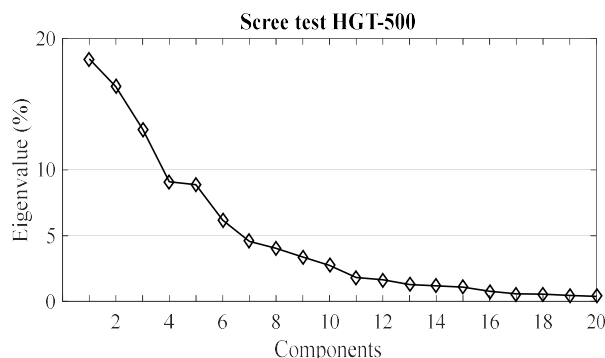
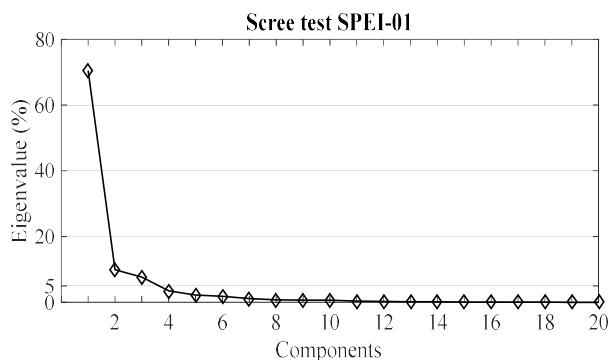
برای خوشه بندی مشاهدات نمرات مؤلفه ها استفاده می شود. این تکنیک همراه معمولاً برای طبقه بندی الگوهای گردشی جو استفاده می شود (کورتی رنال و همکاران، ۱۹۹۸). مهم ترین تصمیم درون سویی در یک تحلیل خوشه ای، انتخاب تعداد گروه ها می باشد که اساساً توجه آن آسان نیست. یک رویکرد تصمیم گیری توسط استبان و همکاران (۲۰۰۵ و ۲۰۰۶) برای این منظور پیشنهاد شده است. در این رویکرد، تصمیم درباره تعداد گروه ها و هسته های مورد نیاز برای طبقه بندی از طریق الگوهای تغییرات فضایی از بارهای چرخش داده شده، در فازهای مثبت و منفی

جدول ۱. مقادیر ویژه، پراش (واریانس) تبیین شده و تجمعی (درصد) مرتبط با ۱۰ مؤلفه نخست از داده های بدون دوران SPEI01 و HGT500

PC	SPEI-01			HGT-500		
	ارزش ویژه	درصد پراش تبیین شده (%)	درصد پراش تجمعی (%)	ارزش ویژه	درصد پراش تبیین شده (%)	درصد پراش تجمعی (%)
۱	۱۱۸/۳	۷۰/۴	۷۰/۴	۱۱۲/۳	۱۸/۴	۱۸/۴
۲	۱۶/۶	۹/۹	۸۰/۳	۹۹/۴	۱۶/۳	۳۴/۸
۳	۱۲/۹	۷/۶	۸۸/۰	۷۹/۷	۱۳/۱	۴۷/۹
۴	۵/۸	۳/۴	۹۱/۴	۵۵/۴	۹/۱	۵۶/۹
۵	۳/۷	۲/۲	۹۳/۷	۵۴/۰	۸/۹	۶۵/۸
۶	۳/۰	۱/۸	۹۵/۵	۳۷/۵	۶/۲	۷۲/۰
۷	۱/۹	۱/۱	۹۶/۶	۲۷/۸	۴/۶	۷۶/۶
۸	۱/۳	۰/۸	۹۷/۳	۲۴/۵	۴/۰	۸۰/۶
۹	۱/۱	۰/۶	۹۸/۰	۲۰/۶	۳/۴	۸۴/۰
۱۰	۱/۱	۰/۶	۹۸/۶	۱۶/۷	۰/۷	۸۶/۷

جدول ۲. مقادیر ویژه، پراش (واریانس) تبیین شده و تجمعی (درصد) مرتبط با مؤلفه های نهایی از داده های دوران یافته SPEI01 (سه مؤلفه و HGT500 (۶ مؤلفه)).

PC	SPEI-01			HGT-500		
	ارزش ویژه	درصد پراش تبیین شده (%)	درصد واریانس تجمعی (%)	ارزش ویژه	درصد پراش تبیین شده (%)	درصد پراش تجمعی (%)
۱	۸۰/۶۴	۳۸/۲۱	۳۸/۲۱	۱۰۲/۲۷	۱۶/۳۶	۱۶/۶۳
۲	۲۴/۸۴	۲۷/۹۰	۶۶/۱۰	۷۸/۱۳	۱۴/۶۷	۳۱/۰۳
۳	۲۰/۱۴	۲۱/۸۹	۸۸/۰	۷۴/۴۸	۱۳/۷۱	۴۴/۷۴
۴				۶۶/۹۸	۱۰/۵۶	۵۵/۳
۵				۵۹/۰۲	۹/۴۴	۶۴/۷۴
۶				۴۹/۳۵	۷/۲۶	۷۲/۰



شکل ۲. نمایش گرافیکی (آزمون اسکرای) مقادیر ویژه (درصد) ۲۰ مؤلفه نخست از داده‌های بدون دوران SPEI01 و HGT500.

بوده و افزایش فراوانی وقوع آن تیپ گردشی، احتمال کاهش بارش، خشکسالی و غلبه دوره خشک را تقویت می‌کند.

۴. یافته‌ها و بحث

۴-۱. وردایی زمانی-فضایی دوره‌های تر و خشک در جنوب شرق ایران

همان‌گونه که بیان شد، یک تحلیل مؤلفه اصلی با ماتریس تجزیه S بر روی داده‌های مقیاس یک ماهه از شاخص استاندارد-شده بارش-تبخیر و تعرق (SPEI01) اعمال شده است. بر اساس معیارهای گزینشی تعداد مؤلفه‌های نهایی، سه مؤلفه نخست با تبیین ۸۸ درصد پراش کل (جدول ۱)، برای بررسی وردایی زمانی-مکانی دوره‌های تر و خشک در جنوب شرق ایران انتخاب و جهت تفسیرپذیری نتایج، دوران متعامد واریماکس (جدول ۲) اعمال شده است. بر اساس قانون بارگویه بیشینه مؤلفه‌ها که نشانگر همبستگی بین SPEI01 و مؤلفه‌های نهایی است، منطقه مورد مطالعه به سه منطقه فرعی تقسیم شده است (شکل ۳). الگوی نخست، ۳۸/۲۱ درصد از پراش کُل را تبیین و قسمت‌های شمال و شمال غربی منطقه مورد مطالعه را به‌عنوان یک زیرمنطقه مشخص می‌کند. الگوی دوم، ۲۷/۹۰ درصد از پراش کُل را تبیین و یک زیرمنطقه در قسمت شرقی و جنوب شرقی را مشخص می‌کند. در

۳. ارتباط بین تیپ‌های گردشی جو و دوره‌های تر و خشک

ارتباط بین تیپ‌های گردشی جو روزانه و رویدادهای تر و خشک از طریق شاخص عملکرد (PI) استفاده شده است. شاخص مزبور، احتمال شرطی وقوع بارش در یک الگوی گردشی جو را تعریف می‌کند (ژانگ و همکاران، ۱۹۹۷). این شاخص، ارتباط هر تیپ گردشی جو در رخداد بارش را از طریق مقایسه میانگین بارش روزانه در یک تیپ گردشی جو (i) با میانگین روزانه اقلیمی بارش، کمی‌سازی می‌کند:

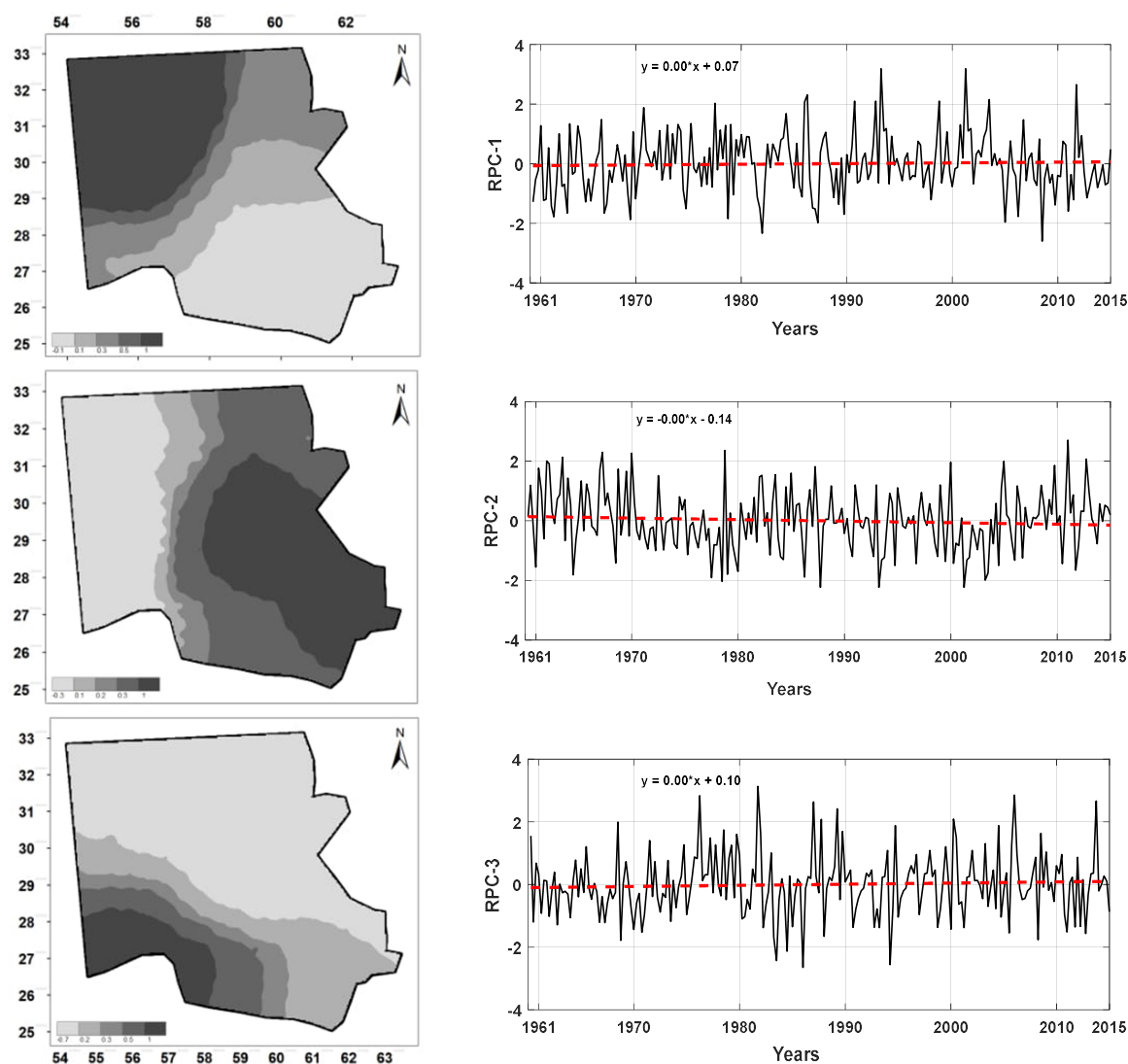
$$PI(i) = (R_i/n_i)/(R/n) \quad (1)$$

در اینجا، n_i تعداد روزهای تیپ گردشی (i)، R_i مقدار کُل بارش دریافتی در مجموع n_i و R مجموع بارش دریافتی در کل دوره از روزهای n (در بود و نبود تیپ گردشی i) است. واضح است که مقدار یک $PI(i)$ برای یک تیپ گردشی خاص (i)، سهم نسبی آن تیپ گردشی در کُل بارندگی را بیان می‌کند. بنابراین، یک $PI(i)$ خیلی فراتر از یک، نشان‌دهنده سهم مهم آن تیپ گردشی در کُل بارش می‌باشد و افزایش در فراوانی وقوع آن تیپ گردشی خاص، احتمال افزایش بارش، ترسالی و غلبه دوره مرطوب را افزایش می‌دهد. در حالت برعکس، یک $PI(i)$ خیلی کمتر از یک، بیانگر سهم ناچیز آن تیپ گردشی در بارش

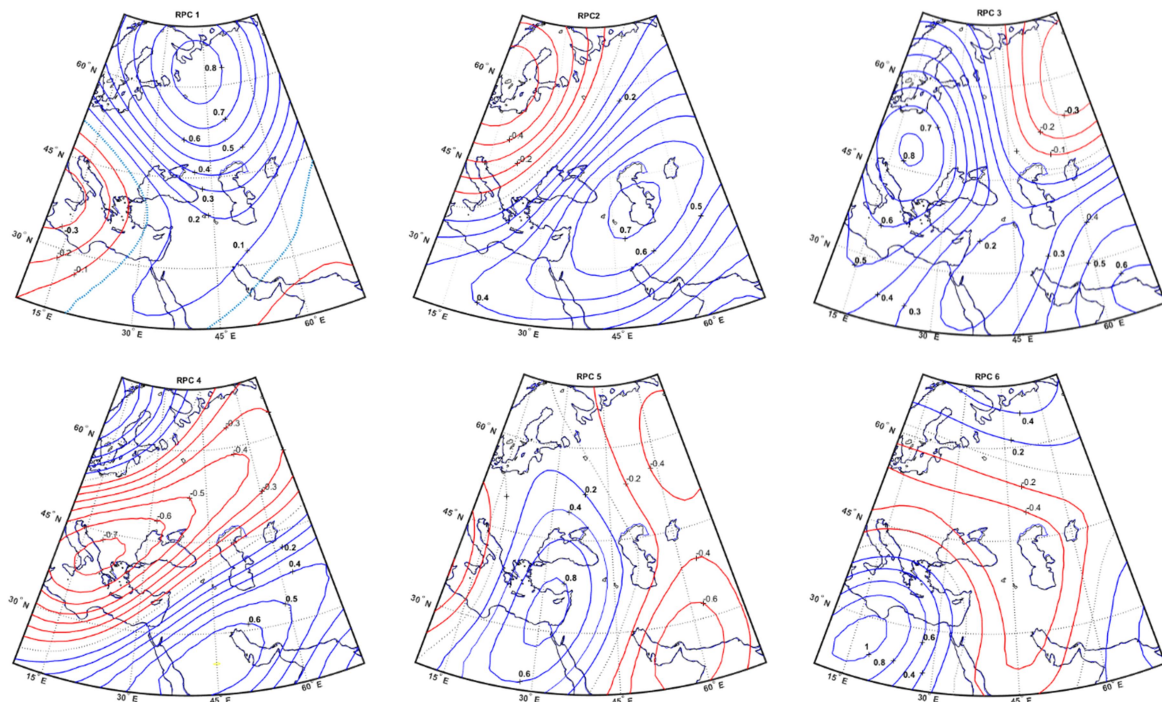
۴-۲. تیپ‌های گردشی تراز میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال)

بر اساس نتایج رویه‌های متنوع انتخاب مؤلفه‌هایی نهایی (جدول ۱ و ۲؛ شکل ۲)، شش مؤلفه با تبیین ۷۲ درصد پراش گُل از یک تحلیل مؤلفه اصلی بر روی داده‌های HGT500، برای تحلیل بعدی (تحلیل خوشه‌ای) انتخاب شدند. ساختار فضایی این مؤلفه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است.

نهایت، الگوی سوم، با تبیین ۲۱/۸۹ درصد از واریانس گُل، قسمت‌های جنوبی (ساحلی) منطقه مورد مطالعه را جدا می‌کند. نمرات استاندارد شده مؤلفه‌های مربوطه، تنوع زمانی معنی‌داری از SPEI01 را در مناطق فرعی نشان نمی‌دهند و نمرات آنها در حول و حوش میانگین بلندمدت در نوسان است. با این وجود، نمرات مؤلفه‌های ۱ و ۳ روند خطی ضعیف رو به بالا را نشان‌دهند، در حالی که نمرات مؤلفه ۲، روند خطی ضعیف رو به پایین را مشخص می‌کند (شکل ۳).



شکل ۳. الگوی بارهای عاملی دوران‌یافته (سه مؤلفه نخست) از شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق و سری زمانی نمرات استاندارد شده متناظر آنها.



شکل ۴. ساختار فضایی بارهای شش مؤلفه اصلی دوران یافته (واریمکس) از داده‌های HGT500.

مدیترانه قرار دارد. متعاقب آن، یک فراز بر روی بخش‌های مرکزی ایران شکل می‌گیرد. در این حالت، منطقه جنوب شرق زیر منطقه وزش چرخندگی منفی موج بادهای غربی قرار داشته و احتمال دریافت بارش آن ناچیز است. در مقابل، تیپ گردشی CT2- با فراز روی دریای مدیترانه و فرود روی بخش‌های مرکزی ایران مشخص است. تیپ گردشی CT3+، وضعیت کاملاً متفاوتی را نشان می‌دهد. یک پُراارتفاع بر روی شمال دریای سیاه و یک فرود مایل با محور شمال شرقی-جنوب غربی بر روی ایران مشخص است. در فاز منفی (CT3-)، یک مرکز کم ارتفاع بر روی شمال دریای سیاه مستقر است.

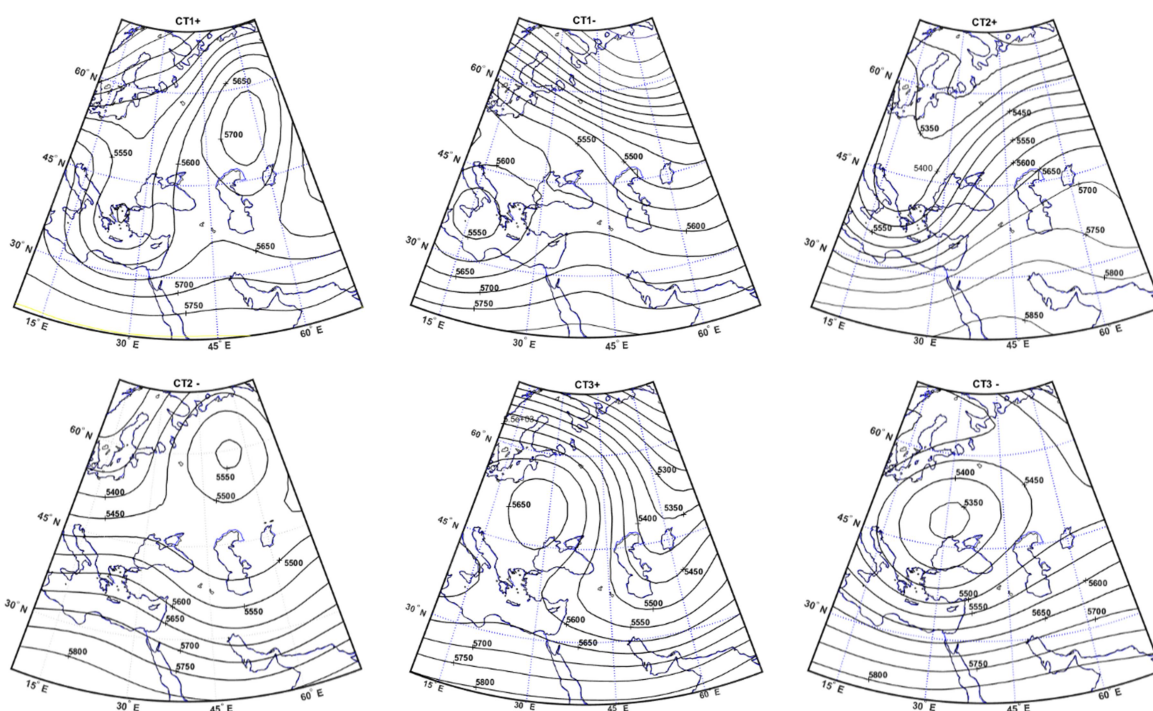
تیپ گردشی CT4+ با یک پُراارتفاع در روی دریای شمال و یک فرود با محور شمال شرقی-جنوب غربی بر روی بخش‌های غربی روسیه مشخص است. در مقابل، تیپ گردشی CT4- با یک تراف محدود در شرق مدیترانه مشخص است. در این شرایط، جهت جریان روی ایران و به‌ویژه بخش جنوب شرقی به مداری است. تیپ گردشی

در نهایت، تمام روزها (مشاهدات) بر اساس روش تحلیل خوشه‌ای غیرسلسله‌مراتبی k-means به ۱۲ گروه طبقه‌بندی شدند. مورفولوژی این تیپ‌های گردشی جو در شکل ۵ نشان داده شده است. تیپ گردشی CT1+ بیانگر یک فرود عمیق روی دریای مدیترانه و فراز عمیق روی دریای خزر است. متعاقب آن یک فرود با محور مایل شمال شرق-جنوب غرب بر روی نیمه شرقی ایران شکل می‌گیرد. در این حالت، نیمه غربی ایران در جلو محور فراز قرار داشته و جو پایدار دارد. در مقابل، نیمه شرقی و به‌ویژه جنوب شرقی ایران شرایط متفاوتی داشته و احتمال دریافت بارش زمستانه در آن بیشتر است. در مقابل، تیپ گردشی CT1- با یک کم ارتفاع بسته روی دریای مدیترانه، فراز و فرود ضعیف به ترتیب روی شبه جزیره عربستان و خلیج فارس مشخص می‌شود. تیپ گردشی CT2+ شرایطی تقریباً مشابه با CT1+ دارا می‌باشد. در این تیپ گردشی، فرود بسیار عمیق روی دریای مدیترانه شکل می‌گیرد که محور آن بر روی بخش‌های مرکزی دریای

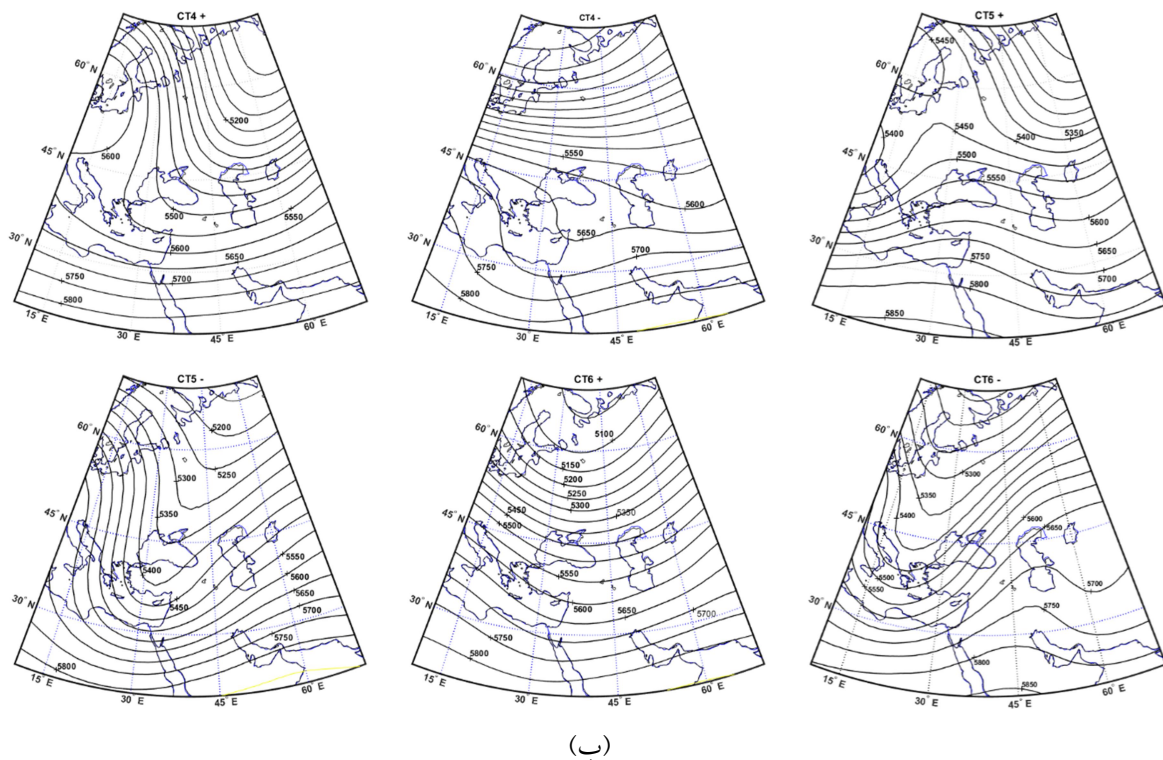
است.

به‌طور کلی، انتظار می‌رود می‌تپ‌های گردشی با جهت جریان جنوب‌غربی-شمال شرقی هوا در تراز میانی جو بر روی ایران با تراف‌های عمیق روی دریای مدیترانه و یا همراه با استقرار تراف روی مرکز ایران قادر به تولید بارش در منطقه جنوب-شرق ایران باشد. در غیر این‌صورت، جریان‌های باران‌زا محدود به نیمه غربی و دامنه‌های رو به باد زاگرس می‌شود. با این فرضیه، به نظر می‌رسد می‌تپ‌های مستعد بارش در جنوب شرق ایران شامل CT1+، CT2-، CT3+، CT5+ و CT5- باشند. این فرضیه با بهره‌گیری از داده‌های بارش چند ایستگاه در زیر منطقه‌های متفاوت SPEI01 بر پایه شاخص عملکرد (PI) بررسی شده است.

CT5+ با یک فراز روی بخش شرقی دریای مدیترانه و سیاه و یک فرود بر روی بخش شرقی ایران مشخص است. در مقابل، می‌تپ گردشی CT5- با یک تراف بسیار عمیق بر روی بخش شرقی دریای مدیترانه مشخص می‌شود. در این شرایط، گستره ایران در زیر منطقه جلویی فرود عمیق مدیترانه قرار داشته و الگوی غالب توجه بارندگی زمستانه ایران می‌باشد. یک تراف گسترده روی بخش‌های مرکزی ترکیه در می‌تپ گردشی CT6+ وجود دارد. در مقابل، یک تراف عمیق روی بخش‌های مرکزی و غربی دریای مدیترانه و فراز روی ایران با محور جنوب‌غربی-شمالی در می‌تپ گردشی CT6- نمایان است. احتمال دریافت بارش در جنوب شرق ایران در حاکمیت الگوی گردشی CT6- محتمل‌تر از CT6+ است.



(الف)



(ب)

شکل ۵. الگوهای گردشی جو روزانه از ارتفاع ژئوپتانسیل تراز میانی جو برپایه تکنیک تحلیل خوشه‌ای، الف) تیپ‌های ۱ تا ۳، ب) تیپ‌های ۴ تا ۶.

دوره‌های مرطوب در کل منطقه جنوب شرق دارند. تیپ گردشی CT2- یک سهم برجسته در بارش کل منطقه ساحلی یا جنوبی (ایستگاه بندرعباس) دارا می‌باشد. تیپ‌های گردشی CT3+ و CT5+ در هر سه زیرمنطقه دارای سهم غالب در بارش کل می‌باشند. با این تفاوت که سهم تیپ گردشی CT3+ در زیرمنطقه شمال و شمال غربی (ایستگاه کرمان) و سهم تیپ گردشی CT5+ در منطقه ساحلی (ایستگاه بندرعباس) غالب تر است. در مقابل، تیپ گردشی CT5- سهم برجسته‌ای در بارش کل زیرمنطقه شمال و شمال غربی (ایستگاه کرمان) دارد. تیپ‌های گردشی CT4 و CT6 در هر دو فاز (مثبت و منفی) نقش مهمی در بارش کل هیچ کدام از زیرمنطقه‌ها ندارند. با این وجود، سهم فاز مثبت از تیپ گردشی CT4 در مناطق ساحلی (ایستگاه بندرعباس) و شمال و شمال غرب (ایستگاه کرمان) و فاز منفی تیپ گردشی CT6 در منطقه جنوب و جنوب شرق (ایستگاه زاهدان) برجسته تر است.

به منظور بررسی روابط بین الگوهای گردشی جو روزانه و دوره‌های تر و خشک، پیوند بین فراوانی رخداد تیپ‌های گردشی و بارش روزانه با استفاده از شاخص عملکرد (PI) برای هریک از تیپ‌های گردشی در ایستگاه‌های نماینده بررسی شده است (جدول ۳). ایستگاه‌های بندرعباس، زاهدان و کرمان به ترتیب به عنوان نماینده منطقه جنوبی (ساحلی)، منطقه شرق و جنوب شرق و منطقه شمال و شمال غرب (شکل ۳) انتخاب شده‌اند. مقادیر بسیار کوچک تر از ۱ در شاخص عملکرد بیانگر دوره خشک و مقادیر بسیار بزرگ تر از ۱ بیانگر دوره مرطوب می‌باشند. طبق نتایج شاخص عملکرد، تیپ گردشی CT1+ سهم زیادی در تأمین بارش فراتر از میانگین ($PI > 1$) در منطقه شرق و جنوب شرق (ایستگاه زاهدان) دارد، در حالی که سهم ناچیز در تأمین بارش فراتر از میانگین در منطقه جنوب یا ساحلی (ایستگاه بندرعباس) و منطقه شمال و شمال غربی (ایستگاه کرمان) دارد. تیپ‌های گردشی CT1- و CT2+ سهم ناچیزی در ایجاد

جدول ۳. ارزش‌های شاخص عملکرد (PI) برای هریک از تیپ‌های گردشی و سهم نسبی (به درصد) آنها در مجموع بارش زمستان در ایستگاه‌های نماینده.

بندرعباس (ساحلی)		زاهدان (شرق و جنوب‌شرقی)		کرمان (شمال و شمال‌غربی)	
سهم نسبی (%)	PI	سهم نسبی (%)	PI	سهم نسبی (%)	PI
۴/۷۸	۰/۴	۲۲/۴	۱/۸۹	۲/۳	۰/۲
۴/۰۸	۰/۳	۱/۳	۰/۳	۳/۴	۰/۲۵
۳/۱۸	۰/۲۸	۳/۵	۰/۳	۵/۴	۰/۴۲
۱۷/۲۸	۲/۳	۹/۴	۱/۱	۱۲/۳	۱/۳
۱۴/۳۸	۱/۶	۱۳/۵	۱/۲	۱۶/۴	۱/۸
۸/۹۸	۰/۸	۵/۶	۰/۶	۶/۳	۰/۵۵
۶/۶۸	۰/۵	۲/۸	۰/۳	۵/۷	۰/۴۵
۱/۷۸	۰/۲	۱/۶	۰/۲	۴/۳	۰/۳
۱۶/۰۱	۱/۹	۲۰/۲	۱/۷	۱۳/۴	۱/۴
۱۱/۸۲	۱/۲	۷/۸	۰/۷	۱۹/۲	۲/۱
۷/۸۰	۰/۷	۴/۵	۰/۵	۶/۷	۰/۴
۳/۲۳	۰/۲	۷/۴	۰/۶	۴/۶	۰/۳

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه، رابطه بین انواع تیپ‌های گردشی جو بزرگ مقیاس با رخداد دوره‌های تر و خشک زمستانه در منطقه جنوب‌شرق ایران بررسی شده است. داده‌های شبکه‌ای مقیاس ماهانه از شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق و داده‌های میانگین روزانه میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی از داده‌های شبکه‌ای بازکوی شده NCEP-NCAR به ترتیب برای برای ارزیابی دوره‌های تر و خشک و تیپ‌های گردشی جو زمستانی ۱۹۶۰-۲۰۱۵ استفاده شده است. دوره‌های تر و خشک هواشناختی با اعمال توابع شرطی ($SPEI01 < -1.5$) و ($SPEI01 > 1.5$) از طریق شاخص یک ماهه ($SPEI01$) شناسایی شده‌اند. اجرای یک تحلیل مؤلفه اصلی بر روی ماتریس همبستگی از حالت تجزیه S داده‌های $SPEI01$ با دوران واریامکس، سه زیرمنطقه مستقل بر اساس قانون بارگویی بهینه شامل شمال-شمالی‌غربی، شرق-جنوب-

شرقی و زیرمنطقه جنوبی (ساحلی) شناسایی شدند. سه ایستگاه نماینده مناطق فرعی شامل کرمان (منطقه شمال-شمال‌غربی)، زاهدان (شرق-جنوب‌شرقی) و بندرعباس (جنوب) جهت اعتبارسنجی نتایج انتخاب شدند. علاوه بر آن، اجرای یک روش‌شناسی مشابه بر روی داده‌های میانگین روزانه میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و تحلیل خوشه‌ای غیرسلسله‌مراتبی K-means بر روی نمرات استاندارد شده مؤلفه‌های اصلی (۶ مؤلفه) با رویه نمرات فرین منجر به شناسایی تیپ‌های گردشی جو روزانه (۱۲ تیپ) شده است. مورفولوژی الگوهای گردشی جو روزانه بیانگر شرایط متفاوت الگوهای تراز میانی جو در دوره‌های تر و خشک در جنوب‌شرق ایران می‌باشند. ارتباط بین تیپ‌های گردشی جو روزانه با دوره‌های تر و خشک در منطقه جنوب‌شرق ایران با اعمال شاخص عملکرد (PI) بر روی داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های نماینده مناطق فرعی بررسی شده

ایران مشخص و سهم قابل ملاحظه‌ای در بارش کل منطقه فرعی ساحلی (ایستگاه بندرعباس) دارد. در این الگوی گردشی، یک پشته نسبتاً قوی در شمال دریای خزر به عنوان یک مانع جریان بادهای غربی عمل کرده و سبب دو شاخه شدن جریان می‌شود. هرچند بخش وسیعی از گستره ایران در نیمه غربی به دلیل قرارگیری در زیر منطقه چرخندگی منفی با جریان‌های شمالی غربی و جو پایدار مواجه می‌باشد، لیکن این شرایط برای بخش شرقی ایران متفاوت است. جهت جریان در نیمه شرقی ایران، جنوب غربی بوده و مناطق همجوار با منابع گسترده رطوبتی خلیج فارس و دریای عمان از پتانسیل بارش زیادی برخوردار می‌باشند.

تیپ گردشی CT3+، با یک پُرارتفاع بر روی شمال دریای سیاه و یک فرود مایل با محور شمال شرقی- جنوب غربی بر روی ایران مشخص و سهم قابل ملاحظه‌ای در بارش هر سه زیر منطقه در جنوب شرق دارا می‌باشد. در فاز منفی آن (CT3-)، الگوی گردشی از نوع بندال رکس بوده و با توجه به موقعیت شکل‌گیری آن نقش ناچیزی در بارش منطقه جنوب شرق دارد. تیپ گردشی CT4+ با یک پُرارتفاع در روی دریای شمال و یک فرود با محور شمال شرقی- جنوب غربی بر روی بخش‌های غربی روسیه مشخص است. هرچند در این الگو شرایط برای دریافت بارش در بخش‌های زیادی از ایران به ویژه بخش‌های شمالی و شمال غربی فراهم می‌باشد، لیکن در جنوب شرق ایران جریان مداری حاکم بوده امکان دریافت بارش فراتر از نرمال وجود ندارد. در مقابل، تیپ گردشی CT4- با یک تراف محدود در شرق مدیترانه مشخص است. در این شرایط، جهت جریان روی ایران و به ویژه بخش جنوب شرقی به مداری است. به همین دلیل این دو الگو بیشتر با رخداد دوره‌های خشک در منطقه جنوب شرق در پیوند هستند. تیپ گردشی CT5+ با یک فراز روی بخش شرقی دریای مدیترانه و سیاه و یک فرود بر روی بخش شرقی ایران و در مقابل، تیپ گردشی CT5- با یک تراف بسیار عمیق بر روی بخش شرقی

است. تیپ‌های گردشی مرطوب (بارش‌زا) و خشک به ترتیب با ارزش‌های شاخص عملکرد (PI) فراتر و پایین‌تر از یک مشخص می‌شوند.

طبق نتایج شاخص عملکرد، تیپ گردشی CT1+ با الگوی فرود و فراز عمیق به ترتیب روی دریای مدیترانه و دریای خزر و سپس یک فرود دیگر در شرق ایران، سهم زیادی در تأمین بارش فراتر از میانگین ($PI > 1$) در منطقه شرق و جنوب شرق (ایستگاه زاهدان) دارد، در حالی که سهم ناچیز در منطقه جنوب یا ساحلی (ایستگاه بندرعباس) و منطقه شمال و شمال غربی (ایستگاه کرمان) دارد. این مورفولوژی از الگوی گردشی جو یک آرایش بندال اُمگا می‌باشد این الگو در بخش‌های مرکزی و غربی گردش آنتی سیکلونی ایجاد کرده و جو آرام و بدون بارش را فراهم می‌کند. منطقه جنوب شرقی و به ویژه بخش شمالی آن در زیر قسمت‌های پیشین ناوه شرق ایران قرار داشته و بارش فراتر از نرمال را دریافت می‌کنند. عمق نسبتاً کم و محل محور این ناوه سبب تضعیف عملکرد آن در بخش‌های شمال-شمال غربی و بخش ساحلی منطقه مورد مطالعه می‌شود. فاز منفی این تیپ گردشی (CT1-)، با یک کم ارتفاع بسته روی دریای مدیترانه، فراز و فرود ضعیف به ترتیب روی شبه جزیره عربستان و خلیج فارس با دوره‌های خشک در کل منطقه جنوب شرق پیوند دارد. در این شرایط بادهای غربی از نیمه شمالی و غربی وارد گستره ایران شده و به دلیل کمبود محتوی رطوبتی دارای شرایط ایجاد بارش نمی‌باشند. تیپ گردشی CT2+ با مورفولوژی فرود عمیق روی دریای مدیترانه و فراز بر روی بخش‌های مرکزی ایران به مانند تیپ گردشی CT1- بیشتر با رخداد دوره‌های خشک در منطقه جنوب شرق در پیوند است. به دلیل دوری محل شکل‌گیری ناوه عمیق مدیترانه، میزان تأثیرگذاری آن بر بارش جنوب شرق ایران بسیار محدود است. به احتمال زیاد این الگو قادر به ایجاد شرایط بارشی در بخش‌های شمال غربی و غرب ایران باشد. در حالی که، فاز منفی این تیپ گردشی (CT2-)، با فراز روی دریای مدیترانه و فرود روی بخش‌های مرکزی

ف.، ۱۳۸۹، الگوهای روزانه گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی ایران و خاورمیانه، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۲(۴)، ۳۴-۱۷.

رضیئی، ط.، ۱۳۹۶، منطقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر و بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در سده بیستم، مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۳(۲)، ۴۳۹-۴۱۹.

شیراوند، ه.، اسعدی اسکویی، ا. و حسینی، س. ا.، ۱۳۹۹، واکاوری آماری و همدیدی سامانه بارشی منجر به سیلاب دی‌ماه ۱۳۹۸ در جنوب و جنوب‌شرق کشور، مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۳(۴۹)، ۱۶۲-۱۴۹.

مرادی، م. و رنجبر سعادت‌آبادی، ع.، ۱۳۹۹، بررسی همدیدی سیلاب سیستان و بلوچستان و برف سنگین گیلان در زمستان ۱۳۹۸، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۹(۳)، ۲۴۳-۲۲۷.

مفیدی، ع.، زرین، آ. و کارخانه، م.، ۱۳۹۳، بررسی الگوی گردش جو در طول دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۸(۱)، ۱۷۶-۱۴۰.

نظری‌پور، ح.، ۱۳۹۴، توسعه یک شاخص ترکیبی چندمتغیره بر پایه تحلیل مؤلفه اصلی برای ارزیابی خشک‌سالی‌های آب-هواشناختی در جنوب‌شرق ایران (مطالعه موردی: حوضه سد پیشین)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۴(۱۵)، ۹۱-۱۱۱.

دریای مدیترانه مشخص می‌شود. در این شرایط، گستره ایران در زیر منطقه جلویی فرود عمیق مدیترانه قرار داشته و الگوی غالب توجیه بارندگی زمستانه گُل ایران می‌باشد. سهم غالب الگوی CT5+ در زیرمنطقه ساحلی و الگوی CT5- در منطقه فرعی شمال-شمال‌غربی نمود دارد. تیپ گردشی CT6+ با تراف گسترده روی بخش‌های مرکزی ترکیه و فاز منفی آن (CT6-)، با فراز روی ایران مشخص می‌شود و هر دو نقش مهمی در بارش کل هیچ‌کدام از زیرمنطقه‌ها به مانند الگوی CT4+ و CT4- ندارند. یافته‌های این پژوهش با پژوهش‌های مرتبط از جمله رضیئی و همکاران (۱۳۸۹)، رضیئی و همکاران (۲۰۱۲) (الف و ب)، رضیئی و همکاران (۲۰۱۳) و سایر پژوهش‌های مرتبط مورد مقایسه قرار گرفته است. هرچند شباهت‌های زیادی در بخش الگوهای گردشی جو زمستانه به‌ویژه از لحاظ تعداد بین یافته‌های این پژوهش‌ها وجود دارد؛ منتها تفاوت‌های نیز مشاهده می‌شود. تفاوت‌ها عمدتاً در مورفولوژی الگوی‌های گردشی می‌باشد. منطقه جنوب‌شرق ایران به‌دلیل دوری از مسیر سامانه‌های بارش‌زای زمستانه، نیازمند برقراری شرایط خاص برای جوی برای رخداد بارش می‌باشد و برخی از الگوهای بارش‌زا در غرب و شمال‌غرب ایران در منطقه جنوب‌شرق عملکرد متفاوت دارند.

مراجع

- رضیئی، ط.، عزیزی، ق.، محمدی، ح. و خوش‌اخلاق، Corte-Real, J., Qian, B. and Xu, H., 1998, Regional climate change in Portugal: precipitation variability associated with large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 18(6), 619-635.
- Esteban, P., Jones, P.D., Martín-Vide, J. and Mases, M., 2005, Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra, Pyrenees. *International Journal of Climatology*, 25(3), 319-329.
- Esteban, P., Martín-Vide, J. and Mases, M., 2006, Daily atmospheric circulation catalogue for Western Europe using multivariate techniques. *International Journal of Climatology: A*
- Alijani, B., 2002, Variations of 500 hPa flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with the climate of Iran. *Theoretical and applied climatology*, 72(1), 41-54.
- Barry, R.G. and Carleton, A.M., 2001, *Synoptic and Dynamic Climatology*, Routledge: London.
- Birkeland, K.W. and Mock, C.J., 2001, The major snow avalanche cycle of February 1986 in the western United States. *Natural Hazards*, 24(1), 75-95.
- Cattell, R.B., 1966, The scree test for the number of factors. *Multivariate behavioral research*, 1(2), 245-276.

- Journal of the Royal Meteorological Society, 26(11), 1501-1515.
- Hair, JF., Anderson, RE., Tatham, RL. and Black, WC., 1998, *Multivariate Data Analysis*, 5th edn. Prentice-Hall International: Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Huth, R., 1996, An intercomparison of computer-assisted circulation classification methods. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 16(8), 893-922.
- Jolliffe, IT., 1986, *Principal Component Analysis*. Springer-Verlage: New York.
- Kaiser, H.F., 1960, The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and psychological measurement*, 20(1), 141-151.
- Khoshakhlagh, F., Oujii, R. and Jafarbeglou, M., 2008, A synoptic study on seasonal patterns of wet and dry spells in midwest of Iran. *Desert*, 13(2), 89-103.
- Kistler, R., Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Woollen, J., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M., Kousky, V., van den Dool, H., Jenne, R. and Fiorino, M., 2001, *The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation*, Bulletin of the American Meteorological Society, 82(2), 247-268. Retrieved Nov 19, 2022, from.
- Lana, X., Martínez, M.D., Burgueño, A., Serra, C., Martín-Vide, J. and Gómez, L., 2006, Distributions of long dry spells in the Iberian Peninsula, years 1951-1990. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(14), 1999-2021.
- Li, X., He, B., Quan, X., Liao, Z. and Bai, X., 2015, Use of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) to characterize the drying trend in southwest China from 1982-2012. *Remote Sensing*, 7(8), 10917-10937.
- Li, Z., Li, Y., Shi, X. and Li, J., 2017, The characteristics of wet and dry spells for the diverse climate in China. *Global and Planetary Change*, 149, 14-19.
- North, G.R., Bell, TL., Cahalan, RF. and Moeng, FJ., 1982, Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. *Monthly weather review*, 110(7), 699-706.
- Plaut, G., Schuepbach, E. and Doctor, M., 2001, Heavy precipitation events over a few Alpine sub-regions and the links with large-scale circulation, 1971-1995. *Climate Research*, 17(3), 285-302.
- Polong, F., Chen, H., Sun, S. and Ongoma, V., 2019, Temporal and spatial evolution of the standard precipitation evapotranspiration index (SPEI) in the Tana River Basin, Kenya. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(1), 777-792.
- Rahimi, J., Ebrahimpour, M. and Khalili, A., 2013, Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and applied climatology*, 112(3), 409-418.
- Raziei, T., Bordi, I., Pereira, LS., Corte-Real, J. and Santos, JA., 2012a, Relationship between daily atmospheric circulation types and winter dry/wet spells in western Iran. *International Journal of Climatology*, 32(7), 1056-1068.
- Raziei, T., Mofidi, A., Santos, J. A. and Bordi, I., 2012b, Spatial patterns and regimes of daily precipitation in Iran in relation to large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 32(8), 1226-1237.
- Raziei, T., Bordi, I., Santos, J. A. and Mofidi, A., 2013, Atmospheric circulation types and winter daily precipitation in Iran. *International Journal of Climatology*, 33(9), 2232-2246.
- Raziei, T., 2018a, An analysis of daily and monthly precipitation seasonality and regimes in Iran and the associated changes in 1951-2014. *Theoretical and applied climatology*, 134(3), 913-934.
- Raziei, T., 2018b, A precipitation regionalization and regime for Iran based on multivariate analysis. *Theoretical and applied climatology*, 131(3), 1429-1448.
- Richman, MB., 1986, Rotation of principal components. *Journal of Climatology*, 6, 293-335.
- Romero, R., Sumner, G., Ramis, C. and Genovés, A., 1999, A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 19(7), 765-785.
- Santos, JA., Corte-Real, J. and Leite, SM., 2005, Weather regimes and their connection to the winter rainfall in Portugal. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(1), 33-50.
- Singh, N. and Ranade, A., 2010, The wet and dry spells across India during 1951-2007. *Journal of Hydrometeorology*, 11(1), 26-45.
- Todorov, H., Fournier, D. and Gerber, S., 2018, Principal components analysis: theory and application to gene expression data analysis. *Genomics and Computational Biology*, 4(2), e100041-e100041.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. and López-Moreno, J. I., 2010, A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.

- Yarnal, B., Comrie, A. C., Frakes, B. and Brown, D. P., 2001, Developments and prospects in synoptic climatology. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(15), 1923-1950.
- Zhang, X., Wang, XL. and Corte-Real, J., 1997, On the relationships between daily circulation patterns and precipitation in Portugal. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D12), 13495-13507.

Atmospheric circulation types and winter extreme dry/wet spells in the southeast district of Iran

Vazirimehr, M.¹, Hamidianpour, M.^{2*}, Khosravi, M.³ and Nazaripour, H.⁴

1. M.Sc. Graduated, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

2. Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

3. Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

4. Assistant Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

(Received: 31 July 2021, Accepted: 4 Oct 2022)

Summary

In arid environments, extreme wet and dry periods are considered a serious threat to human societies. These periods affect the agricultural sector, transportation networks, vegetation, the environment, water resources, and the sustainability of human societies. Extra-arid and arid regions of southeastern Iran are good examples of an area affected by extreme climate events hazards, such as, floods and droughts. This study, to better understanding the causes and processes leading to extremely dry and wet episodes in southeastern Iran, investigates the space and time variability of winter dry/wet events and their associated large-scale atmospheric driving circulations. The data of this research are of two categories. Monthly gridded data from 1-month standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI01) and daily average geopotential field data of 500 hPa (HGT500) retrieved from NCEP/NCAR Reanalysis data over a period of 55 years (1960-2015) have been used to evaluate the dry and wet spells and circulation types (CTs) of winter atmosphere, respectively. December to March (DJFM) are selected as winter months and data for 55 winters are extracted through MATLAB programming facilities in the southeastern part of Iran. 168 gridpoints cover the southeastern part of Iran. The western and northern boundaries of the study area are bounded by the meridian 55 degrees east and 32 degrees north. Finally, a new database with the arrangement $SPEI01_{220 \times 168}$ was formed and became the basis for further processing. Of course, the database of the variable height of geopotential is different and has a matrix with dimensions $HGT500_{6668 \times 609}$. Extreme wet and dry periods have been identified based on SPEI01 values outside the range $[+1.5, -1.5]$, respectively. By applying the Principal Component Analysis (PCA) with Varimax rotation on S-mode analysis and correlation matrix of the SPEI01 field, three sub-regions of independent climatic variability are identified. Large-scale daily atmospheric circulation patterns are then classified into twelve circulation types (CTs) by applying PCA to the 500 hPa geopotential height fields and non-iterative K-means clustering technique to the retained PCA scores, followed by Esteban et al. (2005). The linkage between daily CTs and winter, dry/wet spells in the region are investigated by applying the performance index (PI) to the daily precipitation data of three representative stations of the identified sub-regions. Results show a significant relationship between the frequencies of occurrence of the identified CTs and of dry/wet spells at the three representative stations, in extra-arid and arid regions of southeastern Iran. 6 circulation patterns (CT) were identified for the study area, each of which has a negative phase and a positive phase, and a total of 12 patterns were identified. According to the results of the performance index, CT1+ pattern with deep Trough and ridge pattern on the Mediterranean Sea and the Caspian Sea, respectively, has a large share in providing above-average rainfall ($PI > 1$) in the east and southeast (Zahedan station). But this phase is related to the dry periods of the study area. Unlike the second type (CT2), its positive phase (+CT2) is associated with dry periods and its negative phase (-CT2) is associated with wet periods.

Keywords: PCA, atmospheric circulation patterns, K-means clustering, SPEI, PI.

* Corresponding author:

mhamidianpour@gep.usb.ac.ir