

بررسی تغییرات زمانی و مکانی کم فشار پاکستان

محمود خسروی*^۱، محسن حمیدیان پور^۲، صالح کردی تمین^۳

۱. دانشیار جغرافیای طبیعی - اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۲. استادیار جغرافیای طبیعی - اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، آب‌وهواشناسی کاربردی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

چکیده

کم‌فشار پاکستان یکی از سامانه‌های شبه دائمی مهم و تأثیرگذار در فصل گرم سال در جنوب آسیا است و به دلیل نقش آن در اقلیم تابستانی منطقه تحت نفوذ خود از اهمیت بالایی برخوردار است. در پژوهش حاضر به تحلیل تغییرات زمانی این کم‌فشار به روش سینوپتیک - آماری پرداخته شده است. در این مطالعه متوسط متغیر فشار تراز دریا طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۰ در محدوده مکانی ۶۲/۵ تا ۷۲/۵ درجه طول شرقی و ۲۲/۵ تا ۳۲/۵ درجه عرض شمالی مربوط به دوره‌ی گرم سال (ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر) از داده‌های شبکه‌ای ERA-Interim استخراج شده است. تغییرات زمانی کم‌فشار پاکستان به صورت سری زمانی سالانه و ماهانه فشار مرکزی کم‌فشار و همچنین ناهنجاری‌های دهه‌ای آن مبتنی بر فشار متوسط درازمدت بررسی شد. بدین منظور از آزمون ناپارامتریک من-کندال و شیب سن استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که فشار مرکزی این سامانه به‌طور متوسط ۹۹۷/۳۱ (ه.پ) است و بیشینه و کمینه فشار مرکزی این سامانه به ترتیب در سال ۱۹۸۴ و ۲۰۱۵ با فشار مرکزی ۹۹۶ (ه.پ) و ۹۹۹ (ه.پ) رخ داده است. به لحاظ فشار مرکزی سامانه در مقیاس سالانه از روندی افزایشی برخوردار بوده و این شرایط در مقیاس ماهانه برای ماه‌های ژوئن و اوت نیز قابل مشاهده است. هرچند که این روند سطح معنی‌داری کمتر از ۹۰ درصد را به خود اختصاص داده است. بررسی ناهنجاری‌های دهه‌ای فشار مرکزی سامانه بیانگر این مطلب است که فشار مرکزی این سامانه در دو دهه‌ی اول نسبت به متوسط درازمدت کاهش یافته و در دهه‌ی سوم و پنج سال پایانی بر میزان فشار مرکزی این سامانه افزوده شده است. از دیگر نتایج این مطالعه این است که کم‌فشار پاکستان یک سامانه‌ی دوقطبی با هسته قوی در شرق پاکستان (دره سند) و هسته فرعی ضعیف‌تر بر روی دشت مارگو (جنوب غرب افغانستان) است. در نهایت فشار مرکزی کم‌فشار پاکستان طی بازه‌ی زمانی مورد مطالعه افزایش داشته، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سامانه با شیب ملایمی رو به تضعیف است.

واژگان کلیدی: کم‌فشار، ناهنجاری، جنوب شرق ایران، موسمی، تحلیل روند

مقدمه

است در این خصوص می‌توان به مطالعه اقبال و جاوید^۱ (۲۰۰۸) اشاره داشت؛ در واقع آن‌ها به بررسی و مدل‌سازی تأثیر اقیانوس هند بر بارش‌های موسمی در پاکستان پرداختند نتایج نشان داد که شانس رسیدن سامانه‌های موسمی باران‌زا به پاکستان در صورتی میسر خواهد بود که شدت و بزرگی کم‌فشار پاکستان در حدی باشد که بتواند رطوبت کافی به سامانه موسمی از سمت شرق وارد نماید. فیصل^۲ و همکاران (۲۰۱۳)، سومین موسمی فعال پاکستان را در سال ۲۰۱۲ مورد بررسی و تحلیل قرار دادند و دریافتند که فعالیت سامانه‌ی کم‌فشار پاکستان نقش به‌سزایی در ایجاد و گسترش یکی از قوی‌ترین موسمی‌ها بعد از موسمی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ داشته است. در ایران نیز مطالعات متعددی بر نقش کم‌فشار پاکستان بر روی اقلیم جنوب شرق ایران انجام گرفته است. علیجانی و همکاران (۱۳۹۰)، به منظور درک سازوکار حاکم بر وقوع بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران الگوهای گردش جوی را در ماه جولای ۱۹۹۴ مورد واکاوی قرار دادند، نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که پراکندگی ماهانه و سالانه بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران با تغییرات شدت موسمی روی شبه‌قاره هند ارتباط نزدیکی دارد. با توجه هم‌زمانی عملکرد کم‌فشار پاکستان با پرفشار جنب حاره در ترازهای بالای جو بنابراین نقش این سامانه در جنوب شرق ایران کاهش می‌یابد چرا که سامانه پرفشار جنب حاره یک سامانه‌ی پوششی بوده و اجازه صعود و نفوذ به ترازهای بالای جو و در نهایت ایجاد بارش نمی‌دهد. اما در صورتی که سامانه‌ی پرفشار جنب حاره به سمت عرض‌های بالاتر حرکت نماید. سامانه‌های موسمی و کم‌فشار پاکستان به عنوان یکی از زبانه‌های آن اجازه نفوذ بیشتر به درون کشور می‌یابد و حتی قادر به ریزش بارش به نیمه‌های داخلی کشور شود (علیجانی، ۱۳۷۱؛ سلیقه، ۱۳۸۵) همچنین مطالعات متعددی به بررسی ارتباط کم‌فشار پاکستان با باد سیستان پرداخته‌اند (حسین‌زاده، ۱۳۷۶) به بیانی بین سرعت باد در ایستگاه زابل و فشار سطح دریا رابطه وجود دارد. در واقع شروع و تشکیل کم‌فشار پاکستان با شروع سرعت‌های بالای باد در اوایل خردادماه همراه

نقشه‌های هم‌دید بلندمدت مربوط به فشار تراز دریا، حضور یک سامانه کم‌فشار نیمه پایای قوی در فصل گرم سال روی مناطق شبه‌جزیره هندوستان، جنوب افغانستان، پاکستان و فلات مرکزی ایران را نشان می‌دهد این سامانه به کم‌فشار (گنگ یا پاکستان) مشهور است. کم‌فشار مذکور یک کم‌فشار حرارتی است که بر روی حوضه‌ی سند در پاکستان در اثر ورود انرژی تابشی خورشید در روزهای بی‌ابر ماه‌های می و ژوئن ایجاد می‌شود. چون گرمایش روزانه زمین بیشتر از تابش شبانه آن است، این کم‌فشار حرارتی به صورت یک سامانه تابستانی همیشگی درآمده است (بوشر، ۱۹۷۵، ۱۳۲؛ کاویانی و علیجانی ۱۳۷۸، ۱۹۲). ضخامت متوسط این کم‌فشار حدود سه کیلومتر می‌باشد (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۶، ۱۸). در صورت وجود شرایط زیر این کم‌فشار همچنان به صورت فعال در منطقه باقی می‌ماند و از بین نمی‌رود:

۱- در سطح زمین باید هوای کاملاً خشک وجود داشته باشد، در غیر این صورت به علت صعود هوای گرم و مرطوب، ابر ایجاد خواهد شد. وجود ابر جذب مقدار انرژی حرارتی روزانه را کاهش می‌دهد و در نتیجه دمای هوا کاهش می‌یابد. برخلاف نزدیک بودن به دریای عرب، هوای منطقه مرطوب نمی‌شود؛

۲- چنانچه هوای سطح زمین بر اثر فرآیند همرفتی تا ارتفاع زیاد صعود کند، سرانجام بخار آب موجود در توده هوا سرد و میعان شده، ابر تشکیل می‌شود، اما وجود یک‌لایه وارونگی در ارتفاع دو کیلومتری مانع بالا رفتن هوا تا ارتفاع زیاد می‌شود. بالاتر از این ارتفاع، فرونشینی هوا از مرکز پرفشار جنب حاره در وردسپهر میانی سبب واگرایی هوای گرم و خشک می‌گردد. در نتیجه اگر هر نوع ابری هم وجود داشته باشد خیلی سریع در این هوا، گرم و کاملاً تبخیر شده، از بین می‌رود (بوشر، ۱۳۷۳: ۱۳۲).

کم‌فشار گرمایشی پاکستان در نیمه گرم سال یکی از مهم‌ترین سامانه‌های تأثیرگذار بر اقلیم منطقه پاکستان، شمال غربی هندوستان، جنوب غرب افغانستان و جنوب شرق و شرق ایران است. لذا مطالعاتی گسترده‌ای بر نقش این سامانه بر دیگر پارامترها و پدیده‌های اقلیمی پرداخته شده

1. Iqbal and Jawaid

2. Faisal

ایران پرداختند، در این پژوهش داده‌های دمای آب بر اساس میانگین‌گیری از چهار نقطه استخراج گردید، دوره‌های گرم، سرد و نرمال برای آن‌ها تعریف شده و برای سه ایستگاه ساحلی چابهار، جاسک و بندرعباس مورد استفاده گردید. نتایج نشان داد وقوع شرایط گرم (سرد) در دمای سطح آب دریای عمان در فصل بهار با کاهش (افزایش) بارندگی در فصل‌های پاییز و زمستان ایستگاه‌های مورد نظر همراه بوده است. خسروی و همکاران (۱۳۹۲)، نقش خلیج فارس در وضعیت اقلیمی کشور را مورد بررسی قرار دادند و کم‌فشار پاکستان را به عنوان یکی از سامانه‌های مؤثر در بارش‌های رگباری معرفی نمودند. در فصل تابستان در زمان تشکیل کم‌فشار موسمی، این سامانه هم‌زمان به سمت غرب حرکت می‌کند و در صورت تقویت آن متناسب با میزان رطوبت و شدت آن‌ها از جانب جنوب‌شرق وارد کشور می‌شود. در این شرایط سامانه‌های فوق با کسب رطوبت از روی خلیج فارس (از تنگه هرمز تا خوزستان) وارد کشور شده و ایجاد بارش‌های تابستانه می‌کند. تحلیل ترمودینامیکی و هم‌دیدگی بارش رگباری در خراسان رضوی در تاریخ ۸۸/۶/۲۴ نشان داد که این رگبار در اثر حرکت رو به شمال و شرق پرفشار آزور، و عقب‌نشینی شاخه جنوبی آن در اثر عمیق شدن ناوهای کم‌فشار قطبی و همچنین اندرکنش با کم‌فشار پاکستان موجب ایجاد ناپایداری و رگبار شده است، همچنین با توجه به نقشه‌های تراز دریا زبانه‌های کم‌فشار پاکستان با توجه به حرکت شمال سو و رو به شرق پرفشار آزور تا غرب دریای خزر و جنوب دریای سیاه تا مدار ۴۵ درجه کشیده شده است (دستجردی و علیزاده، ۱۳۸۹). علاوه بر مطالعات مذکور در بالا که بیشتر بر نقش این سامانه بر عناصر اقلیمی یک گستره‌ی جغرافیایی پرداختند؛ مطالعات معدودی به صورت ویژه بر ماهیت و ساختار این سامانه پرداخته‌اند. اسپنگلر و اسمیت^۲ (۲۰۰۸)، کم‌فشار روی پاکستان و شمال غرب هند را به عنوان عمیق‌ترین کم‌فشار در مناطق استوایی جهانی که در طول بهار و تابستان فعالیت می‌کند معرفی کردند که یک عنصر کلیدی از جریان موسمی تابستانه جنوب آسیا است. زمان فعالیت آن در

است و هنگامی که در اواخر تیرماه کم‌فشار پاکستان به حداقل فشار در مرکز خود (۹۹۴ ه.پ.) می‌رسد، متوسط روزانه سرعت باد در زابل به بیشینه خود (۲۴ گره) می‌رسد. در اواخر شهریور هنگامی که مرکز کم‌فشار پاکستان به حداکثر فشار می‌رسد سرعت باد به سرعت کاهش می‌یابد (گندم‌کار، ۱۳۸۸). همچنین با افزایش شیو حرارتی و شیو وافشاری بر اثر توسعه زبانه کم‌فشار موسمی و زبانه تراف بادهای غربی با افزایش شدت بادهای صدویست روزه در منطقه همراه است (سلیقه، ۱۳۸۹). نتایج بررسی مفیدی و همکاران (۱۳۹۱)، نشان می‌دهد جابجایی جنوب سوی پرفشار ترکمنستان با افزایش شیو افقی فشار بین مرکز پرفشار ترکمنستان و کم‌فشار پاکستان همراه شده و در نهایت به تقویت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و رخداد پدیده گردوغبار در منطقه پدیدار می‌شود. در سال‌های اخیر نیز مطالعات دیگری بر نقش سامانه‌ی کم‌فشار پاکستان و همچنین سامانه‌های محلی تر آن با عنوان کم‌فشار سیستان اشاره داشته‌اند. کم‌فشار پاکستان هسته‌ی فرعی کم‌فشار پاکستان در طی فصول گرم سال بر روی دشت سیستان است (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۹۵ الف و ب). زولجودی (۲۰۱۵)، پژوهشی به نام مطالعه الگوهای فشار سطح دریا و باد و انتقال ویژگی‌های هوا بر شرق میانه و منطقه خلیج فارس در طول بهار را به انجام رسانید. این پژوهش سعی در نمایش ارتباط باد با کم‌فشار پاکستان می‌باشد؛ نتایج نشان داد که بیشینه‌ی سرعت باد در منطقه در سطح ۵۰۰ ه.پ) در بهار اتفاق می‌افتد. همچنین بالاترین سرعت باد در منطقه خلیج فارس با سرعت ۵ تا ۷ متر بر ثانیه است؛ که هم‌زمان با گسترش غرب سو و اوج فعالیت کم‌فشار پاکستان همراه است. آحسن^۱ و همکاران (۲۰۱۴)، از کم‌فشار مستقر در سامانه موسمی در پژوهش باران‌های سامانه موسمی آب‌وهوا و ارتباط آن با بارش نواحی آسیای جنوبی به عنوان یکی از اجزای موسمی و سامانه نیمه دائمی موسمی نام برده است. خسروی و همکاران (۱۳۸۹)، به مطالعه بررسی تأثیر ناهنجاری‌های دمای سطح دریای عمان بر بارندگی فصول پاییز و زمستان سواحل جنوب شرقی

دارای منشأ پویشی نیز باشد. آن‌ها بر این باور هستند که اگر سامانه مذکور فقط یک سامانه‌ی حرارتی است به چه دلیل در ماه جولای که نسبت به ماه ژوئن از دمای بالاتری برخوردار است ولی کم فشار پاکستان از فشار مرکزی کم‌تر (قوی‌تر) برخوردار است که این موضوع حرارتی بودن آن را به چالش می‌کشد. بوس^۳ (۲۰۱۴)، در زمینه‌ی درک توزیع جهانی شدیدترین کم فشارهای موسمی پژوهشی را به انجام رسانید. نتایج کار نشان داد کم فشارهای مستقر در گردش موسمی هند نقش مهمی در مقیاس قاره‌ای بر آب‌وهوای اقیانوس هند در فصل تابستان محلی دارد. همچنین بخش بزرگی از بارش‌ها همراه با گستردگی متنوع بادها در سطح زمین در قسمت‌های جنوب آسیا و استرالیا را مربوط به این سامانه کم فشار می‌داند. این سامانه‌های کم فشار به عنوان پیش‌ساز توفان در منطقه‌ی نقشی بسیار مهمی را ایفا می‌کند. سورلند و اسگیر^۴ (۲۰۱۵)، سامانه‌های کم فشار و بارش شدید در مرکز هند را مورد پژوهش قرار داد و به این نتیجه رسیدند که وقایع بارندگی‌های شدید در مرکز هند اغلب به عبور از مقیاس سینوپتیکی مربوط سامانه‌های موسمی کم فشار مربوط دانسته است.

بر اساس مطالعه و بررسی پژوهش‌های گذشته مشخص گردید که بیشتر مطالعات انجام‌شده بر میزان نقش و عملکرد کم فشار پاکستان در اقلیم منطقه و همچنین علت تشکیل این کم فشار متمرکز می‌باشد. اما در رابطه با بررسی تغییرات زمانی-مکانی خود این سیستم کم فشار مطالعه‌ای انجام نشده است، به طوری که این کم فشار دارای چه تغییراتی در بعد زمان در طی دوره آماری مشخص است؟ و تغییرات مکانی هسته آن در طول زمان چگونه بوده است؟ همچنین از نظر شدت در طی یک دوره زمانی دارای چه تغییراتی شده است؟ بر این اساس در این پژوهش با استفاده از داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی بالا مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های کوتاه مدت (ECMWF^۵) سعی در آن خواهد شد که سؤالات مطرح شده پاسخ داده شوند.

آوریل و می همراه با جریان باد تراز زیرین جنوب غربی بر فراز دریای عرب، یک ماه قبل از آغاز باران‌های موسمی بر روی غرب هند توسعه می‌یابد. ناپایداری‌های موسمی، تمامی آن‌هایی که بر روی خلیج بنگال شکل می‌گیرند از حرکت غرب سوی در سراسر شبه‌قاره هند برخوردارند و در نهایت با کم فشار پاکستان - هند ادغام می‌شوند. نوسانات فصل بهار این سیستم کم فشار با تغییرات بارش باران موسمی در تمام هند در ارتباط است. جانسون^۱ (۲۰۰۳)، در پی توصیف کم فشارهای گرمایشی بیان داشت که شرایط لازم برای چنین سامانه‌های عبارت است از نواحی با آسمان صاف، عدم پوشش گیاهی، و تبخیر که این ویژگی‌های اشاره به مناطق بیابانی همچون شمال و جنوب غربی آفریقا، جنوب غربی شمال آمریکا، مرکز اسپانیا، شمال غربی و شمال شرقی استرالیا، فلات تبت، عربستان سعودی، جنوب پاکستان و بیابان تاهار هند هستند. سرفراز (۲۰۰۷)، در پژوهشی به نام منشأ و تکامل کم فشار پاکستان بر این عقیده است که با توجه به تغییرات سایر مؤلفه جوی مانند نوسان جنوبی (ال‌نینو)، فشار بالا و واپرخند تبت می‌توان بر رفتار سال آینده بارش‌های موسمی و پیش‌بینی آن ابراز نظر کرد. شاید یکی از کامل‌ترین مطالعات در خصوص کم-فشار پاکستان مربوط به مطالعه بولاسینا و نیگام^۲ (۲۰۱۱) باشد آن‌ها در پژوهشی با عنوان منشأ و تحولات کم فشار تابستانی پاکستان و شمال غربی هند، به این نتیجه رسیدند که جریان کم فشار پاکستان - هند توسط دو نیروی منطقه‌ای و از راه دور تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در محدوده منطقه‌ای، اثرات کوه‌های هندوکش را نیرومندتر از تأثیر گرمایش سطحی زمین و حرارت محسوس دانستند. اثرات بر خواسته از عوامل راه دور که از جریان‌های همرفتی بر روی خلیج بنگال و شرق هند در ماه ژوئن و جولای سرچشمه می‌گیرند نیز مهم می‌باشند. تحلیل مشاهدات نشان‌دهنده عمق پیدا کردن قابل توجه سامانه‌ی کم فشار پاکستان-هند از ماه می تا ژوئن و عمیق‌تر شدن آن در جولای است. شایان به ذکر است که آن‌ها این سامانه را در آغاز شکل‌گیری یکی سامانه حرارتی می‌دانند؛ ولی معتقدند که این سامانه می‌تواند

3 - Boos

4 - Sorland and Asgeir

5 - European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF)

1 - Johnson

2 - Bollasina and Nigam

داده‌ها و روش‌شناسی

سامانه کم‌فشار پاکستان یکی از سامانه‌های مهم و تأثیرگذار بر اقلیم منطقه جنوب آسیا و همچنین جنوب شرقی ایران است که از اوایل می (اردیبهشت) تا اواخر سپتامبر (شهریور) بروی قسمت‌های اعظمی از کشورهای هند، پاکستان و جنوب افغانستان تشکیل می‌گردد. در این پژوهش برای دستیابی به هدف مدنظر پژوهش یعنی بررسی تغییرات زمانی فشار مرکزی سامانه کم‌فشار پاکستان، داده‌های بازگویی مربوط به پایگاه داده ECMWF نسخه‌ی ERA-Interim با قدرت تفکیک مکانی ۱*۱ درجه استخراج شد. علت استفاده از پایگاه داده‌ی شبکه‌ای وضوح بالا به این سبب است که داده‌های مانند NCEP/NCAR دارای ماهیت کلان مقیاس بوده و ارائه دهنده یک دید کلی می‌باشند (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۹۵). از جمله داده‌های مورد استفاده عبارت است از فشار سطح دریا، برای دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۵ در گستره عرض جغرافیایی ۲۰ تا ۵۰ درجه شمالی و طول ۲۰ تا ۹۰ درجه شرقی برای ماه‌های گرم سال (ژوئیه تا سپتامبر) می‌باشند. البته به منظور استخراج فشار مرکزی سامانه مورد نظر گستره ۶۲/۵ تا ۷۲/۵ درجه طول جغرافیایی و ۲۲/۵ تا ۳۲/۵ درجه عرض جغرافیایی تعریف شده است. بدین منظور از اسکریپت نویسی در نرم‌افزار گرس بهره گرفته شده است. پس از استخراج کمینه فشار سطح دریا منطقه مورد مطالعه سری زمانی داده‌ها در دو مقیاس ماهانه و سالانه در محیط اکسل تهیه شده و با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و شیب سن اقدام به بررسی روند تغییرات این متغیر شد. ضمن اینکه تغییرات دهه‌ای این سامانه نیز مطالعه شد است. شایان به ذکر است که علاوه بر متغیر فشار تراز دریا از متغیرهای دیگر مانند ارتفاع ژئوپتانسیل (Hgt) در ترازهای ۸۵۰، ۷۵۰ و ۵۰۰ ه.پ. و همچنین دما نیز کمک گرفته شده است. در واقع قبل از بررسی تغییرات این سامانه به لحاظ زمانی باهدف شناخت کافی از این سامانه به بررسی همدید آن در ترازهای مختلف پرداخته شده است.

آزمون من-کندال یک آزمون ناپارامتریک است، به منظور آشکار کردن هرگونه روند یا جهش ناگهانی در رفتار یک سری زمانی می‌توان از آزمون گرافیکی و ناپارامتریک من‌کندال استفاده نمود (سویرز، ۱۹۹۰). ویژگی این روش در این است که سری زمانی نیاز به تبعیت از توزیع نرمال ندارند و همچنین مزیت دیگر این آزمون، عدم حساسیت به جهش‌های ناگهانی در اثر ناهمگنی سری زمانی است (جاگوس، ۲۰۰۶) در یک سری زمانی با طول n ($i=1,2,\dots,n$)، داده‌ها با رتبه‌هایشان، به ترتیب روند افزایشی، جایگزین خواهند شد. که برای اعداد $x_j < x_i$ به طوری که $j < i$ است شمرده می‌شود. برای هر x_i آماره U به روش آماره‌ی زیر محاسبه می‌گردد.

$$U = \frac{\sum t_i - E}{\sqrt{V}} \quad (۱) \text{ معادله}$$

که E و V به ترتیب برابر متوسط و واریانس سری می‌باشند.

$$E = \frac{n_i(n_i - 1)}{4} \quad (۲) \text{ معادله}$$

$$V = \frac{n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)}{72} \quad (۳) \text{ معادله}$$

دیگر مؤلفه مورد نیاز مقدار U' است که معادل عکس U می‌باشد:

$$U' = \frac{\sum t'_i - E'}{\sqrt{V'}} \quad (۴) \text{ معادله}$$

که E' و V' به ترتیب برابر متوسط و واریانس سری معکوس می‌باشند.

$$E' = \frac{n_i(n_i - 1)}{4} \quad (۵) \text{ معادله}$$

$$V' = \frac{n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)}{\sqrt{V'}} \quad (۶) \text{ معادله}$$

که N تعداد کل سری زمانی می‌باشد. پس از محاسبات بالا و ترسیم نمودارهای مربوط هرگاه روند معنی‌داری در داده‌ها وجود داشته باشد، خطوط منحنی U' و U همدیگر را قطع می‌کنند. اگر خطوط مذکور در داخل محدوده‌ی بحرانی ($\pm 1/96$) همدیگر را قطع کنند نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی و در صورتی که خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع کنند بیانگر وجود روند در سری‌های زمانی است (سویرز، ۱۹۹۰).

آزمون من‌کندال

تخمین گر شیب سن^۱

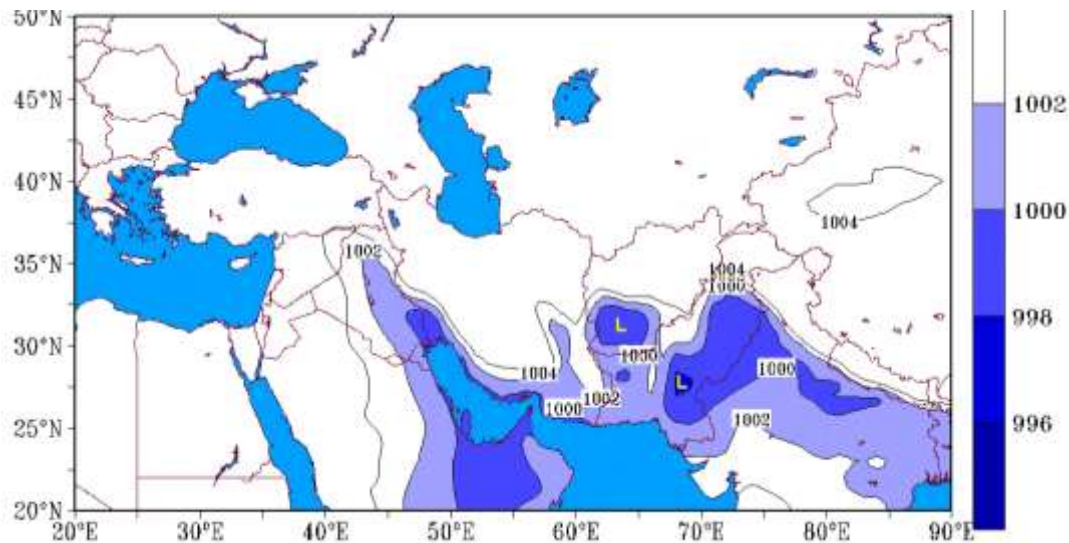
در صورت وجود روند خطی در سری زمانی، شیب خط این سری زمانی را می‌توان با استفاده از روش ساده و ناپارامتریک سن (۱۹۶۸) محاسبه نمود. روش سن جهت تخمین شیب خط روند (Q_i)، نخست می‌بایست شیب بین هر جفت داده‌ی مشاهداتی (N) را در طول زمان با استفاده از معادله زیر محاسبه نماید.

$$Q_i = \text{median} \left[\frac{x_j - x_k}{j - k} \right] \quad \text{for } j = 1, \dots, N$$

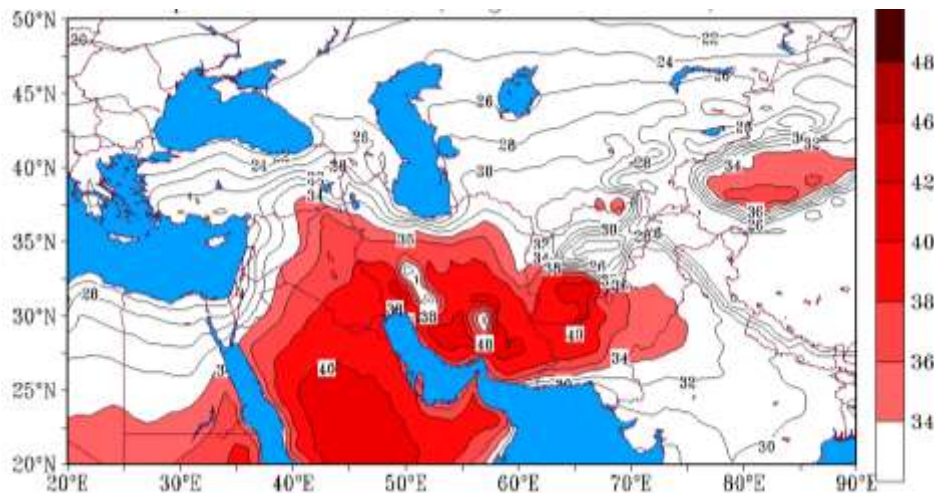
که Q_i شیب خط بین نقاط x_j و x_k می‌باشد و x_j و x_k به ترتیب مقادیر مشاهداتی در زمان‌های j و k هستند ($j > k$). میانه تخمین‌های شامل تخمین گر شیب سن است. مقادیر محاسبه شده مثبت نشان از روند افزایشی و مقادیر منفی نمایشگر روند کاهشی است (سن، ۱۹۶۸). جهت بررسی تغییرات ناهنجاری فشار سطح دریا شدت کم فشار پاکستان طی دوره با استفاده از نرم افزار گرس در بازه زمانی نقشه‌های میانگین ده‌ساله و میانگین بلندمدت از کل دوره‌ی آماری نقشه‌های مربوط رسم شده است. و برای هر دهه شدت تغییرات نسبت به میانگین کل رسم و مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

نتایج و بحث

بررسی نقشه‌های متوسط ۳۶ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۵) فشار سطح دریا طی دوره گرم سال (شکل ۱)، نمایش‌دهنده استقرار سامانه کم فشار با دو سلول بسته می‌باشد. سامانه کم فشار مذکور در طول دوره زمانی بیشتر کشور پاکستان را در برمی‌گیرد. مطابق با این نقشه دو هسته کم فشار پاکستان یکی بر روی منطقه شرق کشور پاکستان با فشار ۹۹۸ (ه.پ) سراسر شرق پاکستان را فراگرفته است و دیگری منطبق بر مناطق پست و کم ارتفاع بر روی جنوب غرب افغانستان و شمال غرب پاکستان با فشار مرکزی ۱۰۰۰ (ه.پ) قرار دارد. هر دو هسته شکل گرفته منطبق بر دمای بالا در حدود ۴۲ درجه سلسیوس در منطقه می‌باشند (شکل ۲).



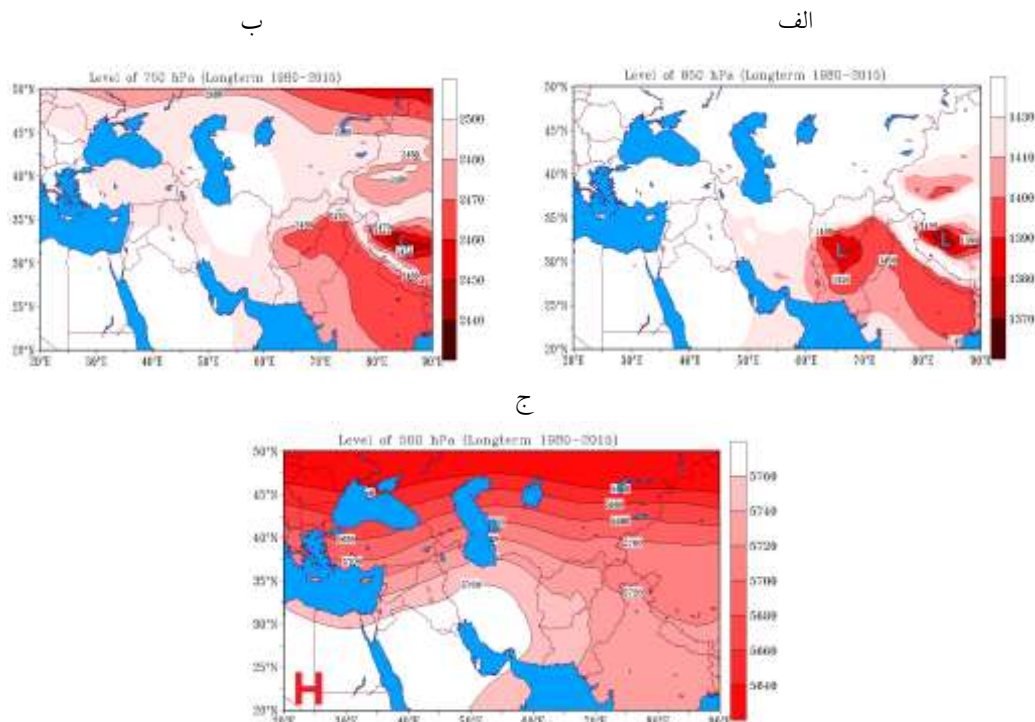
شکل ۱- متوسط فشار سطح دریا (ه. پ.) طی دوره ۳۶ ساله (۱۹۸۰ - ۲۰۱۵) برای ماه‌های (ژوئن تا سپتامبر). فاصله پربندها ۲ ه. پ. است. به منظور آشکارسازی و نمایش بهتر الگوی گردشی منطقه علاوه بر منحنی میزان‌ها سعی شده فشار مرکزی کمتر از ۱۰۰۰ (ه. پ.) را به صورت رنگی نمایش داده شود.



شکل ۲- متوسط دمای سطح دریا (سلسیوس) طی دوره ۳۶ ساله (۱۹۸۰ - ۲۰۱۵). برای دوره گرم سال.

پاکستان حداکثر تا تراز ۷۵۰ ه. پ. گسترش می‌یابد و بالاتر از آن گردش واپرخندی گسترده‌ای یعنی پرفشار جنب حاره جایگزین می‌گردد. شکل ۳ نمایشگر این شرایط می‌باشد.

همان‌طور که از پیشینه تحقیقاتی آشکار شده این سامانه یکی از ویژگی‌های دوره گرم سال است و معمولاً در اثر گرمایش شدید ترازهای زیرین جو به همراه فرونشینی دینامیکی هوا با منشأ موسمی غرب هند، بر روی منطقه جنوب پاکستان به وجود می‌آید (رمیچ، ۱۹۶۶). میزان تاوایی در مرکز این کم‌فشار بیش از ۰/۰۰۰۰۰۰۲۵ بر ثانیه است (سلیقه، ۱۳۹۵). بررسی متغیر ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای مختلف جو نشان‌دهنده آن است که گردش چرخندی در کم‌فشار

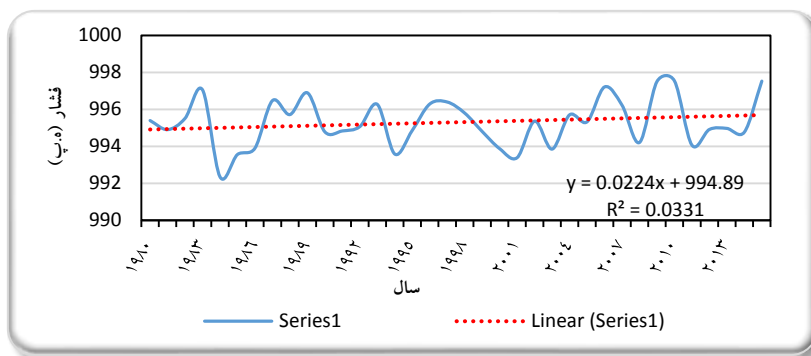


شکل ۳- نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل در سه تراز ارتفاعی ۸۵۰ ه.پ. (الف)، ۷۵۰ ه.پ. (ب) و ۵۰۰ ه.پ. (ج). سامانه‌ی کم‌فشار پاکستان تا تراز ۷۵۰ ه.پ. نمودی از خود دارد ولی در تراز ۵۰۰ ه.پ. دیگر نمایش داده نمی‌شود.

شکل (۴) سری زمانی ماهانه فشار مرکزی کم‌فشار پاکستان در ماه ژوئن طی دوره‌ی ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ را نمایش می‌دهد. همان‌طور که از شکل پیداست کم‌فشار مورد نظر از تغییرات و نوسانات برخوردار است. کم‌ترین فشار مرکزی مربوط به سال ۱۹۹۴ با حداقل فشار ۹۹۲/۳ (ه.پ) و بیشینه آن در سال ۲۰۱۰ با فشار مرکزی ۹۹۷/۵ (ه.پ) رخ داده است. شکل مذکور یک روند افزایش فشار مرکزی را برای این سامانه نمایش می‌دهد. تفسیر این موضوع بدین شکل است که در ماه ژوئن فشار مرکزی سامانه تضعیف شده است. شایان به ذکر است که سامانه‌ی کم‌فشار پاکستان در این زمان در شدیدترین حالت جوی خود می‌باشد. با توجه به جدول (۱) که ارائه دهنده نتایج آزمون من-کندال و شیب سن است. علی‌رغم کاهش میزان شدت کم‌فشار پاکستان در ماه ژوئن خصوصاً در سال‌های اخیر ولی به لحاظ آماری این کاهش شدت در هیچ‌یک از سطوح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

بررسی تغییرات ماهانه شدت کم‌فشار پاکستان

به‌منظور بررسی روند تغییرات زمانی و شدت فشار کم‌فشار پاکستان طی دوره آماری ۳۶ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۵) و تعیین جهت روند، نوع و زمان تغییرات از آزمون‌های آماری و گرافیکی من-کندال و شیب سن استفاده شده است. سری زمانی فشار مرکزی سامانه کم‌فشار پاکستان به تفکیک ماه‌های مختلف (ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر) در شکل‌های (۴) و (۷) ترسیم شده است، و نتایج تحلیل روند تغییرات در جداول (۱) و (۴) ارائه داده شده‌اند. شایان به ذکر است به منظور تعیین موقعیت مکانی کم‌فشار پاکستان از داده‌های فشار سطح دریا استفاده شده است. در واقع همان‌طور که در روش کار توضیح داده شد بر اساس گستره جغرافیایی تعریف شده کم‌ترین فشار مرکزی به عنوان هسته مرکزی کم‌فشار پاکستان در نظر گرفته شد. بر این اساس سری زمانی لازم تهیه و تغییرات زمانی آن مطالعه گردید.



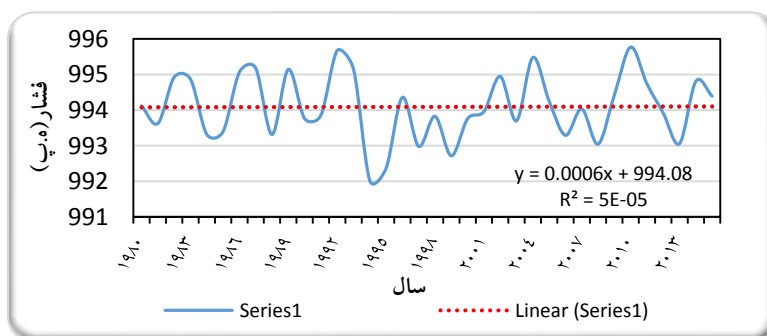
شکل ۴- نمودار آهنگ تغییرات فشار مرکزی کم‌فشار پاکستان برای ماه ژوئن طی دوره آماری ۳۶ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۵)

جدول ۱- نتایج آزمون من-کندال، شیب سن برای ماه ژوئن

من-کندال				شیب سن									
First Year	Last Year	n	Test S	Signific.	Q	Qmin9	Qmax99	Qmin95	Qmax95	B	Bmin9	Bmax99	Bmin95
۱۹۸۰	۲۰۱۵	.	۰/۷۵		۰/۰۱۸	-۰/۰۴۵	۰/۰۸۴	-۰/۰۲۸	۰/۰۷۱	۹۹۴/۸۸	۹۹۶/۱۹	۹۹۳/۹۳	۹۹۴/۰۱

بررسی‌های انجام‌شده کم‌فشار پاکستان در ماه ژوئیه در قوی‌ترین حالت خود نسبت به سه ماه دیگر است. جدول (۲) نتایج آزمون من-کندال برای ماه جولای با آماره Z معادل ۰/۲ در سطح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد در سطح معنی‌داری نیست. آماره شیب سن نتایج آزمون را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد روند تغییرات بسیار ناچیز مثبت می‌باشد.

شکل (۵) نشان دهنده روند تغییرات و همچنین نوسانات فشار سطح دریا برای ماه ژوئیه طی دوره آماری (۱۹۸۰-۲۰۱۵) می‌باشد. فشار مرکزی سامانه در این ماه تقریباً بدون روند می‌باشد و به طور طبیعی نوسانات زمانی را تجربه می‌کند. به طوری که سال ۱۹۹۴ با فشار مرکزی ۹۹۲/۱۶ (ه.پ) کم‌ترین مقدار فشار ثبت‌شده طی دوره آماری را دارا بوده است و بیشترین فشار برای این ماه برای سال ۲۰۱۰ با فشار ۹۹۵/۷۸ (ه.پ) ثبت شده است. همچنین با توجه به



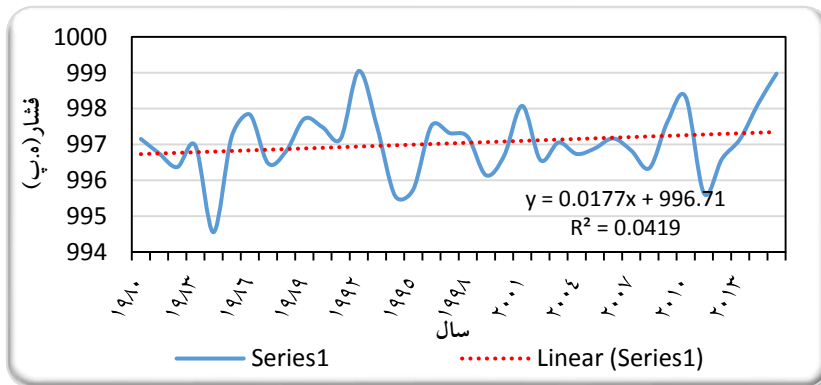
شکل ۵- نمودار آهنگ تغییرات فشار مرکزی کم‌فشار پاکستان برای ماه ژوئیه طی دوره آماری ۳۶ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۵)

جدول ۲- نتایج آزمون من-کندال شیب سن برای ماه ژوئیه.

من کندال			شیب سن												
First year	Last Year	n	Test S	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95	B	Bmin99	Bmax99	Bmin95	Bmax95
۱۹۸۰	۲۰۱۵	.		۰/۲		۰/۰۰۵	-۰/۰۴۰	۰/۰۴۴	-۰/۰۲۹	۰/۰۳۵	۹۹۳/۸۷	۹۹۴/۸۹	۹۹۳/۱۶	۹۹۴/۷۰	۹۹۳/۴۰

جدول (۳) نتایج آزمون من-کندال را نشان می دهد که آماره Z معادل ۰/۸۶ مثبت در سطح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد معنی دار نیست. بنابراین با وجود روند مثبت در داده های فشار سطح دریا برای ماه اوت مقدار روند در سطح قابل قبول نمی باشد. آزمون شیب سن نتایج فوق را تأیید می کند و بیانگر آن است که در ماه اوت روند تغییرات مثبت بوده و افزایش فشار را دارا بوده است.

نمودار روند تغییرات فشار کم فشار پاکستان برای ماه اوت طی دوره در شکل (۶) نمایش داده شده است. نتایج کار نشان می دهد در ماه اوت کم فشار پاکستان طی دوره دارای یک شیب مثبت است. حداقل فشار مرکزی برای هسته کم فشار طی دوره برای این ماه در سال ۱۹۸۴ با فشار ۹۹۴/۵ (ه.پ) و حداکثر فشار برای سال ۱۹۹۲ با فشار مرکزی ۹۹۹/۳ (ه.پ) طی دوره آماری به دست آمده است.



شکل ۶- نمودار آهنگ تغییرات فشار مرکزی کم فشار پاکستان برای ماه اوت طی دوره آماری ۳۶ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۵)

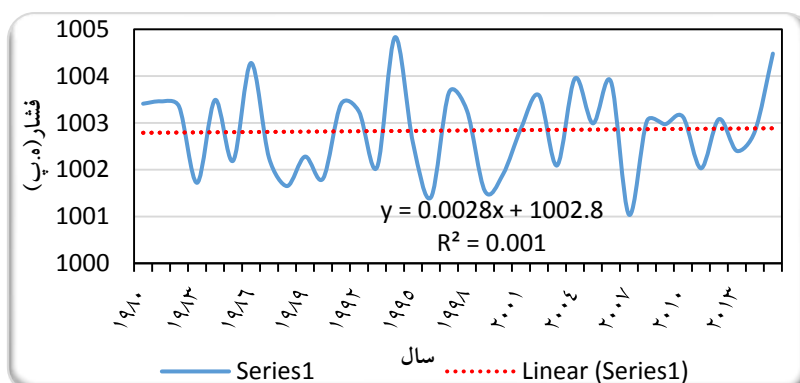
جدول ۱- نتایج آزمون روند من-کندال شیب سن برای ماه اوت

من-کندال			شیب سن												
First year	Last Year	n	Test S	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95	B	Bmin99	Bmax99	Bmin95	Bmax95
۱۹۸۰	۲۰۱۵	.		۰/۸۶		۰/۰۱۲	-۰/۰۷۸	۰/۰۵۶	-۰/۰۱۷	۰/۰۴۵	۹۹۶/۸۱	۹۹۷/۵۶	۹۹۶/۲۲	۹۹۷/۳۱	۹۹۶/۳۵

ناچیز برخوردار است. در جدول (۴) نتایج آزمون من-کندال با آماره Z معادل ۰/۰۱ در سطح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد آمده است همان طور که مشاهده می گردد در هیچ

نمودار (۷) روند تغییرات کم فشار پاکستان را در ماه سپتامبر نمایش می دهد، همان طور که در نمودار مشخص است، کم فشار پاکستان در ماه سپتامبر از یک روند افزایشی بسیار

سطحی در این ماه نیز تغییرات معنی‌دار نمی‌باشد. آماره ناچیز ۰/۰۰۴ است. شیب سن نیز در جدول مذکور نمایانگر یک روند مثبت



شکل ۷- نمودار آهنگ تغییرات فشار مرکزی کم‌فشار پاکستان برای ماه سپتامبر طی دوره آماری ۳۶ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۵)

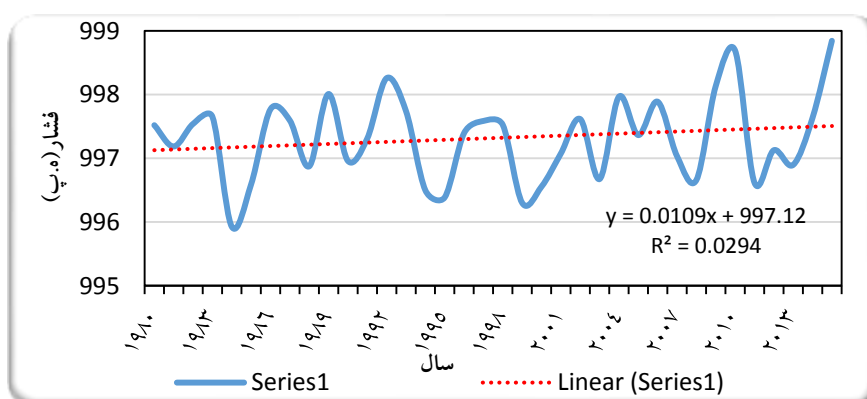
جدول ۴- نتایج آزمون روند من-کندال شیب سن برای ماه سپتامبر

من-کندال			شیب سن												
First Year	Last Year	n	Test S	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95	B	Bmin99	Bmax99	Bmin95	Bmax95
1980	2015	.		۰/۰۱		۰/۰۰۴	-۰/۰۳۵	۰/۰۴۳	-۰/۰۲۵	۰/۰۳۵	۱۰۰۲/۸	۱۰۰۳/۵۸	۱۰۰۱/۹۳	۱۰۰۳/۵۵	۱۰۰۲/۰۵

با فشار مرکزی ۹۹۶ (ه.پ) و بیشینه فشار برای سال ۲۰۱۵ با فشار ۹۹۹ (ه.پ) رخ داده است. به لحاظ سالانه فشار مرکزی دارای شیو تغییرات مثبت است به بیانی فشار مرکزی سامانه رو به افزایش (تضعیف) است.

بررسی تغییرات سالانه کم‌فشار پاکستان

شکل (۸) نمایشگر آهنگ تغییرات سری زمانی فشار مرکزی سالانه سامانه کم‌فشار پاکستان است. مطابق با شکل کم‌فشار پاکستان به صورت سالانه دارای نوسانات متعددی در سال‌های مختلف بوده است، کم‌ترین فشار را در سال ۱۹۸۴



شکل ۸- نمودار آهنگ تغییرات فشار مرکزی سالانه کم‌فشار پاکستان طی دوره آماری ۳۶ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۵)

جدول ۵- آزمون روند من-کندال شیب سن سالانه طی دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۵

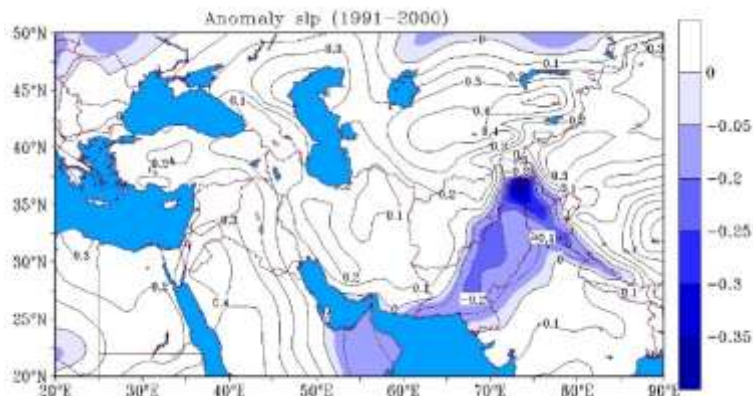
من کندال				شیب سن										
Last Year	n	Test S	Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95	B	Bmin99	Bmax99	Bmin95	Bmax95
۱۹۸۰	۲۰۱۵	.	۰/۷۸		۰/۰۱	-۰/۰۰۲۲	۰/۰۴۲	-۰/۰۱۷	۰/۰۳۴	۹۹۷/۲۲	۹۹۷/۶۸	۹۹۶/۷۰	۹۹۷/۶۲	۹۹۶/۸۱

بررسی ناهنجاری دهه‌ای

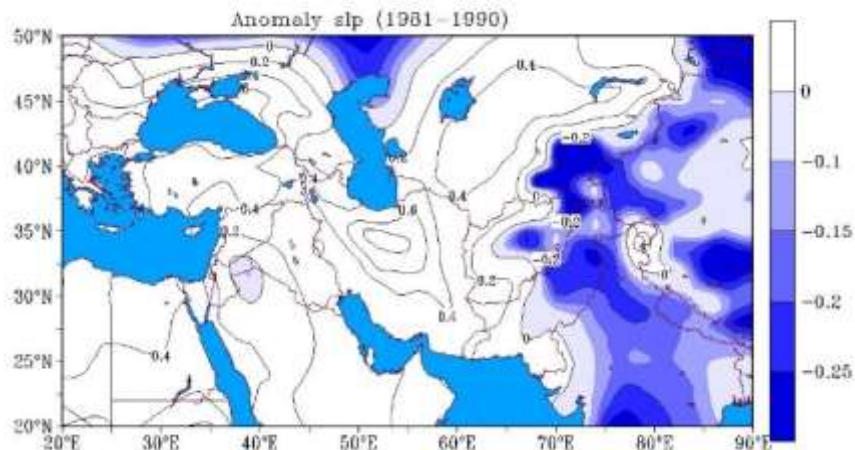
ناهنجاری فشار سطح دریا

ناهنجاری نشان دهنده میزان تغییرات از میانگین درازمدت است که می‌تواند مقادیر مثبت یا منفی داشته باشد، مقادیر مثبت نشان‌دهنده ضعیف‌تر شدن کم‌فشار نسبت به متوسط درازمدت (مقدار متوسط فشار سطح دریا دهه مد نظر نسبت به متوسط کل بیشتر است) می‌باشد و مقادیر منفی نشان دهنده تقویت کم فشار (مقدار متوسط فشار سطح دریا دهه-ای نسبت به میانگین کل کمتر شده است) در طی بازه زمانی مدنظر نسبت به کل سری زمانی داده‌ها است. بدین منظور نخست متغیر فشار تراز دریا به چهار دوره ده ساله (البته با توجه عدم رخداد سال‌های جدید دوره چهارم به صورت ۵ سال گرفته شد) یعنی (۱۹۸۱-۱۹۹۰)، (۱۹۹۱-۲۰۰۰)، (۲۰۰۱-۲۰۱۰) و (۲۰۱۱-۲۰۱۵) مورد تفکیک و سپس ناهنجاری‌های فشار سطح دریا در هر دهه نسبت به متوسط درازمدت ۳۶ ساله در محدوده جغرافیایی مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

شکل (۹) ناهنجاری فشار سطح دریا را برای دهه اول یعنی (۱۹۸۱-۱۹۹۰) را نمایش می‌دهد، همان‌طور که در نقشه مشخص است طی این دهه در منطقه مورد مطالعه یک کاهش فشار نسبت به میانگین کلی مشاهده می‌شود که مقدار آن طبق جدول (۶) ۹۹۷/۳۶ (ه.پ) است که نسبت به میانگین کلی ۰/۰۵ کاهش داشته است. شایان به ذکر است که فقط شرق منطقه مورد مطالعه یعنی شرق پاکستان طی این دهه نسبت به میانگین کاهش فشار تراز دریا را دارا بوده است. منطقه جنوبی و شرقی مورد مطالعه تغییراتی نسبت به میانگین کل را نداشته‌اند و مقدار ناهنجاری صفر است. همچنین شکل (۱۰) مقدار ناهنجاری فشار تراز دریا را برای دهه دوم (۱۹۹۱-۲۰۰۰) نمایش می‌دهد. همان‌طور که از نقشه مشخص است طی این دهه نیز مقدار ناهنجاری از میانگین کلی کمتر است (افزایش شدت کم‌فشار) به طوری که کل کشور پاکستان را پوشش می‌دهد. مطابق با جدول (۶) مقدر فشار تراز دریا برای این دهه ۹۹۷/۱۹ (ه.پ) است. دهه دوم قوی‌ترین دهه از نظر شدت نسبت به سایر دهه‌ها است.



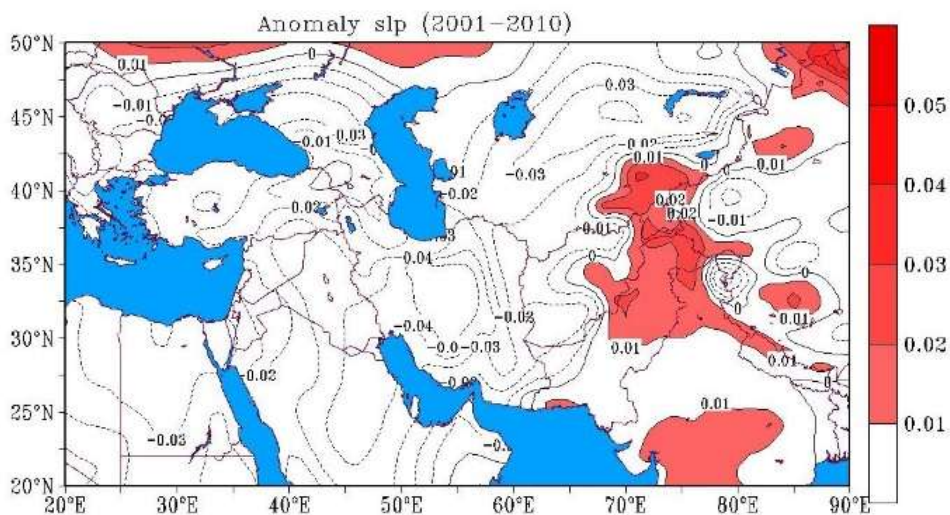
شکل ۹- نقشه ناهنجاری فشار سطح دریا دهه اول (۱۹۸۱ تا ۱۹۹۰).



شکل ۱۰- نقشه ناهنجاری فشار سطح دریا دهه اول (۱۹۹۱-۲۰۰۰).

دریا کم‌ترین ناهنجاری را نسبت به میانگین کلی دارد و مقدار آن مطابق با جدول (۶) $997/29$ (ه.پ) است که نسبت به میانگین کلی $997/31$ (ه.پ) $0/02$ اختلاف دارد.

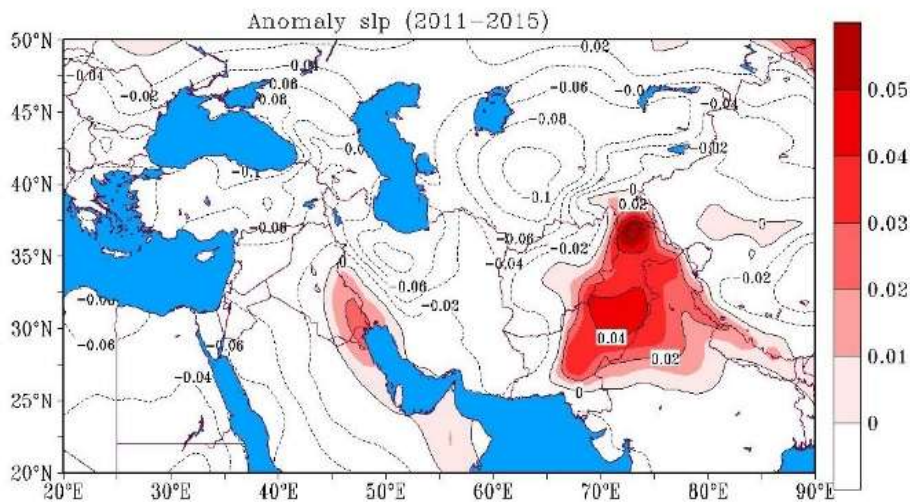
شکل (۱۱) دهه سوم از بازه زمانی کل یعنی دهه (۲۰۰۱-۲۰۱۰) را نمایش می‌دهد. مطابق با شکل مقدار ناهنجاری از نظر گسترش مکانی بسیار محدود می‌باشد. از نظر فشار تراز



شکل ۱۱- نقشه ناهنجاری فشار سطح دریا دهه سوم (۲۰۰۱-۲۰۱۰).

فشار تراز دریا برای این سالها $997/63$ (ه.پ) ثبت شده است که نسبت به میانگین کل $997/31$ (ه.پ) حدود $0/32$ اختلاف فشار است، طی این پنج سال مقدار ناهنجاری بیشترین اختلاف را نسبت به سایر دهه‌ها دارا بوده است.

تغییرات ناهنجاری طی پنج سال آخر (۲۰۱۱-۲۰۱۵) مطابق با شکل (۱۲) مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که از شکل مشخص است ناهنجاری طی این سالها از شدت بیشتری برخوردار است که بر روی شرق پاکستان بیشتر از سایر مناطق مورد مطالعه دیده می‌شود. در جدول (۶) مقدار



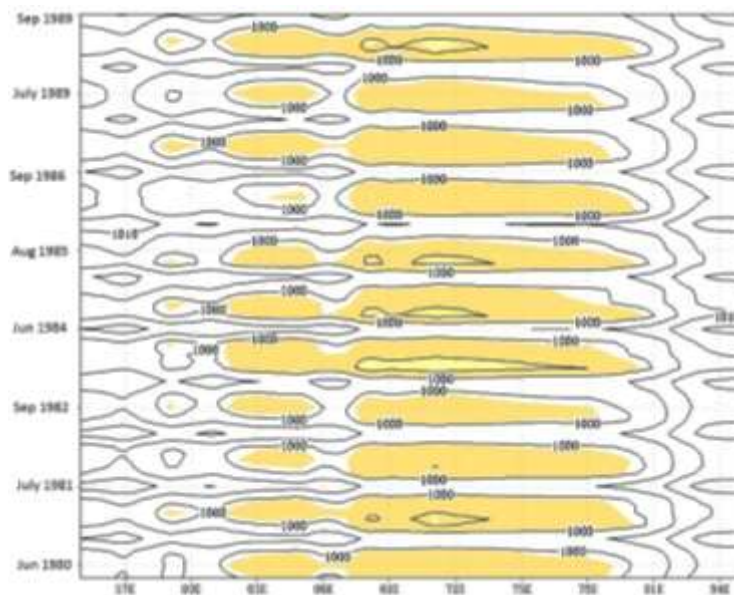
شکل ۱۲- نقشه ناهنجاری فشار سطح دریا ۵ سال آخر (۲۰۱۱ - ۲۰۱۵).

جدول ۶- جدول ناهنجاری فشار مرکزی سامانه کم فشار پاکستان طی دوره (۱۹۸۱-۲۰۱۵)، منطبق با بازه مکانی (۲۲/۵ * ۳۲/۵ درجه عرض شمالی و ۶۲/۵ * ۷۲/۵ درجه طول شرقی).

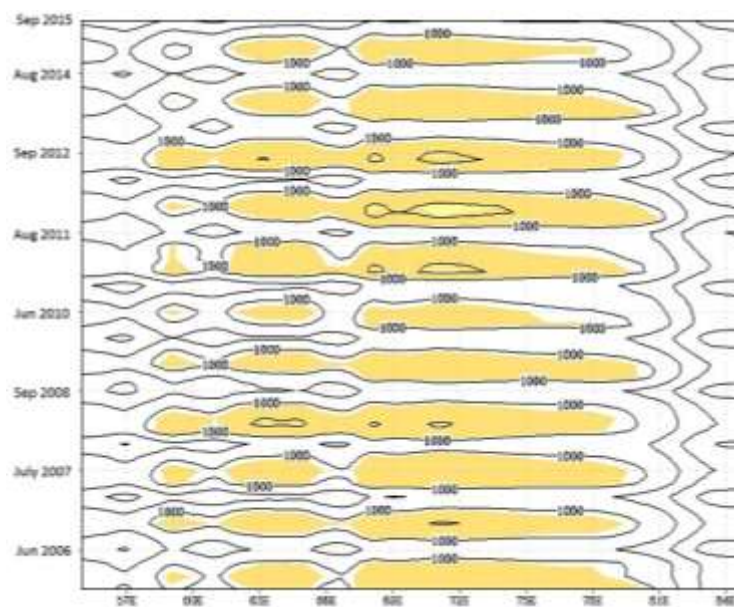
اختلاف	فشار	-
-	۹۹۷/۳۱	میانگین کل (۱۹۸۱-۲۰۱۵)
-۰/۰۵	۹۹۷/۲۶	دهه اول (۱۹۸۱-۱۹۹۰)
-۰/۱۲	۹۹۷/۱۹	دهه دوم (۱۹۹۱-۲۰۰۰)
-۰/۰۲	۹۹۷/۲۹	دهه سوم (۲۰۰۱-۲۰۱۰)
۰/۳۲	۹۹۷/۶۳	پنج سال آخر (۲۰۱۱-۲۰۱۵)

حرکت شرق یا غرب سوی پرفشار جنب حاره در دوره‌های مذکور را نمایش می‌دهند. در واقع از آنجایی که در مطالعات گذشته نفوذ و عدم نفوذ این سامانه را به داخل کشور منوط به گسترش پرفشار جنب حاره می‌دانند (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۶). این شکل‌ها پربندهای نفوذ پرفشار جنب حاره را نمایش می‌دهند. همان‌طور که گویا است در هر دهه‌ی مورد مطالعه نفوذ شرق سوی پرفشار جنب حاره نیز چندان تغییری از خود نشان داده نشده است.

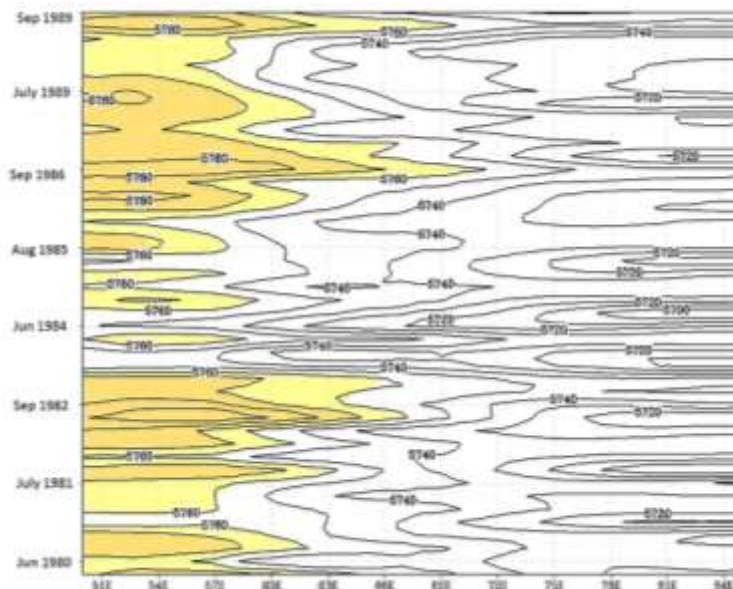
به منظور تشریح تغییرات تداوم ایستایی یا به بیانی تغییرات مکانی این کم فشار از نقشه‌های هوفمولر در دو بازه‌ی ۱۹۸۰ تا ۱۹۸۹ و ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ استفاده شد. با توجه به بررسی شکل‌های (۱۳) و (۱۴) کم فشار پاکستان از هیچ‌گونه گستردگی خاص مکانی یا جابجایی شرق و یا غرب سوی برخوردار نمی‌باشد. به بیان دیگر رفتار این سامانه در طول دهه‌ی اولیه و دهه‌ی پایانی از یک گستره‌ی یکسانی برخوردار می‌باشد. برای تأیید این مطلب شکل‌های (۱۵) و (۱۶) آورده شده است. به بیانی این شکل‌ها نمایشگر



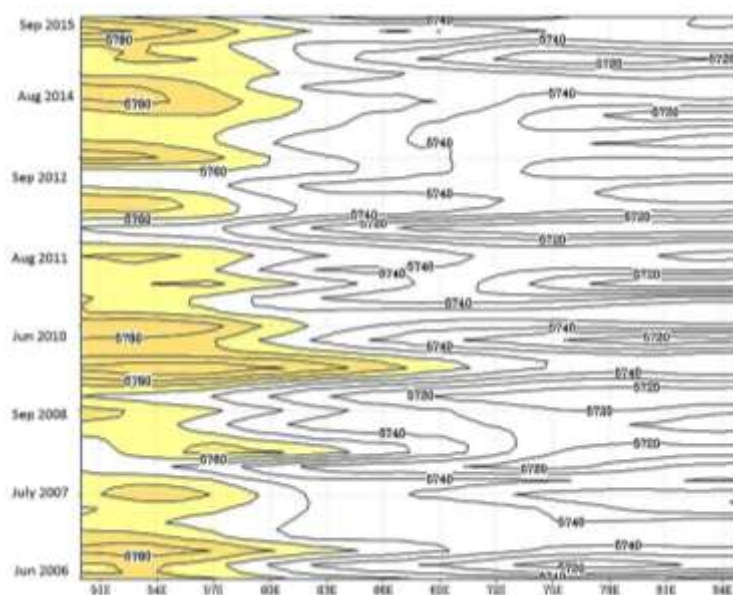
شکل ۱۳- کم فشار پاکستان در بازه‌ی ۱۰ ساله اول (۱۹۸۱-۱۹۸۹)



شکل ۱۴- کم فشار پاکستان در بازه‌ی ۱۰ ساله آخر (۲۰۰۵-۲۰۱۵)



شکل ۱۵- پرفشار جنب حاره در بازه‌ی ۱۰ ساله آخر (۲۰۰۵-۲۰۱۵)



شکل ۱۶- پرفشار جنب حاره در بازه‌ی ۱۰ ساله آخر (۲۰۰۵-۲۰۱۵)

نتیجه‌گیری

کم فشار پاکستان یکی از سامانه‌های مهم تأثیر گذار در فصل گرم سال بر روی مناطق جنوب آسیا است و به دلیل نقش آن در اقلیم منطقه تحت نفوذ خود از جمله تأثیرگذاری بر روی بادهای سیستان و بارش‌های تابستانه موسمی در جنوب شرق ایران از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین به بررسی تغییرات زمانی این سامانه پرداخته شد بدین

منظور از آزمون ناپارامتری من-کندال و شیب سن استفاده گردید. در این میان برای ماه‌های ژوئن و اوت نوع روند مثبت بوده، ماه‌های جولای و سپتامبر طی بازه زمانی روند مثبت نزدیک به صفر را دارا بوده‌اند. در بررسی سالانه کم فشار طی بازه زمانی (۱۹۸۰-۲۰۱۵) مشخص شد که کم فشار پاکستان یک روند مثبت و افزایش فشار را تجربه

- کرده است، اما مقدار این روند بسیار ناچیز بوده و در سطح معنی‌داری ۹۰،۹۵ و ۹۹ درصد نمی‌باشند.
- نقشه‌های ناهنجاری ده‌ساله برای فشار سطح دریا طی دوره ترسیم شد و بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که تغییرات زمانی این کم‌فشار در دو دهه اول و دوم از لحاظ مقدار فشار روندی کاهشی داشته به‌طوری‌که منجر به تقویت کم‌فشار پاکستان بوده است و در دهه سوم یعنی سال‌های (۲۰۰۱ - ۲۰۱۰) مقدار روند در مرکز هسته کم‌فشار پاکستان روندی تقریباً کاهشی مشاهده شد به‌طوری‌که مقدار متوسط فشار مرکزی در این دهه بسیار نزدیک به متوسط کل دوره بود. مقدار روند افزایشی در سال‌های اخیر که مصادف با پنج سال آخر دوره آماری یعنی سال‌های (۲۰۱۱ - ۲۰۱۵) است از شدت بیشتری برخوردار بوده، به طوری که بیشترین فاصله را از لحاظ عددی با میانگین کلی محدوده کم‌فشار پاکستان داشته و در ضعیف‌ترین حالت خود در طی دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ بوده است. هرچند سامانه‌ی کم‌فشار حرارتی پاکستان ناهنجاری‌هایی را طی بازه‌های ده‌ساله نسبت به میانگین کل دارا بوده، اما این مقدار از تغییرات بسیار ناچیز بوده است.
- منابع**
- Ahasan, M. N, M.A.M. Chowdhury, D.A. Qadir., 2014, The Summer Monsoon Weather Systems and Its Relationship with Rainfall over South Asia, Open Journal OF Atmospheric and Climate Change, 2:20- 37.
 - Alijani, B., 1992. The Climate of Iran. Tehran. SAMT Press. (In Persian).
 - Alijani, B., A. Mofidi, Z. Jafarpour, and A. Aliakbari-Bidokhti, 2011. Atmospheric circulation patterns of the summertime rainfalls of southeastern Iran during July 1994. Journal of the Earth and Space Physics. 3: 205-227. (In Persian).
 - Bollasina M., S. Nigam, 2011, The summertime "heat" low over Pakistan/northwestern India: evolution and origin,37: 957-970.
 - Boucher, K., 1975. Global Climates. Chapter1. Translated by Ghaemie H., Tehran: SAMT Press. Page 148.(In Persian).
 - Boos, W. R, 2014, Understanding the Global Distribution of Monsoon Depressions, 14: 1-11.
- Faisal, N, A. Jameel, S. B. Cheema, A. Ghuffar, A. Mahmood, G. Rasul, 2013, Third Successive Active Monsoon over Pakistan - An Analysis and Diagnostic Study of Monsoon 2012, Pakistan Journal of Meteorology, 9: 73-84.
 - Gandomkar, A., 2009. Synoptic investigating of wind energy in Sistan region. Journal of Geographic Space, 27: 161-180. (In Persian).
 - Hossein Zadeh, R. 1997. The Winds of 120 days of Sistan. Geographical research. 12: 102-127. (In Persian).
 - Hamidianpour M, A. Mofidi and M. Saligheh, 2016. Analysis of the nature and structure of Sistan wind. Iranian Journal of Geophysics. 10: 83-109. (In Persian).
 - Hamidianpour M, A. Mofidi, M. Saligheh, and B. Alijani. 2017. The role of topography on the simulation of Sistan wind structure in the east of Iranian Plateau. Researches in Geographical Sciences; 16 (43):25-53. (In Persian).
 - Iqbal, J., Q. Jawaid, 2008, Modelling the Impact of Indian Ocean on Pakistan Summer Monsoon Rainfall, International Journal of Statistical Sciences, 8: 75-90.
 - Jaagus, J., 2006, Climatic changes in Estonia during the Second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. Theoretical and Applied Climatology,83: 77-88.
 - Kaviani, M.R., B. Alijani, 1999. The Principles to Climatology. Iran: SAMT Press. (In Persian).
 - Khosravi, M., M. Salighe , B Sabaghi,2011, The Effects of Oman Sea Surface Temperature Anomalies in Autumn and Winter Precipitation of Southeast Coasts of Iran, Journal of Geography and Planning, 16(37):59-81
 - Khosravi, M., A. Khorani, M. Khosravi, 2013. The role of Persian Gulf on the situation of Iranian climate. Journal of Development and Teaching of Geography. 2.:43-48. (In Persian)
 - Khoshhal Dastjerdi, J., and T. Alizade, 2010. The synoptic and thermodynamic analysis of shower due to flood 13/9/2009 in Razavi Khorasan Province. The journal of Spatial Planning. 14: 88-109. (In Persian).
 - Johnson, RH, 2003, Thermal low. In: Holton J, Pyle J, Curry JA (eds) Encyclopedia of atmospheric science, Academic Press, London United Kingdom, pp. 2269-2273.

- Geographers of the Islamic World. pp. 1-17. (In Persian).
26. Salighe, M., 2016. The Synoptic Climatology of Iran. Tehran. SAMT Press. (In Persian).
 27. Sarfaraz. 2007, Monsoon Dynamics: It's Behavioral Impact In Pakistan's Perspective, Pakistan Journal of Meteorology. 4: 55-73.
 28. Sen, P. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau", Journal of American Statistical Association, 63: 1379-1389.
 29. Sorland, S., S. Asgeir, 2015, Low-pressure systems and extreme precipitation in central India sensitivity to temperature changes, Clim Dyn. 10: 15-28.
 30. Spengler, T., R.K. Smith, 2008. The dynamics of heat lows over flat terrain. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 637: 2157-2172.
 31. Sueyvers, R., 1990. on the Statistical Analysis of Series of Observation," WMO, 415: 2 - 15.
 32. Zoljoodi, M, 2015. The Study of Sea Level Pressure Patterns and the Wind aloft Features over the Middle East and the Persian Gulf Area during Spring Transition, Marine Science. 6: 11-20.
 19. Masoodian, A., M.R. Kaviani, 2009. The Climatology of Iran. Esfahan University Press. 1th edition. (In Persian)
 20. Mofidi, A., A. Zarrin, 2006. The Analysis of the Nature and Structure of High and Low-Pressure Systems; Part A, Journal of Development and Teaching in Geology, 46: 53-61. Part B, 47: 54-88. (In Persian)
 21. Mofidi, A., A. Zarrin, 2012. Investigating the Nature, Structure and Temporal Variation of Summertime Large-scale Atmospheric Circulation over Southwest Asia. Journal of Climate Research. 11: 15-40. (In Persian).
 22. Najjar Salighe, M., 2001. The synoptic patterns of summertime rainfall in the southeastern Iran. Geographical research. 62: 114-125. (In Persian).
 23. Ramage CS., 1966. The Summer Atmospheric Circulation over the Arabian Sea. Journal Atmospheric. 23: 144-150.
 24. Salighe, M., 2007. The Precipitation Mechanisms in southeastern Iran. Geographical Research Quarterly. 38: 1-13. (In Persian).
 25. Salighe, M., 2010. Common effects of thermal contrast between atmospheric systems in Islamic countries (Case study: 120 days Sistan winds). The 4th Congress of