

روند تغییرات فشار سطح دریا در ایران با رویکرد مخاطرات اقلیمی

یوسف علی پور*

دانش‌آموخته دکتری آب‌وهواشناسی دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی

کاوه زال نژاد (Pazhoheshgar1391@gmail.com)

کارشناس ارشد جغرافیا، عضو باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان دانشگاه آزاد چالوس

(دریافت ۱۳۹۶/۱۰/۱۹ - پذیرش ۱۳۹۶/۱۱/۱۴)

چکیده

رخداد مخاطرات اقلیمی از ویژگی‌های اصلی اقلیم ایران به‌شمار می‌رود و همواره پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی فراوان دارد. بی‌تردید اولین گام برای کاهش اثرهای مخاطرات اقلیمی در کشور، شناسایی عوامل ایجاد این مخاطرات است. فشار سطح دریا از مهم‌ترین عناصر آب‌وهوایی است که می‌تواند عوامل اقلیمی مهم مانند دما، بارش و باد را تحت تأثیر قرار دهد و سبب ایجاد مخاطرات اقلیمی شود. افزایش یا کاهش شدت و گسترش شرقی و شمالی مراکز فشار سطح دریا، از عوامل تعیین‌کننده اصلی دوره‌های خشک و مرطوب در ایران است. بررسی آثار و منابع منتشرشده نشان می‌دهد که تحقیق جامعی درباره تغییرات فشار سطح دریا در ایران در فصول مختلف لازم است. هدف این مطالعه، آشکارسازی روند تغییرات فشار سطح دریای ایران در فصل‌های مختلف است. بدین منظور داده‌های فرمت NC فشار سطح دریا در ساعت 12GMT از سال ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۶ از پایگاه داده NCEP/NCAR دریافت شد و برای طبقه‌بندی فصلی و تهیه نقشه‌های مورد نظر در مراحل بعدی به فرمت‌های Matlab، TXT، EXCEL و Gis تبدیل و تغییرات درازمدت فشار سطح دریا ایران آشکارسازی شد. بررسی نمودار روند سری زمانی مقادیر میانگین، متوسط حداقل و متوسط حداکثر فشار سطح دریا با آزمون من کندال در فصول مختلف نشان داد مقدار معناداری در همه موارد کوچک‌تر از ۰/۰۵ است و مقدار میانگین فشار سالانه سطح دریای ایران دارای سیر صعودی معنادار بوده و با آهنگ ۰/۰۴۷ میلی‌بار در هر سال افزایش یافته است. نقشه‌های میانگین ده‌ساله فشار سطح دریای ایران در فصول مختلف مشابه بوده و مقدار میانگین فشار از شمال ایران به سمت جنوب کاهش یافته است. نقشه‌های آنومالی میانگین ده‌ساله فشار سطح دریا نشان دادند که مقادیر آنومالی در دهه‌های اخیر به بیشترین مقدار مثبت خود رسیده است. با توجه به اهمیت موضوع و آسیب‌پذیری کشور در مقابل مخاطرات محیطی، واضح است که مدیریت ریسک مخاطرات اقلیمی با در نظر گرفتن افزایش فشار سطح زمین، از احتمال موفقیت و درجه اعتبار بیشتری برخوردار خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آزمون من کندال، آنومالی، روند، فشار سطح دریا، مخاطرات اقلیمی.

مقدمه

مقطع عمودی جو به لایه‌های مختلفی تقسیم می‌شود که هر لایه از جنبه‌های گوناگونی بررسی می‌شود. به دلیل جذب مولکول‌های هوا، بیشترین حجم جو کره زمین در لایه پایینی اتمسفر و نزدیک سطح زمین متراکم شده است [۲، ص ۱۱]. فشار هوا نیرویی است که هوا بر یک واحد از سطح زمین وارد می‌کند. واحد اندازه‌گیری فشار هوا در آب‌وهواشناسی میلی‌بار یا هکتوپاسکال است. فشار ستون هوا در سطح دریای آزاد، ۱۰۱۳ هکتوپاسکال بر سانتی‌متر مربع است [۸، ص ۹۶]. پراکندگی افقی فشار اتمسفر را با استفاده از خطوط هم‌فشار در نقشه‌های سینوپتیک فشار سطح دریا (SLP^۱) نشان می‌دهند. این نقشه‌های فشار، کاربرد زیادی در اقلیم‌شناسی سینوپتیک داشته و در شناخت آب‌وهوای هر منطقه اهمیت زیادی دارند. از سوی دیگر همبستگی قوی بین دو عامل اقلیمی دما و بارش و متغیر فشار سطح دریا وجود دارد. از این‌رو شناخت تغییرات مراکز فشار می‌تواند یافته‌های سودمندی در زمینه شرایط فعلی و آتی اقلیم کشورمان را نمایان کند. عرض جغرافیایی، پراکندگی دریاها و خشکی‌ها و اختلاف درجه حرارت نواحی مختلف کره زمین از عواملی است که در پراکندگی افقی فشار اثر می‌گذارند [۹]. با توجه به اینکه الگوهای فشار سطح دریا از مهم‌ترین پدیده‌های سینوپتیک هستند و جابه‌جایی آنها نقش انکارناپذیری در شرایط اقلیم کشور و مخاطرات اقلیمی ایران دارد، بررسی ویژگی‌های جغرافیایی این سیستم و وردش‌های زمانی و مکانی آن دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای است و ضرورت داشت که تغییرات فشار سطح دریا و روند آن در طول سری زمانی ۶۹ ساله (۲۰۱۶-۱۹۴۸) بررسی شود. امروزه به دلیل مطرح شدن گرمایش جهانی و رخداد تغییر اقلیم، واکاوی تغییرات گردش‌های جوی به کمک شبیه‌سازی مدل‌های اقلیمی و روش‌های آماری در کانون توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۱۷، ۲۳]. بررسی رفتار گردش‌های جوی طی دوره‌های گوناگون، دانش ما را درباره چگونگی تغییرات بزرگ‌مقیاس دستگاه اقلیم و مخاطرات محیطی افزایش می‌دهد. مهم‌ترین مخاطره آن است که حیات انسان را تهدید کند. دومین رتبه مخاطره وقتی است که محیط زیست انسان را در بر گیرد و سومین رتبه آن زمانی است که به دارایی انسان صدمه وارد کند [۱۲]. مخاطره‌شناسی را باید علم جوینده سلامت دانست [۱۱]. در این میان، حدود ۸۶ درصد از مخاطرات طبیعی قرن بیستم را مخاطرات اقلیمی تشکیل داده است [۱۰]. با توجه به اثرهای گسترده و متقابل اقلیم در بخش‌های مختلف جوامع انسانی، امروزه تغییر اقلیم را از مهم‌ترین چالش‌های قرن بیست و یکم می‌دانند [۱۲، ۱۳]. رخداد مخاطرات اقلیمی از ویژگی‌های اصلی اقلیم ایران به‌شمار می‌رود. مخاطرات اقلیمی گوناگونی در گوشه و کنار کشور

1. sea level pressure

رخ می‌دهد که خسارت‌های جانی و مالی فراوان در پی دارد. بی‌گمان اولین قدم برای کاهش اثرهای مخاطرات اقلیمی در کشور، شناسایی کامل آنهاست تا با تحلیل رفتار آنها بتوان اقدامات عملی برای کاهش خسارت انجام داد [۷]. طی پنجاه سال اخیر، گردش‌های جوی نیمکره شمالی، دستخوش تغییرات بسیار زیادی شده‌اند. در باره سامانه‌های فشار و رفتار آنها مطالعات زیادی در خارج و ایران صورت گرفته است. کانگ و هو [۱۷] فشار سطح متوسط دریا را در محدوده استیلای پرفشار سیبری با استفاده از داده‌های دو مرکز^۱ CRU و^۲ NCAR در یک دوره ۶۰ ساله مطالعه کردند. آنها نشان دادند که فشار سطح متوسط دریا در این الگو در ۲۰ سال آخر دوره مطالعه (۱۹۹۵-۱۹۷۶) به ترتیب ۲/۱۵ و ۱/۵۷ میلی‌بار تضعیف شده است. استهوپرلینگ، هیورل و اکسو [۱۸] روند ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در فصل زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه) را در محدوده ۲۵ تا ۸۷ درجه عرض شمالی واکاوی کردند. یافته‌های آنها نشان داد که در جنوب گرینلند روند منفی قوی و در حواشی آזור روی اروپا، روند مثبتی در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد. علاوه بر این در جزایر ایووتیان روند منفی و در غرب کانادا روند مثبت است. مارشال [۲۱] به کمک خروجی‌های حاصل از داده‌های رادیوسوند و داده‌های واکاوی NCEP/NCAR به بررسی روند ارتفاع ژئوپتانسیل و دما روی قطب جنوب پرداخت. وی بازه زمانی را ۴۰ سال (۲۰۰۰-۱۹۶۰) در نظر گرفت و روند را برای چهار تراز مختلف ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال واکاوی کرد. یافته‌ها نشان داد که روند ارتفاع ژئوپتانسیل در بردایست روی عرض‌های بالای جنوبی منفی است و روند در ارتفاعات پایین پوش معنادار نیست. در مقابل، مشاهدات حاصل از داده‌های رادیوسوند فقط روند منفی کوچکی را برای ارتفاع بردایست نشان می‌دهد، درحالی که در ارتفاعات پایین پوش سپهر، روند کاهشی معناداری روی شرق جنوبگان مشاهده شد. گیلیت، زویرس، ویور و استات [۱۶] روند فشار تراز دریا در فصل سرد (دسامبر تا فوریه) را روی کره زمین طی دوره زمانی ۱۹۴۸ تا ۱۹۹۸ بررسی کردند. یافته‌های آنها نشان داد که روی منطقه مدیترانه و آفریقا و جنوب غرب آسیا روند فشار تراز دریا مثبت و رو به افزایش است؛ درحالی که در عرض‌های بالای نیمکره شمالی و جنوبی، روند فشار تراز دریا منفی و کاهشی است. موقعیت قرارگیری ایران به گونه‌ای است که در طول سال، سامانه‌های هم‌دید متعدد با ویژگی‌های متفاوت، اقلیم ایران زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اندرکنش بین سامانه‌های هم‌دید، وضعیت جوی روزانه و درازمدت اقلیم ایران را شکل می‌دهند. یکی از مهم‌ترین سامانه‌های جوی در فصل زمستان نیمکره شمالی و منطقه اوراسیا، پرفشار سیبری است که تأثیر مهمی در تغییر کمیت‌های جوی دارد. در دوره سرد سال در سرزمین پهناور سیبری به دلیل برقراری

1. Climate Research Unit

2. National Center for Atmospheric Research

بیان منفی در اخذ مقادیر انرژی خورشیدی، مرکز پرفشار سیبری ایجاد شده و پیشروی این پرفشار به سمت جنوب، موجب سرازیر شدن هوای سرد و در صورت فراهم بودن رطوبت کافی، سبب بارش برف سنگین زمستانی می‌شود. شدت پرفشار سیبری با شاخص SHI نشان داده می‌شود که با فشار هسته مرکزی این الگو ارتباط مستقیم دارد. این شاخص در بین سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۱ به میزان ۲/۵ میلی‌بار بر دهه کاهش یافته است که نشان‌دهنده تضعیف فعالیت‌های آن است [۲۲]. تغییر در گردش‌های جوی نیمکره شمالی، افزایش فشار تراز دریا در عرض‌های میانه و جنب حاره و کاهش فشار تراز دریا در عرض‌های بالا را به‌ویژه در منطقه فعالیت شاخص نوسان اطلس شمالی در پی داشته است [۱۶، ۲۶، ۲۷]. برپایه ارزیابی هیأت بین دول تغییر اقلیم، افزایش گازهای گلخانه‌ای و فعالیت‌های دیگر بشر، سبب گرمایش و ریدسپهر، کاهش دمای پوش سپهر، افزایش ارتفاع لایه وردایست، کاهش فعالیت الگوهای گردش جوی منطقه حاره، جابه‌جایی قطب‌سوی اغتشاشات جوی عرض‌های میانه، افزایش بارش‌های حاره‌ای و غیره خواهد شد [۲۸]. گسترش قطب‌سوی کمربند حاره‌ای که پیامدی از تغییر اقلیم به‌شمار می‌رود، جابه‌جایی مکانی قطب سوی رودبادهای جنب حاره‌ای را در پی خواهد داشت و در نتیجه کمربندهای خشک جنب حاره‌ای گسترش خواهند یافت [۱۹]. پژوهش‌های اخیر، شواهدی از گسترش کمربند حاره‌ای به سمت قطب را ارائه می‌کنند [۲۵]. یافته‌های پژوهشگران نشان داد که کمربند حاره‌ای از سال ۱۹۷۹ به بعد، حدود ۱ تا ۲ درجه به سمت شمال جابه‌جا شده است. لو، دیزر و ریچلر [۲۰] گسترش قطب‌سوی کمربند حاره‌ای را در اثر تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه تغییر گازهای گلخانه‌ای و خالی شدن لایه پوش سپهر از ازن می‌دانند. ریچلر [۲۴] با جزئیات بیشتر به تحلیل تغییرات گردش‌های جوی، به‌منزله نمایه‌ای از تغییر اقلیم پرداخت. وی نشان داد که گسترش مرز کمربند حاره‌ای، سبب تغییر موقعیت مدل هدلی، رودبادهای مسیر توفان‌ها و جریان‌های اقیانوسی خواهد شد. پیامد آن تغییر الگوهای دما و بارش است. وی بر این باور است که مناطق جنب حاره بیشترین حساسیت را به این تغییر نشان می‌دهند. مناطق مدیترانه، جنوب غرب ایالات متحده آمریکا، جنوب استرالیا و جنوب آفریقا، شرایط خشک‌تری را تجربه خواهند کرد. ایوانز [۲۰] با به‌کارگیری سناریوهای تغییر اقلیم مورد تأیید هیأت بین‌دول تغییر اقلیم^۱ نشان داد که منطقه همگرایی حاره‌ای به سمت عرض‌های بالاتر جابه‌جا می‌شود.

پژوهش‌ها در زمینه شناسایی الگوهای گردش جو در ایران را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم کرد: دسته اول برپایه داده‌ها و نقشه‌های موجود در سازمان هواشناسی کشور به

شناسایی الگوهای گردش جو پرداخته‌اند و دسته دوم با استفاده از رایانه، نرم‌افزارهای رایانه‌ای و داده‌های شبکه‌ای مراکز پژوهشی هواشناسی و اقلیم‌شناسی جهان که روش خودکار نامگذاری شده‌اند، به انجام رسیده‌اند [۴]. حجازی‌زاده [۵] براین باور است که نوسان‌های پرفشار جنب حاره با حرکت تاوه قطبی همراه است و تغییرات دو مؤلفه یادشده سبب تغییر فصل ایران و آغاز بارندگی در ماه سپتامبر یا اکتبر می‌شود. احمدی حجت و همکاران [۱] روند تغییرات پرفشار سبیری و تأثیر آن بر میدان‌های هواشناختی در دامنه زمانی ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۸ را بررسی کردند. آنها روش و چارچوب پیشنهادی پاناتوگیپولوس، شاهگیدانوا و استیفینسون [۲۲] را برای پژوهش خود برگزیدند و شبکه جغرافیایی فعالیت سبیری را ۶۵-۴۰ درجه شمالی و ۸۰ تا ۱۲۰ درجه شرقی در نظر گرفتند. یافته‌های آنان نشان داد که فشار تراز دریا در مرکز پرفشار سبیری در ابتدای این دوره با روند ملایم ۱/۱ ژئوپتانسیل به‌ازای هر دهه افزایش یافته، اما از اوایل دهه هفتاد به بعد با روندی به میزان ۰/۱۲- کاهش یافته است. همچنین یافته‌های آنها نشان داد که نقش این سامانه و اچرخندی روی دریای مدیترانه، تقویت فرارفت از محدوده استقرار آن است و محدود به سطوح پایین جو نیست و با جریان‌های هوا در ترازهای بالایی جو نیز در ارتباط است. سامانه‌ای که روی خلیج فارس شکل می‌گیرد و از آن با عنوان فرود دریای خلیج فارس نام می‌برند، بخشی از گسترش سامانه مونسونی است که به سمت جنوب غرب آسیا کشیده می‌شود. علی‌پور و همکاران [۶]، تغییرات زمانی- مکانی پرفشار جنب حاره تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیوار ایران را در فصول مختلف طی یک دوره ۶۹ ساله (۲۰۱۵-۱۹۴۸) با استفاده از داده‌های NCEP بررسی کردند. نقشه‌های میانگین ده‌ساله و نمودارهای سری زمانی پرفشار جنب حاره، بیانگر افزایش شاخص سطح و شدت و شاخص گسترش شمالی و شرقی در همه فصول بود. همچنین یافته‌های آنان نشان داد که شیب خط روند ارتفاع ژئوپتانسیل تمامی فصول افزایشی بوده و میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل در نیوار ایران با آهنگ ۵/۸۷ ژئوپتانسیل‌متر در هر ۱۰ سال افزایش یافته و در سال ۲۰۱۵ به حداکثر آنومالی مثبت رسیده است. با توجه به نقش و اهمیت تغییرات فشار سطح دریا در اقلیم ایران، سؤال‌های مطرح در تحقیق حاضر عبارت‌اند از: ۱. آیا مقادیر میانگین، متوسط حداقل و متوسط حداکثر فشار سطح دریا در فصول مختلف در ایران در طول سری زمانی مطالعاتی تغییر کرده است؟ ۲. بیشترین و کمترین مقادیر آنومالی میانگین فشار سطح دریا در هفت دهه بررسی شده در چه قسمت‌هایی از ایران بوده است؟

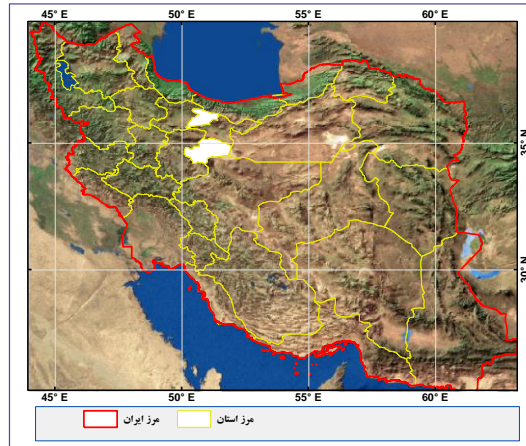
تحقیق حاضر با هدف آشکارسازی وجود روند و تغییرات معنادار فشار سطح دریای ایران صورت گرفته است. ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی خود در دوره گرم و سرد سال تحت

استیلای الگوهای مختلف فشار سطح دریا مانند پرفشار جنب حاره، پرفشار سبیری، کم‌فشارهای مونسون، کم‌فشارهای دریای مدیترانه، سیاه و سودان و است و این الگوها در طول سری زمانی تحت بررسی، دچار تغییر شده‌اند و تأثیرات نامطلوبی مانند کاهش بارش و افزایش دما و کاهش رطوبت و خارج شدن از وضعیت هنجار و استاندارد از نظر اقلیمی داشته‌اند که حتی به عقیده برخی ممکن است به تغییر اقلیم ایران از الگوی نیمه‌خشک به الگوی خشک و بیابانی بینجامد و سبب مخاطرات اقلیمی شود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی وضعیت تغییرات مکانی- زمانی و آشکارسازی تغییرات فشار سطح دریا ایران طول جغرافیایی ۴۲/۵ درجه تا ۶۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه در نظر گرفته شد. برای این پژوهش آمار ۶۹ ساله مقادیر SLP ساعت ۱۲ جهانی از سال ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۶ از پایگاه داده مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP^۱) و مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCAR^۲) برداشت شد. داده‌های اخذ شده با فرمت NC به طور معمول، قابلیت استفاده در سایر نرم‌افزارها بدون تغییر فرمت را ندارند؛ از این‌رو داده‌های فوق با استفاده از اسکریپت‌نویسی در محیط نرم‌افزار Grads به فرمت داده‌های متنی^۳ تبدیل شدند [۱۳]. داده‌های SLP با فرمت متنی به محیط متلب فراخوانی شده و در آنجا به صورت فصلی و دهه‌ای طبقه‌بندی شدند. داده‌های متلب به فرمت اکسل تبدیل شده و بدین ترتیب پایگاه داده‌های سری زمانی فصلی در محیط اکسل شکل گرفت. آمار توصیفی لازم مانند میانگین، میانگین حداکثر و میانگین حداقل تولید و سری زمانی و روند داده‌ها با استفاده از آزمون من کندال برای هر فصل ترسیم شد. داده‌های فصلی تهیه شده با فرمت اکسل، به فرمت نرم‌افزار ArcGIS تبدیل شده و بدین ترتیب پایگاه داده GIS تشکیل شد؛ بدین ترتیب، خروجی گرفتن از داده‌ها به صورت نقشه امکان پذیر می‌شود. به علت طولانی بودن دوره آماری، برای کاهش تعداد نقشه‌های میانگین و آنومالی فشار سطح دریا، سری زمانی تحت بررسی (۱۹۴۸-۲۰۱۶) به ۱۰ دهه تقسیم و از میانگین ده‌ساله فشار سطح دریا استفاده شد.

1. National Centers of Environmental Prediction (ncep)
2. National Center for Atmospheric Research (ncar)
3. Notepad



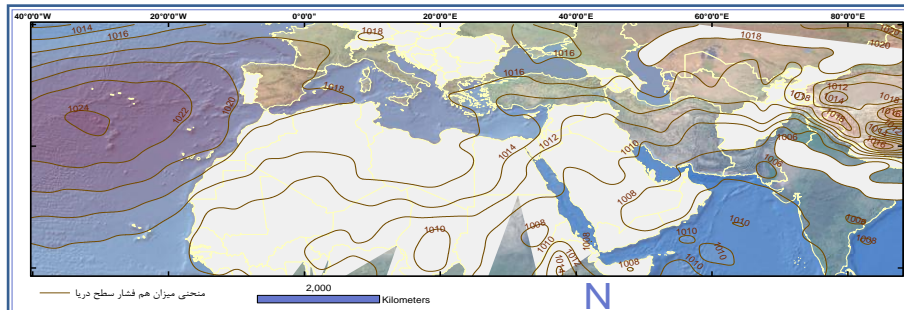
شکل ۱. محدوده تحقیق (مأخذ: نگارندگان)

یافته‌های پژوهش

ایران به دلیل توپوگرافی خاص و قرار گرفتن در مسیر توده‌های هوایی مختلف از تنوع زمانی و مکانی الگوهای فشار سطح دریا برخوردار است؛ این متغیر، ضریب تغییرات زیادی در فصول مختلف دارد و می‌تواند سبب ایجاد مخاطرات اقلیمی شود. نقشه میانگین سالانه فشار سطح دریا در سال ۲۰۱۶ میلادی (شکل ۳) نشان می‌دهد که نزدیک‌ترین مراکز پرفشار به ایران، فرابار سیبری با میانگین سالانه فشار مرکزی ۱۰۱۶ و پرفشار آזור با ۱۰۲۴ هکتوپاسکال هستند. پرفشار آזור که از دیرباز از مراکز فعالیت محسوب می‌شود، بارزترین و دائمی‌ترین سیمای گردش وردسپهری در این مناطق به‌شمار می‌رود، گردش جو و انتقال بخار آب به اطراف را تحت تأثیر قرار می‌دهد و وضع جوی و اقلیم را نه‌تنها در نواحی مجاور و در امتداد جنب حاره، بلکه روی کل کره زمین متأثر می‌سازد [۱۶].



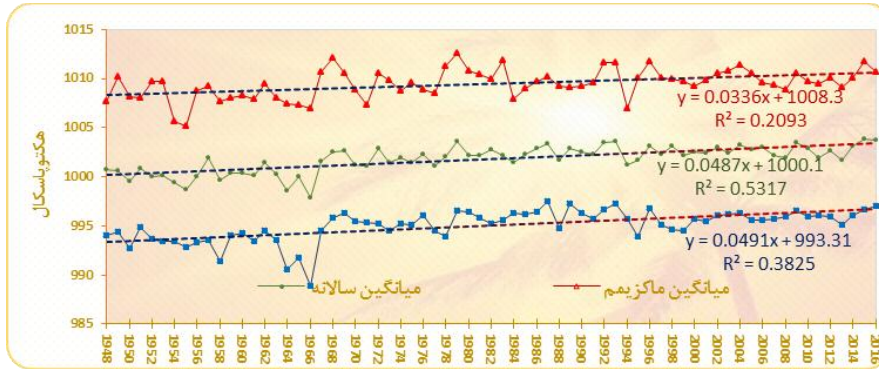
شکل ۲. فرایند تغییر فرمت داده‌ها (مأخذ: نگارندگان)



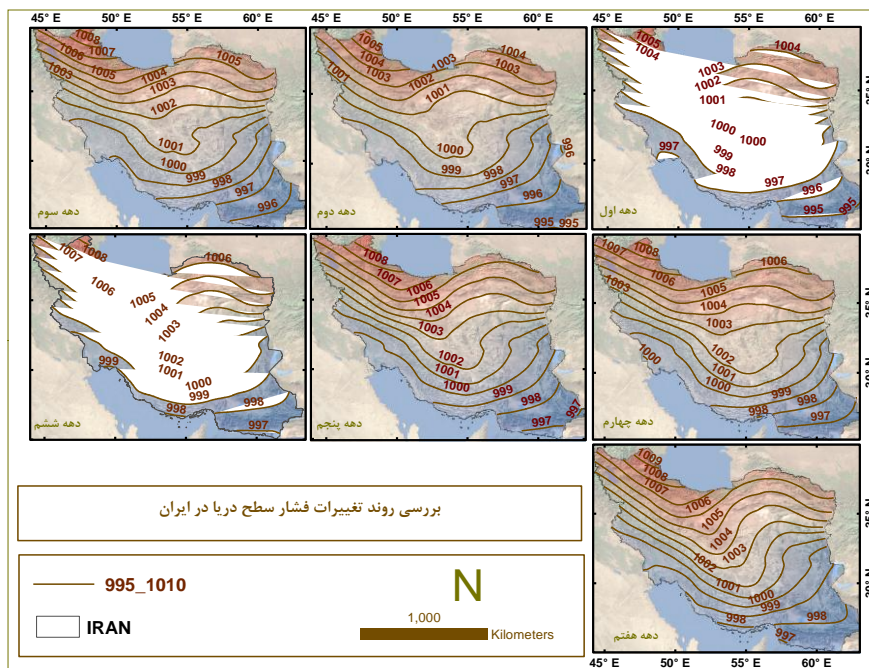
شکل ۳. نقشه میانگین سالانه فشار سطح دریا در سال ۲۰۱۶ میلادی (مأخذ: نگارندگان)

در ادامه نمودار سری زمانی میانگین، میانگین حداکثر و میانگین حداقل سالانه و نقشه‌های میانگین و آنومالی ده‌ساله فشار سطح دریا ایران در فصول مختلف ترسیم و بررسی می‌شوند.

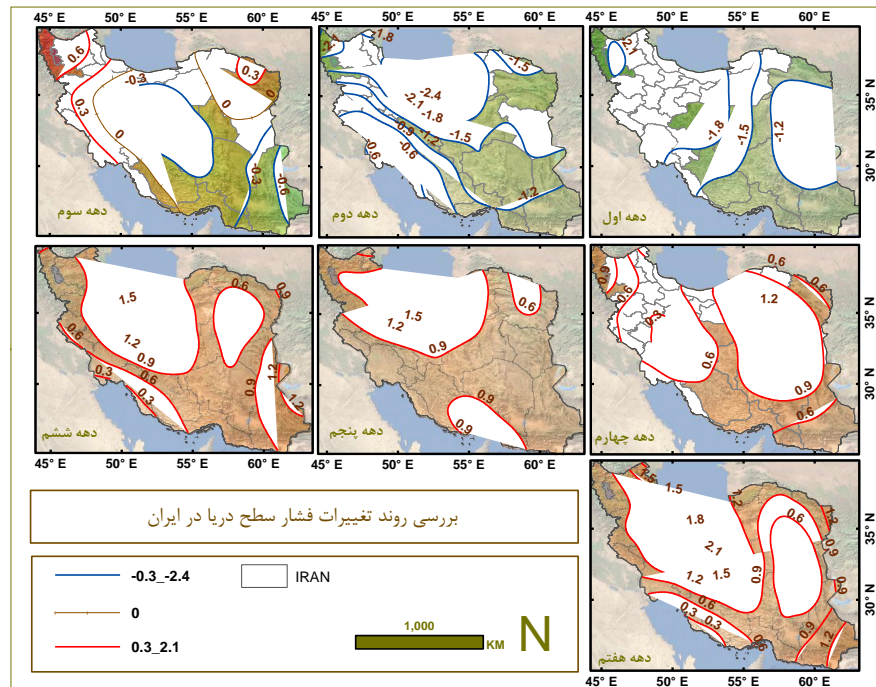
- **تابستان:** میانگین ۶۹ ساله فشار سطح دریا در فصل تابستان ایران ۱۰۰۱/۷۷ هکتوپاسکال است. بیشترین و کمترین میانگین سالیانه ۱۰۰۳/۸۰ و ۱۰۰۱/۵۴ هکتوپاسکال به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۵ و ۱۹۶۶ بوده است. نمودار سری زمانی مطابق شکل ۴ تغییرات فشار سطح دریا در فصل تابستان را نشان می‌دهد. براساس نتایج آزمون فرضیه به روش من کندال بر روی داده‌های میانگین، میانگین حداقل و میانگین حداکثر متغیر فشار سطح دریا در فصل تابستان، مقدار p-value در هر سه مورد کوچک‌تر از ۰/۰۵ است، بنابراین فرضیه H_0 در داده‌های سری زمانی فشار سطح دریا در این فصل رد شده و فرضیه H_1 مبنی بر صفر نبودن همبستگی و در نتیجه وجود روند معنادار داده‌ها تأیید می‌شود. مقدار ضریب همبستگی محاسبه‌شده برای متغیر میانگین سالانه فشار سطح دریا ۰/۴۸۷ است که بیانگر افزایش فشار با مقدار ۰/۴۸۷ هکتوپاسکال در هر ۱۰ سال است. مقادیر ضریب همبستگی برای داده‌های میانگین حداقل و میانگین حداکثر به ترتیب ۰/۴۹۱ و ۰/۳۳۶ است که بیانگر وجود روند افزایشی معنادار با آهنگ ۰/۴۹۱ و ۰/۳۳۶ هکتوپاسکال در هر ده سال برای متغیرهای ذکر شده است. نقشه‌های میانگین ده‌ساله فشار سطح دریا در فصل تابستان (شکل ۵) نشان می‌دهند که در هفت دهه مورد مطالعه مناطق شمال غرب ایران دارای بیشترین میانگین فشار و در مقابل جنوب شرق ایران دارای کمترین مقادیر فشار بوده است. مطابق نقشه‌های آنومالی در شکل ۶ بیشترین افزایش فشار سطح دریا با مقدار ۲/۱ هکتوپاسکال در دهه هفتم متعلق به مرکز ایران بوده و کمترین مقادیر آنومالی مثبت در جنوب غرب ایران اتفاق افتاده است. افزایش آنومالی زنگ خطری برای مخاطرات اقلیمی آبی در ایران است.



شکل ۴. نمودار روند میانگین، میانگین حداقل و میانگین حداکثر سالانه فشار سطح دریای ایران در فصل تابستان (مأخذ: نگارندگان)



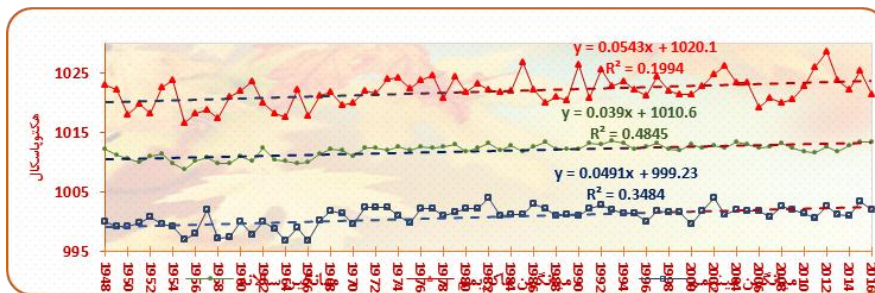
شکل ۵. نقشه‌های میانگین ده‌ساله فشار سطح دریا در فصل تابستان از دهه اول تا دهه هفتم (مأخذ: نگارندگان)



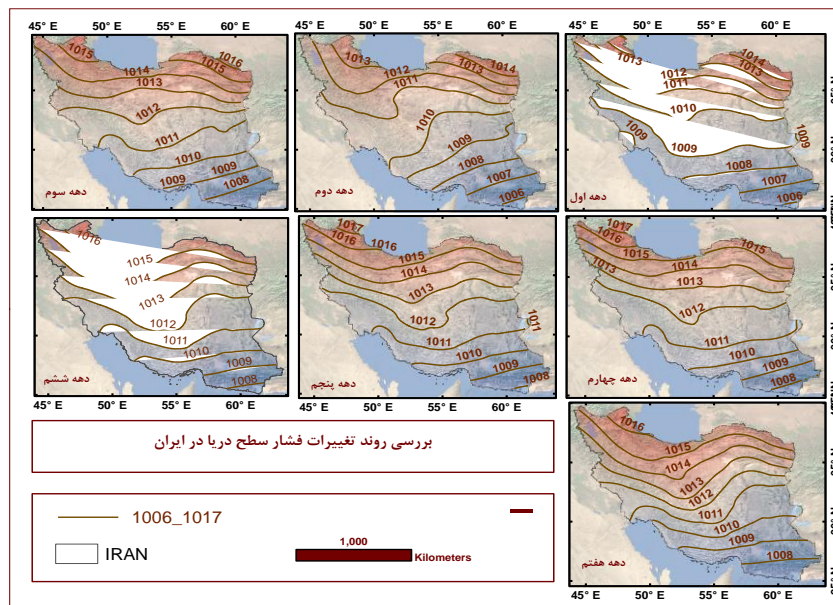
شکل ۶. نقشه‌های آنومالی ده‌ساله فشار سطح دریا در فصل تابستان از دهه اول تا دهه هفتم (مأخذ: نگارندگان)

پاییز: میانگین ۶۹ ساله فشار سطح دریا در این فصل ۱۰۱۲ هکتوپاسکال و میانگین بیشترین و کمترین فشار سطح دریا به ترتیب با ۱۰۱۳/۶۲ و ۱۰۰۸/۸۵ هکتوپاسکال در سال‌های ۱۹۹۳ و ۱۹۵۵ میلادی رخ داده است. آزمون من کندال برای سه متغیر میانگین، میانگین حداقل و میانگین حداکثر فشار سطح دریا مطابق شکل ۷ نشان می‌دهد که شیب خط رگرسیون در سطح اطمینان ۹۵ درصد (مقدار p-value آنها کمتر از ۰/۰۵ است) معنادار بوده و خط روند در هر سه مورد دارای شیب افزایشی است. مقادیر ضریب همبستگی برای میانگین، میانگین حداقل و میانگین حداکثر فشار سطح دریا به ترتیب ۰/۳۹، ۰/۴۹ و ۰/۵۴ است که به معنای افزایش فشار با آهنگ ۰/۳۹، ۰/۴۹ و ۰/۵۴ هکتوپاسکال در هر ده سال برای سه متغیر ذکر شده است. نقشه‌های میانگین ده‌ساله فشار سطح دریا مطابق شکل ۸ نشان می‌دهند که مقدار فشار سطح زمین از شمال غرب ایران به سمت جنوب شرق کاهش می‌یابد. نقشه‌های آنومالی میانگین ده‌ساله فشار سطح دریا در فصل پاییز ایران (شکل ۹) نشان می‌دهند که

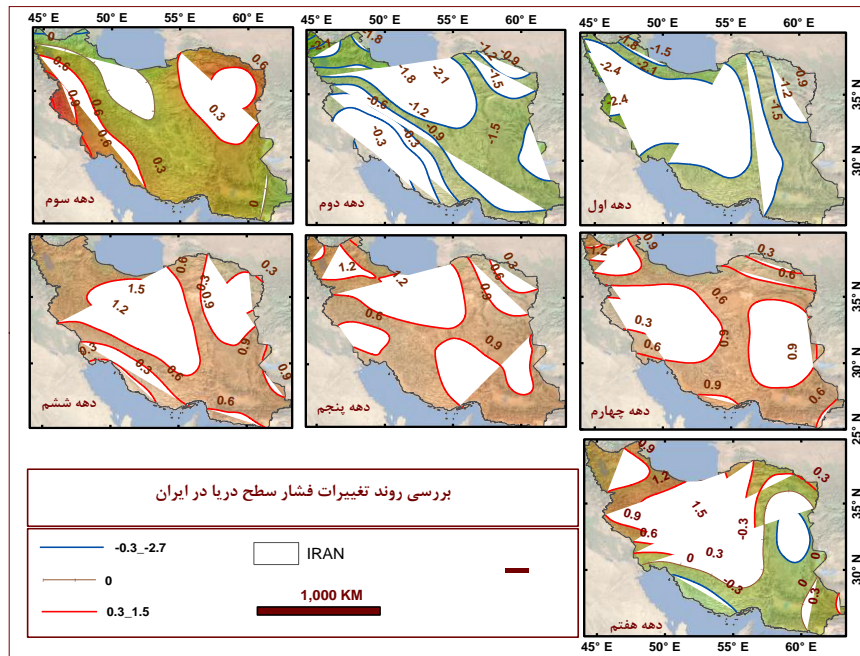
مقادیر آنومالی در دهه های اول و دوم منفی بوده و در دهه سوم در نواحی شمال غرب و غرب ایران مثبت شده است. در دهه های چهارم، پنجم و ششم مقادیر آنومالی در کل ایران مثبت شده است. در دهه آخر، بیشترین مقادیر آنومالی متعلق به نیمه شمالی کشور بوده و مقادیر آنومالی در نیمه جنوبی ایران منفی بوده است.



شکل ۷. نمودار روند میانگین، میانگین حداقل و میانگین حداکثر سالانه فشار سطح دریا ایران در فصل پاییز (مأخذ: نگارندگان)

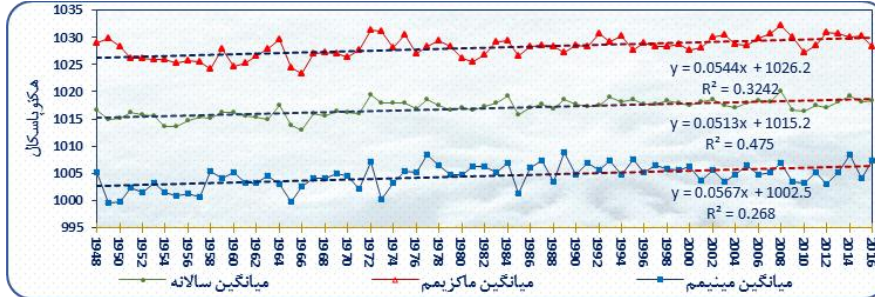


شکل ۸. نقشه های میانگین ده ساله فشار سطح دریا در فصل پاییز از دهه اول تا دهه هفتم (مأخذ: نگارندگان)

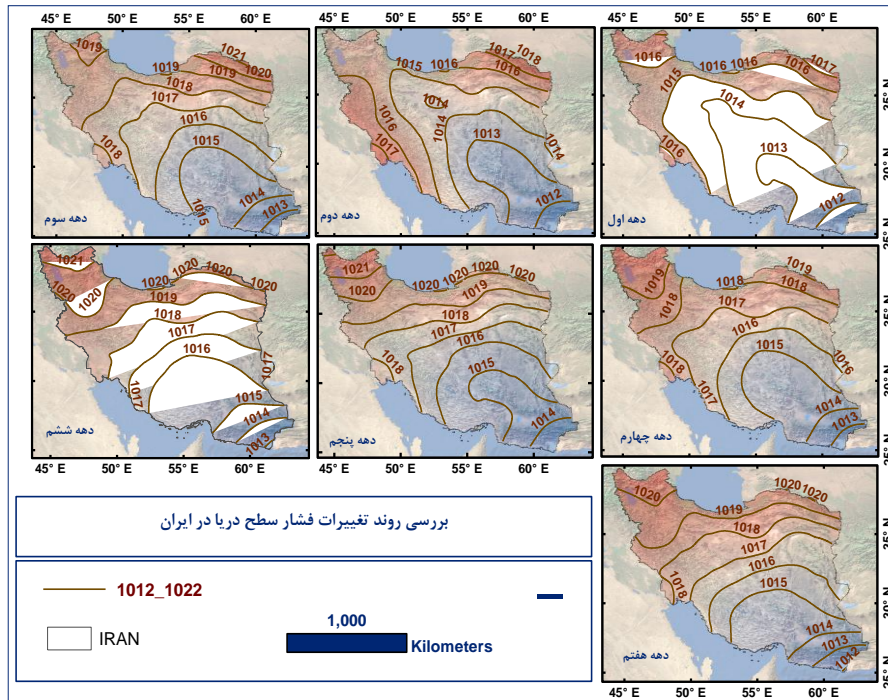


شکل ۹. نقشه‌های آنومالی ده‌ساله فشار سطح دریا در فصل پاییز از دهه اول تا دهه هفتم (مأخذ: نگارندگان)

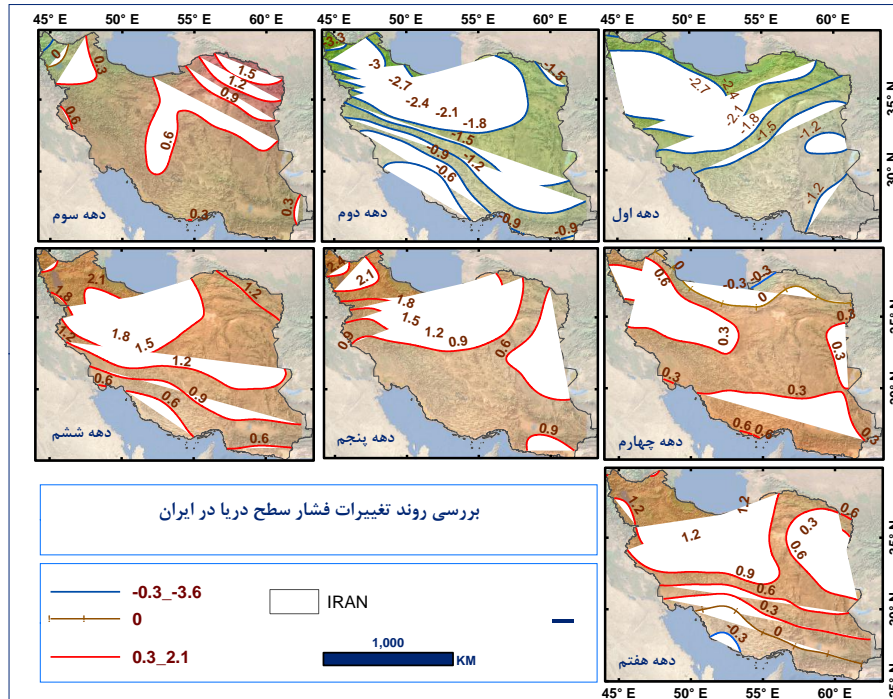
زمستان: میانگین ۶۹ ساله فشار سطح دریا در فصل زمستان ۱۰۱۶/۹۷ هکتوپاسکال و میانگین بیشترین و کمترین فشار سطح دریا به ترتیب ۱۰۲۰/۱۳ و ۱۰۱۲/۸۵ هکتوپاسکال در سال‌های ۲۰۰۸ و ۱۹۶۶ میلادی بوده است. براساس نتایج آزمون روند مقدار p-value برای سه متغیر میانگین، میانگین حداکثر و میانگین حداقل فشار سطح دریا کوچک‌تر از مقدار سطح معناداری ۰/۰۵ است و بنابراین فرضیه صفر رد و فرضیه H_1 مبنی بر وجود روند داده‌ها در این سری تأیید می‌شود. میانگین، میانگین حداقل و میانگین حداکثر فشار سطح دریا به ترتیب ۰/۰۵۴۴، ۰/۰۵۱۳ و ۰/۰۵۶۷ بوده که به معنای افزایش مقدار فشار با آهنگ ۰/۵۴۴، ۰/۵۱۳ و ۰/۵۶۷ هکتوپاسکال در هر ده سال برای سه متغیر ذکر شده است (شکل ۱۰). نقشه‌های میانگین ده‌ساله فشار سطح دریا (شکل ۱۱) نشان می‌دهند که بیشترین مقادیر میانگین فشار در شمال غرب و کمترین مقادیر در جنوب شرق ایران است. نقشه‌های آنومالی ده‌ساله فشار سطح دریا نشان می‌دهند که در دهه آخر دوره تحت بررسی، به‌جز باریکه کوچکی در جنوب غرب ایران، دیگر نواحی ایران دارای مقادیر آنومالی مثبت بوده است (شکل ۱۲).



شکل ۱۰. سری زمانی میانگین، میانگین حداقل و میانگین حداکثر سالانه فشار سطح دریا در فصل زمستان (مأخذ: نگارندگان)

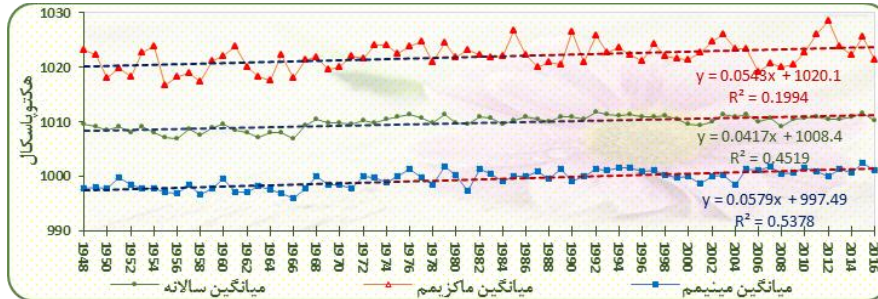


شکل ۱۱. نقشه‌های میانگین ده‌ساله فشار سطح دریا در فصل زمستان از دهه اول تا دهه هفتم (مأخذ: نگارندگان)

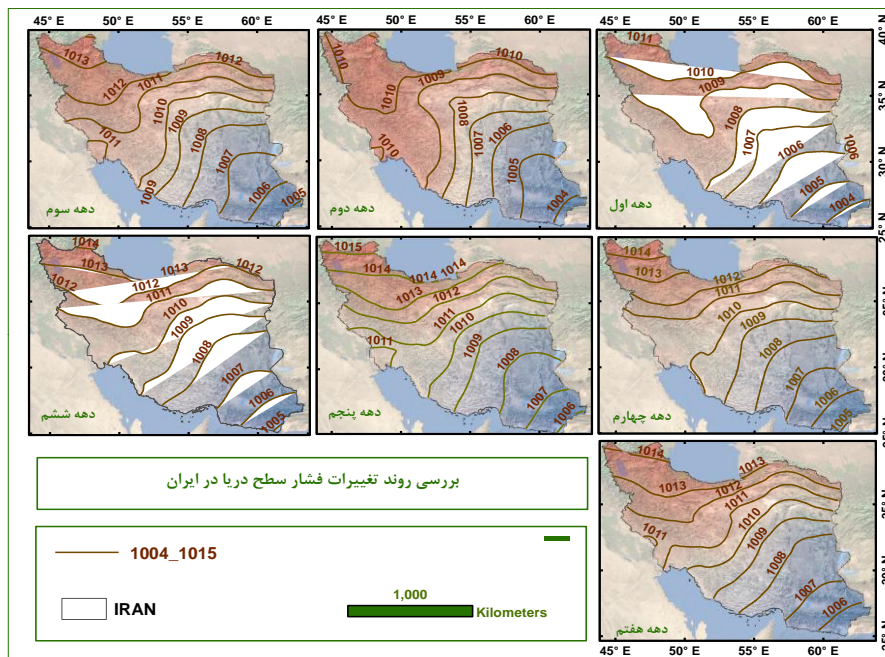


شکل ۱۲. نقشه‌های آنومالی ده‌ساله فشار سطح دریا در فصل زمستان از دهه اول تا دهه هفتم (مأخذ: نگارندگان)

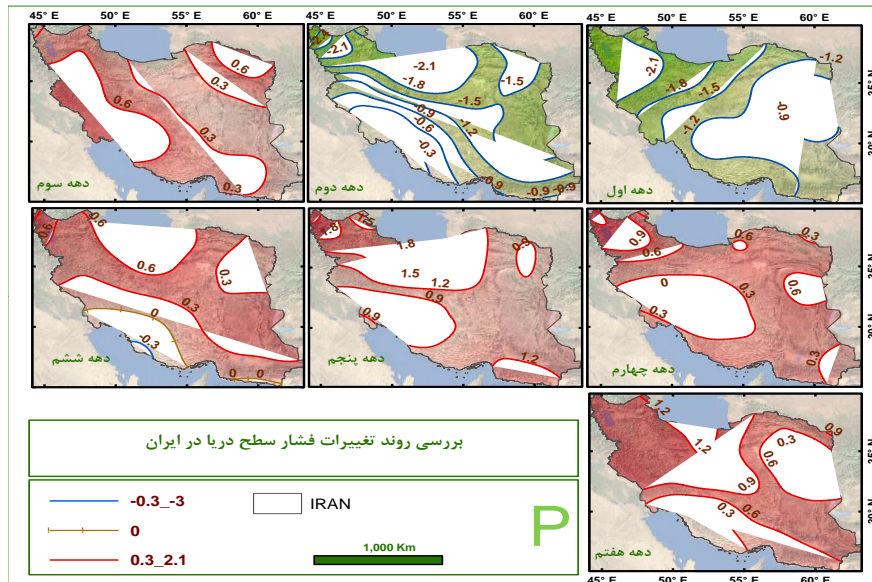
بهار: میانگین ۶۹ ساله فشار افقی سطح دریا در فصل بهار ایران ۱۰۰۹/۸۸ هکتوپاسکال است. میانگین بیشترین و کمترین فشار سطح دریا در این فصل ۱۰۱۱/۸۲ و ۱۰۰۶/۷۸ به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۵۶ میلادی بوده است. مطابق شکل ۱۳ براساس نتایج آزمون روند، مقدار $p\text{-value} = 0/0001$ است؛ بنابراین، فرضیه H_0 در داده‌های سری زمانی فشار سطح دریا در فصل بهار رد و فرضیه H_1 مبنی بر صفر نبودن همبستگی و در نتیجه وجود روند داده‌ها تأیید می‌شود. میانگین فشار سطح دریا در فصل بهار با آهنگ ۰/۴۱۷ هکتوپاسکال در هر ده سال در حال افزایش است. نقشه‌های میانگین ده‌ساله نشان می‌دهند بیشترین مقادیر فشار سطح دریا در شمال غربی ایران و کمترین مقادیر در جنوب شرقی ایران است (شکل ۱۴). نقشه‌های آنومالی فشار سطح دریا (شکل ۱۵) در دهه هفتم نشان‌دهنده آنومالی مثبت در کل محدوده ایران بوده و بیشترین مقادیر افزایش فشار در نواحی ساحلی دریای خزر بوده است.



شکل ۱۳. سری زمانی میانگین، میانگین حداقل و میانگین حداکثر سالانه فشار سطح دریا در فصل بهار (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۱۴. نقشه‌های میانگین ده‌ساله فشار سطح دریا در فصل بهار از دهه اول تا دهه هفتم (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۱۵. نقشه‌های آنومالی ده‌ساله فشار سطح دریا در فصل بهار از دهه اول تا دهه هفتم (مأخذ: نگارندگان)

بحث و نتیجه‌گیری

از بزرگ‌ترین چالش‌ها در کاهش اثر مخاطرات اقلیمی، دسترسی و شناخت عناصر اقلیمی و آموزش به‌موقع جوامع است. یکی از مهم‌ترین پیامدهای تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی، تغییرات مکانی-زمانی الگوهای گردش جوی است که ویژگی‌های اقلیمی مناطق مختلف کره زمین را متأثر می‌سازد و سبب ایجاد تغییراتی در فصول اقلیمی، مقادیر و شدت عناصر اقلیمی به‌ویژه بارش و دما می‌شود. از این‌رو در این پژوهش، تغییرات فشار سطح دریا در ایران در فصول مختلف از سال ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۶ میلادی بررسی شد. بررسی نمودار روند سری زمانی مقادیر میانگین، متوسط حداقل و متوسط حداکثر فشار سطح دریا با آزمون من کاندال در فصول مختلف نشان داد که مقدار p-value در تمامی موارد کوچک‌تر از ۰/۰۵ است و مقدار فشار سطح دریای ایران دارای سیر صعودی معنادار است. بیشترین افزایش میانگین فشار سطح زمین در فصل زمستان اتفاق افتاده است. مقادیر افزایش فشار سطح دریا یا همان ضریب همبستگی مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱. مقادیر ضریب همبستگی (ضریب x) فشار سطح دریا در ایران در فصل‌های مختلف

فصل	میانگین فشار سطح	میانگین حداکثر فشار سطح	میانگین حداقل فشار سطح
تابستان	۰/۰۴۸۷	۰/۰۳۳۶	۰/۰۴۹۱
پاییز	۰/۰۳۹	۰/۰۵۴۳	۰/۰۴۹۱
زمستان	۰/۰۵۱۳	۰/۰۵۴۴	۰/۰۵۶۷
بهار	۰/۰۴۱۷	۰/۰۵۴۳	۰/۰۵۷۹

نقشه‌های میانگین ده‌ساله فشار سطح دریای ایران در فصول مختلف مشابه هم بوده و مقدار میانگین فشار از شمال ایران به سمت جنوب کاهش یافته است. مقادیر آنومالی در تمامی فصول از دهه سوم سری زمانی مورد مطالعه مثبت شده است. آنومالی مثبت حاکی از افزایش مقدار فشار سطح دریا در ایران است. افزایش فشار سطح دریا در فصل تابستان به احتمال فراوان ناشی از افزایش شدت و وسعت پرفشار جنب حاره آזור و پیشروی زیاد این سامانه به ایران است. افزایش شدت و وسعت پرفشار جنب حاره به معنای افزایش قدرت و تشدید پایداری، سازوکار عدم صعود و ایجاد شرایط خشکی و خشکسالی و به عبارتی تغییر اقلیم و ایجاد مخاطرات اقلیمی در مناطق تحت تسلط پرفشار جنب حاره است. مطالعه و شناسایی گذشته و حال سامانه‌های فشار سطح زمین در آگاهی بخشی، آمادگی و پیشگیری قبل از وقوع بعضی از مخاطرات اقلیمی منتج از این تغییرات اهمیت زیادی دارد. در حال حاضر شناسایی تغییرات فشار سطح زمین در ایجاد مخاطرات اقلیمی در برخی از کشورها اهمیت زیادی دارد و پیشنهاد می‌شود در این زمینه مدیران و متخصصان ایرانی سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های لازم را اتخاذ کنند و با پیش‌بینی و بهینه‌سازی فعالیت‌های خود خسارات ناشی از این مخاطرات اقلیمی را بکاهند.

منابع

- [۱]. احمدی حجت، معصومه؛ احمدی گیوی، فرهنگ؛ و؛ حجام، سهراب (۱۳۹۲). فرهنگ. بررسی روند تغییرات پرفشار سیبری و تأثیر آن بر میدان‌های هواشناختی در بازه زمانی ۱۹۴۸ تا ۲۰۰۸، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، ش ۲، ص ۱۳۸-۱۲۷.
- [۲]. آرنس، سی. دونالد (۱۳۹۱). هواشناسی نوین، ترجمه محمدرضا بابایی، تهران: آبیژ.
- [۳]. اسمیت، کیت (۱۳۹۰). مخاطرات محیطی، ترجمه ابراهیم مقیمی و شاپور گودرزی‌نژاد، تهران: سمت.

- [۴]. رضیعی، طیب؛ مفیدی، عباس؛ و زرین، آذر (۱۳۸۸). «مراکز فعالیت و الگوهای گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی خاورمیانه و ارتباط آنها با بارش ایران»، *مجله فیزیک زمین و فضا*، دوره ۳۵، ش ۱، ص ۱۴۱-۱۲۱.
- [۵]. حجازی‌زاده، زهرا (۱۳۷۲). بررسی سینوپتیکی نوسانات فشار زیاد جنب حاره، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۶]. علی‌پور، یوسف (۱۳۹۵). بررسی تغییرات پرفشار جنب حاره تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیوار ایران، استاد راهنما زهرا حجازی‌زاده، رساله دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه خوارزمی، گروه جغرافیا.
- [۷]. فرح‌زاده، منوچهر (۱۳۹۲). *مخاطرات اقلیمی ایران*، تهران: سمت.
- [۸]. قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۹). *نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم‌افزار گردس*، تهران: سپا دانش.
- [۹]. کاویانی، محمدرضا؛ و علیجانی، بهلول (۱۳۹۵). *مبانی آب‌وهواشناسی*، چ ۱۹، تهران: سمت.
- [۱۰]. محمدی، حسین (۱۳۸۷). *مخاطرات جوی*، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۱]. مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۶). «چرا دانش مخاطرات (مخاطره‌شناسی امری فطری است)؟»، *مجله مدیریت مخاطرات محیطی*، دوره ۴، ش ۱، ص ۷-۱.
- [۱۲]. مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۳). *دانش مخاطرات (برای زندگی با کیفیت بهتر و محیط پایدارتر)*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۳]. یارنال، برنت (۱۳۸۵). *اقلیم‌شناسی هم‌دید و کاربرد آن در مطالعات محیطی*، ترجمه سید ابوالفضل مسعودیان. اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.
- [14]. Barry, R.G and Carleton, A.M. (2001). *Synoptic and Dynamic Climatology*. Routledge, PP386.
- [15]. Casty, C., Handorf, D., Raible, C.C., González-Rouco, J.F., Weisheimer, A., Xoplaki, E., Luterbacher, J., Dethloff, K., Wanner, H., 2005, Recurrent Climate Winter Regimes in Reconstructed and Modeled 500 hPa Geopotential Height Fields over the North Atlantic-European Sector 1659– 1990, *Climate Dynamics*, Vol. 7-8, No. 24, PP. 809–822.
- [16]. Gillett, N. P., Zwiers, F. W., Weaver, A. J. and Stott, P.A. 2003, Detection of Human Influence on Sea-level Pressure, *Nature*, Vol. 40, No. 422, PP. 292– 294.
- [17]. Gong, D.Y. and Ho, C. H., 2002, The Siberian High and Climate Change over Middle to High Latitude Asia, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 17, No.72, PP. 1-19.

- [18]. Hoerling, M. P., Hurrell, J. W. and Xu, T., 2001, Tropical Origin for Recent North Atlantic Climate Change, *Science*, Vol. 5514, No. 292, PP. 90-92.
- [19]. Hu, Y., and Q. Fu., 2007, Observed Poleward Expansion of the Hadley Circulation Since 1979, *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 7, PP. 5229–5236.
- [20]. Lu, J., C. Deser, and T. Reichler., 2009, Cause of the widening of the tropical belt since 1958, *Geophys Research. Letters*, 36, L03803, DOI:10.1029/2008GL036076.
- [21]. Marshall, G.J. 2002. Trends in Antarctic Geopotential Height and Temperature: A Comparison between Radiosonde and NCEP–NCAR Reanalysis Data, *Journal of Climate*, Vol.15, No. 6, PP. 659-674.
- [22]. Panagiotopoulos, F., Shahgedanova, M. and Stephenson, D., 2005, Observed Trend and Teleconnections of the Siberian High: A Recently Declining Center of Action, *Journal of climate*, Vol.18, No.2, PP.1411-1422.
- [23]. Raible, C.C., Stocker, T.F., Yoshimori, M., Renold, M., Beyerle, U., Casty, C. and Luterbacher, J. 2005, Northern Hemispheric Trends of Pressure Indices and Atmospheric Circulation Patterns in Observations, Reconstructions, and Coupled GCM Simulations. *Journal of Climate*, Vol. 19, No.18, PP. 3968–3982.
- [24]. Reichler, Thomas., 2009, *Climate Change: Observed impacts on Planet Earth*, published by Elsevier, The Netherlands. PP. 149.
- [25]. Seidel, D. J., Fu, Q., Randel, W. J. and Reichler, T. J., 2008, Widening of the Tropical Belt in a Changing Climate, *Nature Geosci*, Vol. 1, No. 1, PP. 21–24.
- [26]. Shindell, D.T., Miller, R.L., Schmidt, G.A and Pandolfo, L., 1999, Simulation of Recent Northern Winter Climate Trends by Greenhouse-gas Forcing, *Nature*, Vol. 6735, No. 399, PP. 452-455.
- [27]. Thompson, D. W. J., Wallace, J. M. and Hegerl, G. C., 2000, Annular Modes in the Extratropical Circulation, Part II: Trends, *J. Clim.*, Vol. 5, No. 13, PP. 1018-1036.
- [28]. Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai., 2007, *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Publishing, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.