

اثر گرمایش جهانی بر مرکز چرخندزایی شرق مدیترانه و ارتباط آن با ناهنجاری بارش نیمه‌ی غربی ایران

محمدامین حیدری*، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده‌ی جغرافیا - دانشگاه تهران

فرامرز خوش اخلاق، استادیار آب و هواشناسی، دانشکده‌ی جغرافیا - دانشگاه تهران

چکیده

در این پژوهش از سه پایگاه داده‌ی سازمان هواشناسی ایران (در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰) بر اساس ۱۴ ایستگاه در غرب کشور، پایگاه داده‌های بازکاوی شده‌ی سازمان مطالعات محیطی ایالات‌متحده (در دوره‌ی ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۴) و پایگاه داده مرکز مدل‌های GCM و RCM کشور کانادا با دوره‌ی آماری (۲۰۵۰-۱۹۶۰) به صورت ماهانه استفاده شد. همچنین در این پژوهش با استفاده از آزمون روندیابی R همبستگی، مدل HADGEM1 و دو سناریو A1B و A2، اثر گرمایش جهانی بر تغییرات فشار و دما مرکز چرخندزایی شرق مدیترانه و ارتباط آن با ناهنجاری بارش غرب ایران مورد واکاوی قرار گرفت و الگوی مکانی این ارتباط با استفاده از روش IDW در محیط ArcGIS ترسیم شد. بر اساس یافته‌های این پژوهش روند تغییرات مؤلفه‌های فشار و دما در شرق مدیترانه افزایشی و معنادار است که در این بین بیش‌ترین افزایش عمدتاً در ترازهای بالایی جو رخ داده و همچنان ادامه دارد. در طول سه دهه‌ی آتی بر اساس سناریو A2 مقادیر فشار تراز دریا در این منطقه در ابتدای دهه تا انتهای آن در حدود ۱٫۷ تا ۳ میلی بار افزایش فشار به نسبت متوسط ۱۹۶۰-۱۹۹۰ را تجربه خواهد نمود. این مقادیر برای سناریو A1B، ۱٫۸ تا ۲٫۲ میلی بار برآورد گردید. در مجموع نتایج این پژوهش، نشان‌دهنده‌ی افزایش دما و فشار جو در منطقه‌ی شرق دریای مدیترانه در دوره‌ی ۶۵ ساله‌ی اخیر و بر اساس نتایج مدل‌سازی تا سال ۲۰۵۰ تداوم این افزایش پیش‌بینی می‌شود و همچنین با توجه به رابطه‌ی وارون و قوی بین تغییرات فشار و دما جو در این منطقه و اثر آن بر ناهنجاری‌های بارشی غرب ایران، احتمال رخداد خشک‌سالی‌های فراگیر در نیمه‌ی غربی ایران در دهه‌های اخیر و احتمالاً آتی افزایش یافته است.

واژگان کلیدی: مراکز کنش جوئی، شرق مدیترانه، ناهنجاری بارش، گرمایش جهانی، غرب ایران.

۱- مقدمه

تغییرپذیری از ویژگی‌های ذاتی سامانه‌ی اقلیم است. دستگاه اقلیم ضمن داشتن ماهیت پویا و تغییرپذیر کاملاً در هم‌بافته بوده و اجزاء آن مرتبط با یکدیگر کنش دارند؛ به‌گونه‌ای که هر تغییری در یک جزء، تغییر در سایر بخش‌ها را نیز سبب خواهد شد. به‌طور کلی اقلیم یک منطقه در کنترل عوامل متعددی از جمله تغییرات مراکز کنش جوئی قرار دارد. عملکرد مراکز کنش جوئی، نقش مؤثری در تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت عناصر آب‌وهوایی مناطق مختلف کره‌ی زمین دارند. اصطلاح مراکز کنش جوئی^۱ برای نخستین بار به وسیله‌ی تیسنس^۲ در سال ۱۸۸۱ استفاده شد. در گذشته، این عبارت برای مناطق بیشینه و کمینه فشار روزانه بر روی نقشه‌های فشار استفاده می‌شد. امروزه معنای کلی مراکز کنش جوئی در نیمکره‌ی شمالی برای کم‌فشار دینامیکی آیسلند، پرفشار دینامیکی آزرز- برمودا، پرفشار دینامیکی اقیانوس آرام، پرفشار گرمایی سبیری (در زمستان) و کم‌فشار گرمایی آسیایی (در تابستان) استفاده می‌شود. به‌کار بردن اصطلاح مراکز کنش جوئی برای دیگر سامانه‌های جوئی با فشار متوسط و با شدت کمتر نیز امکان‌پذیر است. نوسانات فشار در این مراکز رابطه‌ی تنگاتنگی با تغییرات آب‌وهوایی گسترده و طولانی مدت دارد (واژه‌نامه‌ی هواشناسی، انجمن هواشناسی آمریکا^۳، ۲۰۱۳). مراکز کنش جوئی شرایط اقلیمی سطح زمین را در محدوده‌های منطقه‌ای و محلی کنترل می‌کنند (اقتباس از علیجانی و کاویانی، ۱۳۸۵: ۶۲) و طبیعتاً تغییرات در این کانون‌های کنترل، تغییرات در اقلیم محلی و منطقه‌ای را به دنبال دارد که از طریق الگوهای پیوندازدور می‌تواند تغییر در کلیه‌ی الگوهای جوئی در مناطق دوردست را موجب شود (حیدری، ۱۳۹۲: ۵۵).

با توجه به پژوهش‌های پیشین، یکی از مناطق بسیار مهم در ناهنجاری‌های بارشی ایران، منطقه‌ی چرخندزایی مدیترانه است. منطقه‌ی مدیترانه با آب‌وهوای متغیرش به‌طور فصلی تأثیرات مستقیم ناوه‌ی فوقانی را به‌صورت ریزش توده‌ی هوای سرد قطبی به سمت استوا با مقدار تاوایی نسبی مثبت زیاد و حرکت صعودی در بخش جلویی ناوه و به دنبال کشیدن آشفته‌گی‌های سطح زمین را تجربه می‌کند (جاکوب^۴، ۱۹۸۷: ۱۳۴). فرایندهای جوئی در مدیترانه بیشتر خصوصیت حاره‌ای دارد تا این که از قوانین کژفشاری عرض‌های میانی پیروی کند (لشکری، ۱۳۷۵: ۷۷). عامل صعود بارش‌ها در دوره‌ی سرد سال به وسیله‌ی سامانه‌های مهاجر دریای مدیترانه تأمین می‌شود. این سامانه‌ها رطوبت خود را هم از این دریا فراهم می‌کنند (علیجانی، ۱۳۷۴: ۸۷). سهم این کم‌فشارها در بارش‌های ایران خصوصاً در نواحی شمال غرب زیاد است؛ به‌طوری که ۴۹/۹ درصد از بارش‌های سالانه شمال غرب ایران ناشی از کم‌فشارهای مدیترانه‌ای است (بیاتی خطیبی و همکاران، ۱۳۷۸: ۱۵). مدیترانه، یکی از مناطق مهم چرخندزایی به خصوص در فصل زمستان بوده که شارش‌های گرمای محسوس و نهان نقش اصلی را در دینامیک چرخندهای مدیترانه‌ای دارند (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۵: ۱۵). مسیر چرخندهای مدیترانه‌ای عمدتاً در طول ماه فوریه مناطق جنوبی و در طول دوره‌ی دسامبر تا ژانویه مناطق شمالی دریای مدیترانه می‌باشد (جوانمرد و همکاران، ۱۳۸۲: ۱۴۱).

هریس و همکاران^۵ (۱۹۶۲) تغییرات روزانه‌ی باد، فشار و دما در وردسپهر و پوش‌سپهر را برای آزرز برای هر ماه از سال ۳۰ در تراز از سطح زمین تا ۱۰ هکتوپاسکالی را مورد بررسی قرار دادند. لیدوف^۶ (۱۹۷۷) به بررسی علت تشکیل

- 1- Atmospheric action centers
- 2- L. Teissenenc
- 3- <http://glossary.ametsoc.org>
- 4- Jacobs
- 5- Harris
- 6- Lydolph

پرفشار سبیری و سازوکار تغییرات فشار آن به لحاظ سینوپتیکی پرداخت و نتیجه گرفت که هسته‌ی اصلی این پرفشار با هوای سرد جنب قطبی و هم‌چنین سرمایش سطح زمین در فصل سرد رابطه نزدیکی دارد. علیجانی (۱۹۸۷) در رابطه‌ی پراکندگی مکانی مسیرهای خاورمیانه با سامانه‌های هوایی تراز بالا نشان داد که اثر سامانه‌های تراز بالا بیش‌تر از نقش ناهمواری‌ها و الگوهای فشار سطح دریا است. آلپرت و همکاران (۲۰۰۴) ضمن بررسی همبستگی فشار جوّی با زمان تأثیر در دو نقطه از مدیترانه، به منظور تعریف و پایش چرخندها در شرق مدیترانه و رابطه‌ی آن با تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب، احتمالات مختلفی را با توجه به ضریب همبستگی بالا برای هر فصل ارائه دادند. بارث و استینکل^۷ (۲۰۰۴) نشان دادند که تقویت توده‌ی هوای مرطوب مدیترانه‌ای به علت فعالیت‌های فرارفتی در کشور عراق و نیز اثر رشته‌کوه‌های زاگرس در فصل سرد سال نقش بسیار مهمی در تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران دارند. بلترامدو و کمبرلین^۸ (۱۹۹۳) ارتباط گردش‌های جوّی و تغییر در بارش‌های سالانه را در منطقه‌ی سومالی مورد مطالعه قرار دادند و بین این بارش‌ها و فشار در روی اقیانوس هند، همبستگی مثبت را به دست آوردند. گانگ و هو^۹ (۲۰۰۱) در بررسی فشار سطح متوسط دریا در محدوده‌ی پرفشار سبیری با استفاده از داده‌های بازکاوی شده دو مرکز CRU و NCAR در یک دوره‌ی ۶۰ ساله نشان دادند که فشار متوسط دریا در این الگو در ۲۰ سال آخر دوره‌ی پژوهش (۱۹۷۶-۱۹۹۵) به ترتیب ۲/۱۵ و ۱/۵۷ هکتوپاسکال تضعیف شده است. مکابه^{۱۰} (۲۰۰۱) در پژوهش خود نشان داد در سال‌های اخیر شدت فعالیت کم‌فشارهای عرض‌های میانی کاهش و هم‌زمان میزان فعالیت الگوهای چرخندی عرض‌های بالا افزایش یافته است. چابوروا^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۲) به تحلیل مسیر حرکت سیکلون‌های مدیترانه‌ای در رابطه با جت تراز بالا پرداختند. مگلیتا^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به بررسی چگونگی شکل‌گیری و هدایت سیکلون‌های حرارتی بر روی دریای مدیترانه پرداختند. کویچیا^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی سیر تغییرات سیکلون‌های مدیترانه‌ای در گذشته و آینده پرداختند و این تغییرات را در راستای گرمایش جهانی تحلیل نمودند.

حیدری (۱۳۹۲) در پایان‌نامه‌ی خود به بررسی اثر گرمایش جهانی بر مراکز کنش جوّی مؤثر بر آب‌وهوای ایران پرداخت و برای پیش‌یابی الگوهای فشار تراز دریا در سه دهه پایانی قرن حاضر، از طریق آزمون همبستگی نقشه‌ی فشار تمامی مراکز کنش هم‌جوار ایران را محاسبه و ارائه کرد. جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از نقشه‌های همدید و آمار بارش روزانه، ویژگی‌های سامانه‌های مختلفی را که وارد شمال غرب ایران می‌شوند مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که در ۵۰ درصد موارد سامانه‌های ورودی به شمال غرب ایران به وسیله‌ی کم‌فشارهای مدیترانه‌ای ایجاد می‌شوند. بعد از کم‌فشارهای مدیترانه‌ای، کم‌فشارهای شمال آفریقا و شمال اروپا در ۲۱ درصد موارد، موجب ایجاد بارش در منطقه می‌شوند. فهامی (۱۳۸۰) ضمن بررسی پرفشار جنب‌حاره‌ای و ارتباط آن با تابستان‌های گرم ایران نشان داد که موقعیت محور مرکز پرفشار جنب‌حاره‌ای و جهت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نقش مؤثری در رخداد تابستان‌های گرم دارد. اوجی (۱۳۸۵) در پایان‌نامه‌ی خود به این نتیجه رسید که وجود ناوه‌ی عمیق در شرق مدیترانه که انتهای آن تا نیمه‌ی شمالی دریای سرخ کشیده شده باشد به همراه انتقال شرق به سوی مرکز فشار زیاد جنوب عربستان نقش مهمی در چرخندزایی و ایجاد دوره‌های خیلی مرطوب در منطقه‌ی غرب ایران ایفا می‌کند. حجازی‌زاده و صداقت (۱۳۸۸) در تحقیقی با عنوان

7- Barth and Steinkhol

8- BeltramdoandCamberlin

9- Gongand Ho

10- MaCabe

11- Chaboureau

12- Miglietta

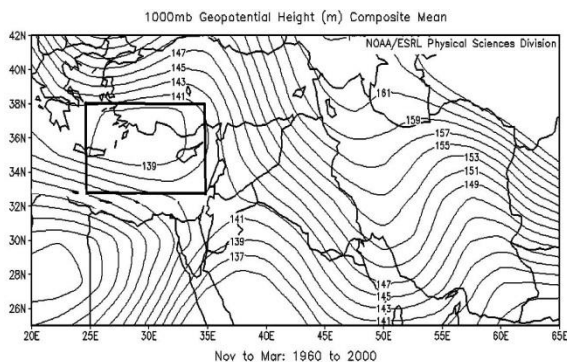
13- Cavicchia

مسیریابی رقومی سیکلون‌های خاورمیانه در دوره‌ی سرد سال، بیش‌ترین فراوانی ورود این سامانه‌ها را از جانب غرب و شمال غرب اعلام می‌دارند. غریبی (۱۳۸۸) در پایان‌نامه‌ی خود با عنوان تحلیل و پیش‌بینی آماری فعالیت مراکز عمل جوی و ارتباط آن با بارش‌های ایران به این نتایج دست یافت که در تغییرات بارش مناطق مختلف ایران، مراکز فشار ایسلند و سودان بیش‌ترین سهم را دارند و مدیترانه در مرتبه‌ی بعد قرار می‌گیرد. محمدنژاد (۱۳۸۸) در بررسی اثر بازه‌های نوسان سالانه کمربند پرفشار جنب‌حاره و پرفشار سیبری بر چرخندزایی مدیترانه و بارش ایران به این نتیجه رسیدند که بین بازه نوسان سالانه کمربند پرفشار جنب‌حاره در شرق مدیترانه و فراوانی چرخندهای مرکز شرق مدیترانه همبستگی $0/64$ وجود دارد و اثر این نوسان بر بارش‌های غرب ایران معنی‌دار است. رضیئی و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی مراکز فعالیت و الگوهای گردش جو زمستانه تراز 500 هکتوپاسکال روی خاورمیانه و ارتباط آن با بارش ایران به این نتیجه رسیدند که الگوی فضایی توزیع بارش زمستانه‌ی ایران به غیر از سواحل جنوبی دریای خزر در سایر مناطق کشور به خوبی از الگوی گردشی تراز 500 هکتوپاسکال پیروی می‌کند. رسولی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهش خود با عنوان تحلیل سری‌های زمانی فشار مراکز الگوهای سینوپتیکی مؤثر بر بارش‌های فصلی ایران به بررسی تغییرات فشار در مراکز فشار همسایه‌ی ایران پرداختند و نشان دادند تمامی مراکز به جز پرفشار آزرورز در فصل بهار در حال تضعیف هستند.

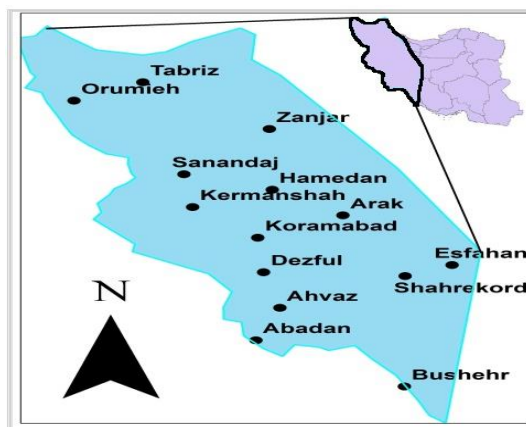
با توجه به نکاتی که پیش از این اشاره شد نقش مراکز کنش جوی مؤثر بر اقلیم ایران (از جمله مرکز چرخندزایی مدیترانه) در شرایط رخداد گرمایش جهانی و تداوم پیامدهای آن قابل توجه است. از این‌رو این پژوهش از یک سو به بررسی میزان چگونگی تغییرات فشار و دما ترازهای مختلف جو بر فراز منطقه‌ی شرق دریای مدیترانه پرداخته و از طرف دیگر ارتباط مؤلفه‌های اشاره شده با ناهنجاری‌های بارشی فراگیر غرب کشور را در مقیاس ماهانه مورد مطالعه قرار داده است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی پژوهش شامل بخش‌های غربی، شمال‌غربی و جنوب‌غربی ایران تا دامنه‌های شرقی زاگرس است (شکل ۱). با توجه به کاهش تأثیر چرخندهای مدیترانه‌ای در نیمه شرقی کشور هدف این پژوهش به بخش‌های مشخص شده در شکل (۱) محدود است. بر این اساس، منطقه‌ی هدف این پژوهش، نیمه‌ی غربی کشور می‌باشد که دارای بخش‌های کشاورزی بسیار مهمی بوده و از نوسانات بارشی بیش از سایر بخش‌ها (باتوجه به وابستگی به آب‌های سطحی و یا کشت دیم) تأثیر می‌پذیرد. با توجه به هدف اصلی پژوهش (برآورد عددی میزان تغییرات دما و فشار مرکز چرخندزایی شرق مدیترانه و ارتباط آن با ناهنجاری بارش در غرب ایران) در شکل (۲) مرکز شرق مدیترانه به عنوان یکی از مراکز کنش جوی مؤثر بر آب‌وهوای ایران به ویژه در فصل سرد مشخص شده است. چهارچوب این مرکز بر اساس نقشه تراز 1000 هکتوپاسکالی در متوسط دوره‌ی $1960-2000$ برای ماه‌های نوامبر-مارس قرار دارد. بر این اساس و با توجه به موقعیت مرکز کم‌ارتفاع تراز 1000 هکتوپاسکالی در شرق مدیترانه حدود این مراکز برای مطالعه بر اساس داده‌های $2/5^*2/5$ درجه سازمان مطالعات محیطی ایالات متحده در محدوده‌ی $32/5$ تا $37/5$ درجه‌ی شمالی و 25 تا 35 درجه‌ی شرقی در نظر گرفته شده است.



شکل ۲: نقشه‌ی متوسط درازمدت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و موقعیت یاخته فشاری شرق دریای مدیترانه (چارچوب مشخص شده منطقه‌ی پژوهش در شرق مدیترانه است)



شکل ۱: نقشه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه همراه با پراکندگی ایستگاه‌های منتخب

۳- مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از سه پایگاه داده به صورت ماهانه استفاده شده است. پایگاه داده‌ی اول، سازمان هواشناسی ایران (در دوره‌ی ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰)، پایگاه داده‌ی دوم داده‌های بازکوی شده‌ی سازمان مطالعات محیطی ایالات متحده^{۱۴} (در دوره‌ی ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۴) و پایگاه داده‌ی سوم مرکز داده‌های مدل‌های GCM و RCM کشور کانادا^{۱۵} با دوره‌ی آماری (۲۰۵۰-۱۹۶۰) بوده است. با توجه به هدف پژوهش، ابتدا تغییرات دما و فشار جو در لایه‌های مختلف بر اساس پایگاه داده‌ی سازمان مطالعات محیطی ایالات متحده مورد بررسی و روندیابی (بر اساس روش معناداری R خط روند) قرار گرفت. با توجه به نتایج آزمون روندیابی تغییرات دما و فشار (ارتفاع ژئوپتانسیل) جو منطقه‌ی شرق مدیترانه در دوره‌ی مشاهداتی، لازم بود بر اساس یک مدل GCM تایید شده‌ی جهانی، پیش‌بینی تغییرات برای دهه‌های آتی انجام شود. از این رو با استفاده از پایگاه داده‌ی مدل‌های GCM و RCM کشور کانادا تغییرات فشار تراز دریا منطقه‌ی مورد مطالعه طی دهه‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ با استفاده از مدل پیشرفته HADGEM1^{۱۶} و بر اساس دو سناریو A1B و A2 انجام شد. با توجه به نتایج مدل سازی HADGEM1 و بر اساس هدف نهایی پژوهش (شناسایی اثر و ارتباط تغییرات جو مرکز چرخندزایی شرق مدیترانه با ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب ایران) از پایگاه داده‌ی سازمان هواشناسی استفاده شده است. بر این اساس، از داده‌های ۵۰ ساله ۱۴ ایستگاه غرب کشور (ایستگاه‌های همدید دارای دوره‌ی مشترک آماری) به منظور تعیین ناهنجاری‌های فراگیر ماهانه بارش بر اساس نمره‌ی استاندارد (Z) در بازه‌ی ماه‌های نوامبر تا مارس بهره گرفته شده است. بر اساس روش کار این پژوهش، ماه‌هایی که نمره‌ی استاندارد مجموع بارش ماهانه‌ی آن‌ها خارج از محدوده ± 0.5 بوده است، مورد بررسی قرار گرفت که در این بین، به منظور ارزیابی تغییرات ناهنجاری فراگیر بارش در غرب کشور، ماه‌های مشترکی که در آن حداقل ۹ ایستگاه از مجموع ۱۴ ایستگاه مورد مطالعه دارای شرایط بالا بودند، به عنوان موارد مطالعاتی ناهنجاری شناخته شدند. از مجموع تمام ماه‌های مورد مطالعه در این بررسی تعداد ۵۵ ماه دارای شرایط بالا بوده (جدول ۱) که مقادیر بارش ایستگاه‌ها در این ماه‌ها با میزان فشار و دمای ترازهای مختلف جو (تراز دریا، ۵۰۰، ۸۵۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال) در مرکز شرق دریای مدیترانه، با روش همبستگی پیرسون آزمون شدند و مقادیر همبستگی و سطح معناداری برای کل

14- <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl>

15- <http://www.cccsn.ec.gc.ca/?page=dd-gcm>

16- Hadley Global Environment Model

نیمه‌ی غربی کشور به روش عکس فاصله (IDW) در محیط ArcGIS10 درون‌یابی و نقشه‌ی همبستگی ناهنجاری بارش ماهانه کشور با تغییرات دما و فشار مرکز شرق مدیترانه ارائه شد. لازم به ذکر است با توجه به هدف پژوهش، بازه‌ی زمانی این بررسی در ماه‌های فصل مرطوب منطقه (نوامبر-مارس) انجام شده است. همچنین جهت بررسی روند تغییرات مقادیر مؤلفه‌های جوّی مرکز شرق مدیترانه روندیابی تغییرات در چهار تراز جوّی (تراز دریا، ۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال) انجام شد و به منظور ارائه‌ی دیدی جامع از تغییرات در تمام ترازهای جوّی و تعیین تغییر در نرّم اقلیمی از نمودار نمایه ارتفاعی (هاف مولر) استفاده گردید. از این‌رو تفاوت مؤلفه‌های دما و فشار جو در متوسط دوره‌ی ۱۹۴۹ تا ۱۹۸۰ نسبت به دوره‌ی ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ از تراز ۱۰۰۰ تا ۱۰ هکتوپاسکالی بر فراز منطقه چرخندزایی شرق مدیترانه در چهارچوب تعیین شده، در نمودار هافمولر ترسیم شد. در پایان نیز ضمن جمع‌بندی یافته‌های پژوهش به ارزیابی روند تغییرات مؤلفه‌های جوّی مرکز شرق دریای مدیترانه در دوره‌ی مشاهداتی و محاسباتی و ارتباط و اثر آن بر بارش‌های غرب ایران پرداخته شده است.

جدول ۱: ماه‌های دارای ناهنجاری فراگیر بارش ماهانه مورد بررسی در این پژوهش

نوامبر ۱۹۶۴	نوامبر ۱۹۹۰	دسامبر ۱۹۷۳	ژانویه ۱۹۹۵	فوریه ۲۰۰۴
نوامبر ۱۹۶۶	نوامبر ۱۹۹۱	دسامبر ۱۹۸۷	ژانویه ۲۰۰۱	فوریه ۲۰۰۵
نوامبر ۱۹۶۷	نوامبر ۱۹۹۳	دسامبر ۱۹۹۵	فوریه ۱۹۶۵	مارس ۱۹۶۱
نوامبر ۱۹۶۸	نوامبر ۱۹۹۴	دسامبر ۱۹۹۸	فوریه ۱۹۷۷	مارس ۱۹۶۲
نوامبر ۱۹۷۳	نوامبر ۱۹۹۵	ژانویه ۱۹۶۱	فوریه ۱۹۸۳	مارس ۱۹۶۳
نوامبر ۱۹۷۴	نوامبر ۱۹۹۶	ژانویه ۱۹۶۵	فوریه ۱۹۸۴	مارس ۱۹۶۷
نوامبر ۱۹۷۹	نوامبر ۱۹۹۸	ژانویه ۱۹۶۹	فوریه ۱۹۸۸	مارس ۱۹۷۲
نوامبر ۱۹۸۴	دسامبر ۱۹۶۱	ژانویه ۱۹۷۱	فوریه ۱۹۹۷	مارس ۱۹۷۳
نوامبر ۱۹۸۶	دسامبر ۱۹۶۵	ژانویه ۱۹۷۴	فوریه ۲۰۰۰	مارس ۱۹۹۰
نوامبر ۱۹۸۷	دسامبر ۱۹۶۶	ژانویه ۱۹۸۶	فوریه ۲۰۰۱	مارس ۱۹۹۵
نوامبر ۱۹۸۸	دسامبر ۱۹۶۷	ژانویه ۱۹۸۷	فوریه ۲۰۰۲	مارس ۲۰۰۴

۳-۱- معرفی مدل HADGEM1 و سناریوهای آن

مدل‌های سری HADGEM یکی از مشهورترین مدل‌های GCM تایید شده‌ی جهانی می‌باشند. ارزیابی شبیه‌سازی-های مدل HadGEM1 با مقادیر دیدبانی و بازاکاوی شده، نشان داده که توانایی شبیه‌سازی این مدل در مقایسه با HadCM3 به مقدار قابل توجهی بهبود یافته است. متغیرهای اصلی مدل مانند دما، باد، رطوبت و فشار در ارتفاعات واقع در اتمسفر آزاد بهبود یافته‌اند. همچنین قدرت تفکیک و طرح‌واره‌های دینامیکی و فیزیکی مدل نیز ارتقا یافته‌اند (Martin et al., 2006). نمونه‌ای از مهم‌ترین بهبودها در مدل مربوط به ساختار تروپوپاز و اریبی فشار سطح زمین در منطقه‌ی قطب شمال می‌شود. طرح‌واره‌های انتقال بخار آب و گازهای نادر نیز بهبود اساسی پیدا کرده‌اند (حیدری، ۱۳۹۲: ۶۲)؛ اما در بعضی جنبه‌های تغییرپذیری مانند دمای سطح آب در منطقه‌ی اقیانوس آرام، پدیده‌ی دورپیوندی انسو و بارش‌های مونسونی بهبود کم‌تری صورت گرفته است. این چند مسئله‌ی اخیر، علت و موضوع اصلی طراحی نسخه جدید مدل گردش عمومی HadGEM2 می‌باشد که در آن ضعف گفته شده‌ی اخیر نیز اصلاح شده است (بابائیان، ۱۳۸۶). در این پژوهش با توجه به برونداد مناسب خروجی‌های مدل‌های سری HadGEM از مدل گردش عمومی قوی و جدید HadGEM1 که در گزارش چهارم IPCC (2007) نتایج نسبتاً خوبی را نشان داد، استفاده شده است. همچنین سناریوهای به کارگرفته شده در

این پژوهش شامل A1B و A2 بوده است. در خانواده‌ی سناریو A1 جهان یک پارچه در نظر گرفته می‌شود. رشد اقتصادی سریع، جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر رسیده و پس از آن به تدریج کاهش می‌یابد. گسترش سریع فناوری - های جدید و کارآمد، دنیای همگرا است و درآمد و روش زندگی در بین مناطق مختلف با هم همگرا می‌شوند. در سناریو A1B تأکید بر استفاده متعادل‌تر از انواع منابع انرژی نسبت به سناریو A2 می‌باشد. در سناریوی A2 برخلاف سناریوی A1 دنیا همگرا در نظر گرفته نمی‌شود و در آن کشورها به طور مستقل عمل کرده و به خود متکی هستند. جمعیت دنیا به طور پیوسته افزایش می‌یابد، توسعه‌ی اقتصادی منطقه محور است. به عبارتی دیگر سناریو A2 یک سناریو بسیار بدبینانه و با محتوای تأکید بر استفاده از سوخت‌های فسیلی، افزایش جمعیت و افزایش تضاد طبقاتی می‌باشد (جهت اطلاع بیشتر به گزارش AR4 مربوط به هیئت بین‌الدول تغییرات اقلیم مراجعه شود).

۳-۲- سنجش عملکرد مدل

خطای جذر میانگین مربعات یا انحراف جذر میانگین مربعات (RMSE^{۱۷}) و میانگین خطای بایاس (MBE^{۱۸}) تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد. RMSE و MBE ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی توسط یک مدل می‌باشند؛ از این رو در این پژوهش با استفاده از روابط زیر (رابطه‌ی ۱ و ۲) مقادیر مربوط به صحت‌سنجی عملکرد مدل مورد آزمون قرار گرفته است.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

در این معادلات P_i مقدار برآورد شده توسط مدل، O_i مقدار اندازه‌گیری شده فراسنج مربوطه و n تعداد مشاهدات می‌باشد. حد پایین RMSE و MBE صفر بوده و مقدار آن بیانگر این است که مقادیر پیش‌بینی شده چقدر از مقادیر مشاهده شده انحراف دارد (لازار، ۲۰۰۸).

۴- بحث و نتایج

۴-۱- بررسی روند تغییرات مؤلفه‌های جوّی در منطقه‌ی شرق مدیترانه (دوره‌ی مشاهداتی)

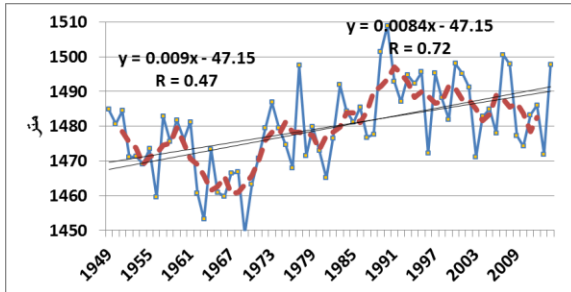
بررسی شکل‌های ۳ تا ۶ (روند تغییرات متوسط ۵ ماهه نوامبر تا مارس فشار و ارتفاع ژئوپتانسیل جو) نشان می‌دهد در چهارچوب مورد مطالعه در شرق دریای مدیترانه، فشار و ارتفاع ژئوپتانسیل جو دارای روند معنی‌دار افزایشی بوده است. مقادیر همبستگی (R) نشان می‌دهد که این افزایش در تراز دریا کم‌تر و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیش‌ترین بوده تا آن‌جا که R محاسبه شده مربوط به این تراز به صورت سالانه مقدار ۰/۴۷ و به صورت میانگین متحرک ۵ ساله به مقدار ۰/۸۳ نیز رسیده است. به لحاظ رتبه، بیش‌ترین روند تغییرات با توجه به خط وایزی، مربوط به تراز ۵۰۰ و بعد از آن به ترتیب به ترازهای ۳۰۰، ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا مربوط است. با توجه به ماهیت منطقه‌ی مدیترانه که در فصل سرد (در این پژوهش از نوامبر تا دسامبر) یک منطقه کم‌فشار و چرخندزایی تلقی می‌گردد، روند افزایشی فشار در آن به معنای کاهش

17- Root Mean Square Error

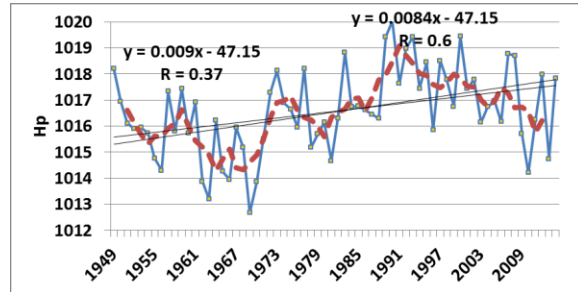
18- Mean Bias Error

۱۹- خط چین نماد میانگین متحرک ۵ ساله داده واقعی است. مقدار R بیشتر در تمامی نمودارها مربوط به میانگین متحرک می‌باشد.

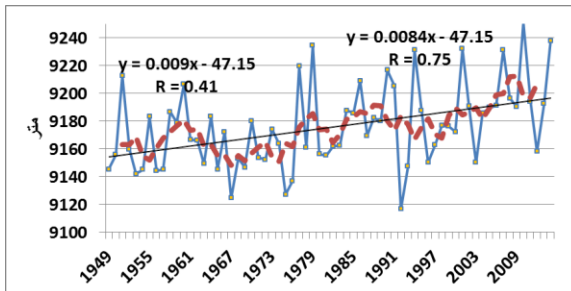
فراوانی و یا تضعیف چرخندها و به عبارتی تضعیف ناوه بادهای غربی و نیز کاهش ورود چرخندهای اقیانوس اطلس به این منطقه می‌باشد.



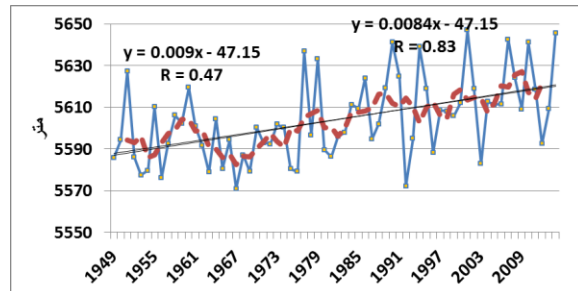
شکل ۴: سری زمانی تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال



شکل ۳: سری زمانی تغییرات فشار تراز دریا



شکل ۶: سری زمانی تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال

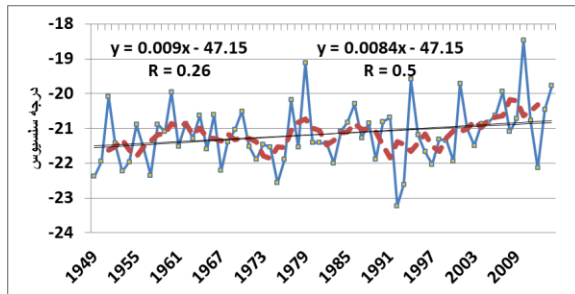


شکل ۵: سری زمانی تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

در شکل‌های ۷ تا ۱۲ روند تغییرات متوسط ۵ ماهه (نوامبر تا مارس) مقادیر دمای هوا در ترازهای مختلف جو بر اساس داده‌های ثبت شده و ضرائب همبستگی ارائه شده است. تقریباً در تمامی ترازها روند دما افزایشی معنی‌دار است. به طور کلی مقادیر خط روند الگوی مشخصی را برای ترازهای خاصی نشان نمی‌دهد. به شکلی که بیشینه میزان تغییرات مربوط به تراز دریا و سپس تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و کمینه میزان روند مربوط به تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال و به ویژه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال است. تغییرات دما و روند آن در طول پژوهش نوسانات زیادی داشته است تا جایی که نمی‌توان مقطع خاصی را به عنوان سرآغاز افزایش دما به شمار آورد.

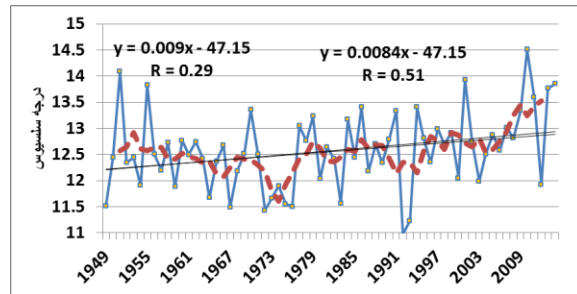
از آن‌جا که سامانه‌ی اقلیم پویا بوده و همواره رفتاری نوسانی دارد. برای اطمینان از صحت نتایج روندیابی، دوره‌ی پژوهش به دو بخش ۱۹۴۹-۱۹۸۰ و ۱۹۸۱-۲۰۱۰ به عنوان دوره‌های اول و دوم تقسیم شده و نمودارهای تغییر مؤلفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل جو و دمای هوا در تمامی ترازهای جو در بخش اول به نسبت بخش دوم دوره در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ آورده شده است. با توجه به شکل ۱۹ در دوره اقلیمی اول ارتفاع ژئوپتانسیل جو به تقریب بین ۱۱ تا ۱۵ متر از تراز ۱۰۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال کم‌تر از دوره‌ی دوم بوده که این میزان در تراز ۱۰۰ هکتوپاسکال به عد ۳۵- نیز می‌رسد. شکستگی خط نمودار در بین ترازهای ۳۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال و بعد از آن تا تراز ۱۰ هکتوپاسکال نشان‌دهنده‌ی فزونی تغییرات ارتفاع جو در این ترازها به نسبت دیگر ترازهای جو می‌باشد. از این‌رو می‌توان گفت جو بر فراز چهارچوب مورد مطالعه در شرق مدیترانه در طول ۳۰ سال اخیر افزایش ارتفاع (فشار) محسوسی داشته که احتمالاً به تضعیف موقعیت مراکز چرخندزایی این منطقه منجر خواهد شد. نکته‌ی قابل ذکر در زمینه تفاوت روند تغییرات در ترازهای بالاتر از ۱۰۰ هکتوپاسکال نسبت به ترازهای زیرین است که با توجه به ماهیت رفتاری جو کره‌ی زمین در شرایط رخداد گرمایش جهانی

است، انتظار می‌رود ترازهای بالاتر از این لایه رفتاری وارون (سرمایش) را نشان دهند. این حالت در بررسی نمودار تغییرات دمای قائم جو بر فراز منطقه‌ی مورد مطالعه مشهود می‌باشد (شکل ۱۲). در شکل یادشده دمای اقلیم‌شناختی دوره‌ی دوم (۲۰۱۰-۱۹۸۰) بر فراز مدیترانه به تقریب از لایه‌های زیرین تا ۳۰۰ هکتوپاسکال حدود ۰/۳ درجه‌ی سلسیوس گرم‌تر از دوره‌ی اول است. بیش‌ترین تغییرات در این نمودار در ترازهای ۲۰۰ و ۱۵۰ هکتوپاسکالی به ترتیب به میزان ۰/۸ و ۰/۹ درجه‌ی سلسیوس است. هم‌چنین سرمایش هوا در قله‌ی جو موجب کاهش ۱/۱ درجه‌ی در دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول شده است.



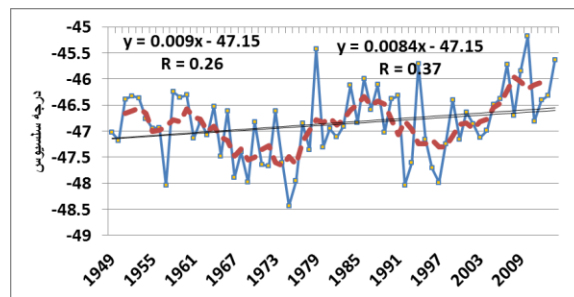
شکل ۹: سری زمانی تغییرات دمای هوا

تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در منطقه‌ی شرق مدیترانه

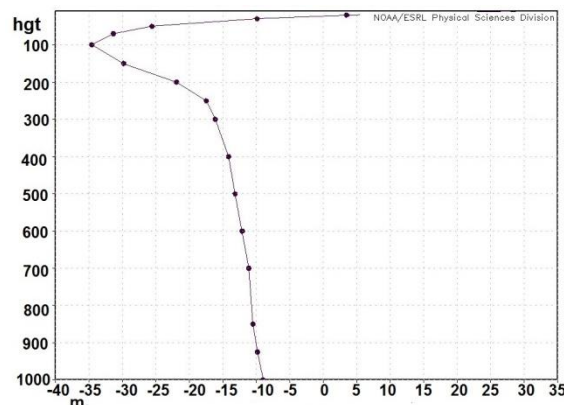


شکل ۷: سری زمانی تغییرات دمای هوا

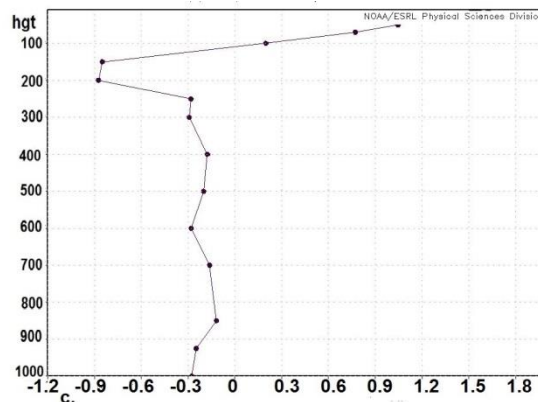
در تراز دریا در منطقه‌ی شرق مدیترانه



شکل ۱۰: سری زمانی تغییرات دمای هوا تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال در منطقه‌ی شرق مدیترانه



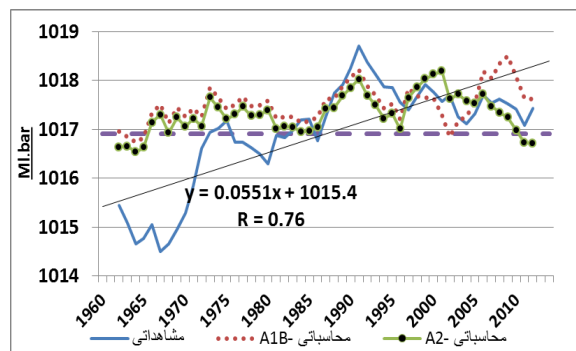
شکل ۱۱: نمودار هاف مولر (نمایه قائم) تفاوت ارتفاع ژئوپتانسیل جو در دوره‌ی اول اقلیمی مورد مطالعه (۱۹۸۰-۱۹۴۹) نسبت به دوره‌ی دوم (۲۰۱۰-۱۹۸۱)



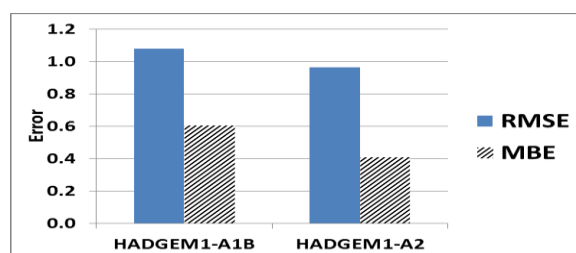
شکل ۱۲: نمودار هاف مولر (نمایه قائم) تفاوت دمای جو در دوره اول اقلیمی مورد مطالعه (۱۹۴۹-۱۹۸۰) نسبت به دوره‌ی دوم (۱۹۸۱-۲۰۱۰)

۲-۴- پیش‌یابی تغییرات فشار تراز دریا در منطقه‌ی شرق مدیترانه و صحت سنجی عملکرد مدل

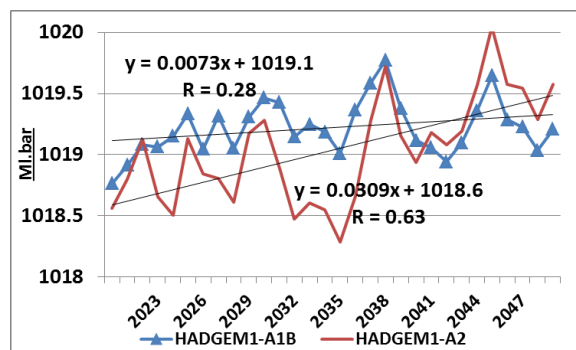
با توجه به این‌که داده‌های در دسترس از مدل HadGEM1 تنها مربوط به تراز دریا می‌باشد و ضمن این‌که در بحث چرخندزایی فشار تراز دریا یک مسئله‌ی بسیار مهم است، از این‌رو از مدل اشاره شده جهت پیش‌یابی تغییرات فشار تراز دریا در منطقه‌ی شرق مدیترانه برای سه دهه‌ی آتی (۲۰۲۰-۲۰۵۰) استفاده شده است. هم‌چنین جهت صحت‌سنجی عملکرد مدل از مقادیر RMSE و MBE که در شکل ۱۴ به منظور تعیین میزان خطای مدل استفاده شده است، نشان دهنده‌ی خطای نسبتاً پایین مدل در برآورد فشار تراز دریا در این منطقه بوده است. از آن‌جا که جهت تعیین شاخص‌های خطا (RMSE و MBE) از متوسط مدل‌سازی پنج ماهه (نوامبر-مارس) و هم‌چنین محاسبه‌ی میزان خطای داده‌های محاسباتی مدل در مقایسه با داده‌های جوی منطقه (داده‌های بازگوری شده‌ی ایالات متحده) استفاده شده است، لذا عملکرد مناسب مدل مورد پذیرش می‌باشد. اگرچه خطای مدل در مورد هر دو سناریو نسبتاً پایین و قابل اغماض می‌باشد، اما به نظر می‌رسد پیش‌فرض‌های مربوط به سناریو A2 مطابقت بیشتری با واقعیات رخ داده در طول ۵۱ سال در زمینه‌ی فشار تراز دریا داشته است. هم‌چنین مقادیر پیش‌یابی شده برای دهه‌های آتی نشان می‌دهد بر اساس سناریو A2 روند تغییرات فشار تراز دریا منطقه روندی افزایشی و به صورت مستمر می‌باشد که تفاوت مقدار R خط روند مربوط به سناریو A2 نسبت به A1B نشان دهنده‌ی افزایشی‌تر بودن تغییرات در این سناریو است. به‌طورکلی در طول سه دهه‌ی آتی بر اساس سناریو A2 مقادیر فشار تراز دریا در این منطقه در ابتدای دهه تا انتهای آن در حدود ۱٫۷ تا ۳ میلی بار افزایش فشار به نسبت متوسط ۱۹۶۰-۱۹۹۰ (شکل ۱۳) را تجربه خواهد نمود. این مقادیر برای سناریو A1B، ۱٫۸ تا ۲٫۲ می‌باشد. با توجه به خطای کم‌تر مدل تحت سناریو A2 و هم‌چنین با در نظر گرفتن افزایشی‌تر بودن تغییرات تحت این سناریو بدبینانه به نظر می‌رسد فشار منطقه در دهه‌های آتی به مقدار محسوس‌تری افزایش یابد و در عین حال چرخندزایی در این منطقه به مقدار بیشتری کاهش یابد.



شکل ۱۳: متوسط فشار تراز دریا، مشاهداتی و محاسباتی (مدل سازی) بر اساس دوره‌ی مشترک در بازه‌ی ماه‌های نوامبر - مارس. خط چین پرنگ متوسط فشار ثبت شده در دوره ۱۹۶۰-۱۹۹۰



شکل ۱۴: مقادیر خطا برآورد فشار تراز دریا منطقه توسط مدل HadGEM1 تحت دوسناریو A2 و A1B در دوره‌ی مشترک ۱۹۶۰-۲۰۱۴



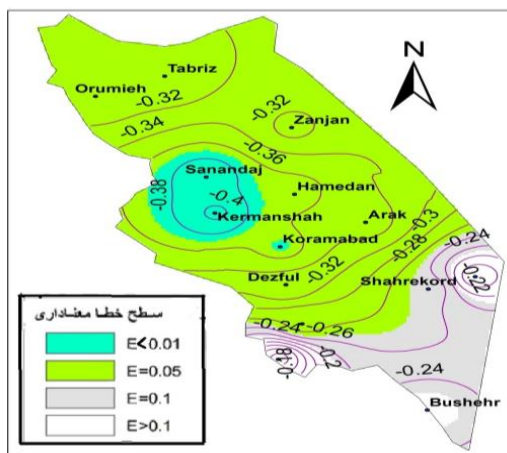
شکل ۱۱: پیش‌بینی متوسط پنج ماهه فشار تراز دریا در مرکز شرق مدیترانه توسط مدل HadGEM1 تحت دوسناریو A2 و A1B

۳-۴- ارتباط ناهنجاری‌های فراگیر بارش نیمه‌ی غربی ایران و مؤلفه‌های جوّی مرکز چرخندزایی شرق مدیترانه

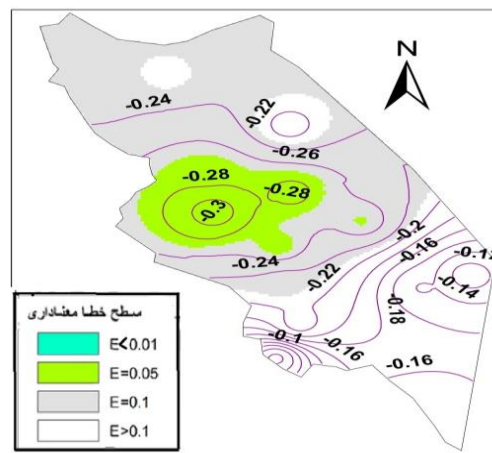
در شکل‌های ۱۶ تا ۱۹ به ترتیب در ترازهای دریا، ۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال الگوی مکانی ارتباط تغییرات فشار و ارتفاع ژئوپتانسیل جو با ناهنجاری‌های بارشی فراگیر غرب ایران نشان داده شده است^{۲۰}. خطوط پرنده میزان همبستگی و جهت آن و رنگ نقشه در هر قسمت سطح خطای معناداری همبستگی را بر اساس مقادیر بحرانی جدول مربوط به

۲۰- پرنده‌ها مقدار عددی همبستگی و جهت آن را نشان می‌دهد و رنگ زمینه‌ی نقشه معناداری و خطای همبستگی را بر اساس جدول مقادیر بحرانی معناداری در روش همبستگی پیرسون نشان داده است.

همبستگی پیرسون نشان داده است^{۲۱}. بر اساس الگوی کلی ۴ نقشه ارائه شده نمایانگر ارتباط بیش تر و معنادارتر (بیش از ۹۹ درصد) ناهنجاری بارش در غرب میانی با تغییرات فشار و دمای جو در مرکز جوی مورد مطالعه و به ویژه در ترازهای بالایی جو هستند. بر اساس مقادیر به دست آمده در شکل (۳) بخش‌های جنوب غربی و قسمتی از بخش‌های شمال غرب ارتباط همبستگی غیرمعناداری را با فشار تراز دریا در شرق مدیترانه نشان می‌دهند. الگوی مکانی و مقادیر همبستگی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ارتباط بیشتری را نشان می‌دهد تا جایی که بخش‌های جنوب غربی در سطح اعتماد ۹۰ درصد و نیمه‌ی غربی در بخش‌های سنندج و کردستان بیش از ۹۹ درصد و سایر بخش‌ها در سطح اعتماد ۹۵ درصد همبستگی را نشان داده‌اند (شکل ۴). شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند که تغییرات ارتفاع ترازهای بالایی جو (۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال) نقش تعیین کننده و همبستگی قوی با ناهنجاری بارش غرب ایران دارند. نیمه‌ی غربی و زاگرس میانی در تراز ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال همبستگی بیش از ۴۰ درصد را در برخی از بخش‌ها و با سطح اعتماد بیش از ۹۹ درصد را به دست داده است. به‌طور کلی بررسی چهار تراز یادشده در زمینه‌ی ارتباط فشار و ارتفاع جو در شرق مدیترانه با ناهنجاری بارش غرب ایران نشان می‌دهد که ترازهای بالایی بیش‌ترین تأثیر را داشته و با نزدیکی به ترازهای زیرین جو از میزان ارتباط و تأثیر کاسته می‌شود و همچنین غرب میانی، بیش‌ترین ارتباط را نشان می‌دهد و قسمت‌های جنوب غربی و شمال غربی، به ویژه در ترازهای زیرین ارتباط کم‌تر و به عبارت بهتر حساسیت کم‌تری را نسبت به تغییرات ارتفاع و فشار جو در لایه‌های زیرین در منطقه‌ی شرق مدیترانه در زمینه‌ی ناهنجاری بارش دارند.

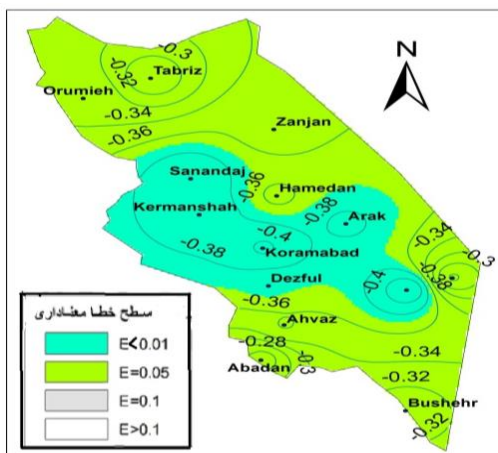


شکل ۱۷: الگوی همبستگی تغییرات ارتفاع تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب کشور

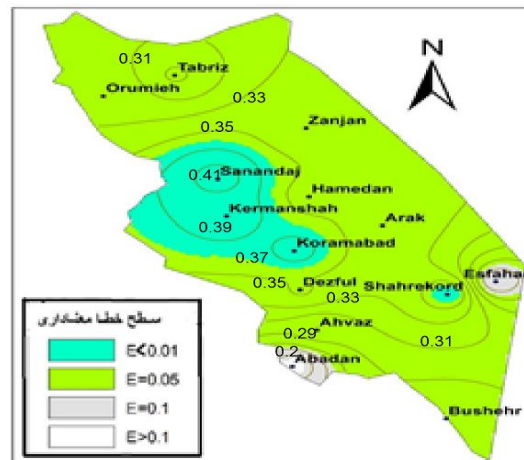


شکل ۱۶: الگوی همبستگی تغییرات فشار تراز دریا و ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب کشور

۲۱- بر اساس تعداد موارد و مقدار خطای آستانه معناداری روش همبستگی پیرسون، در این روابط مقدار همبستگی‌های ± 0.24 ، ± 0.27 و ± 0.37 به ترتیب آستانه‌های سطح اعتماد ۹۰٪، ۹۵٪ و ۹۹٪ در نظر گرفته شده است.



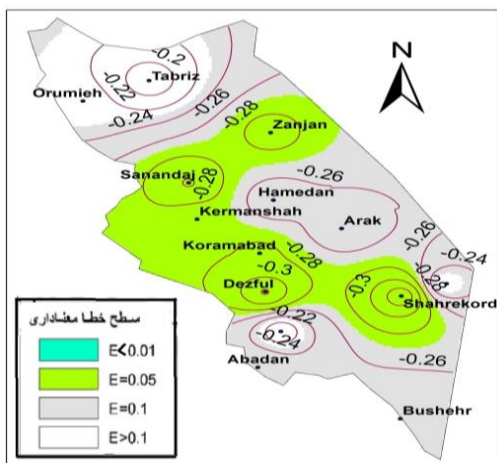
شکل ۱۹: الگوی همبستگی ارتفاع تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال و ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب کشور



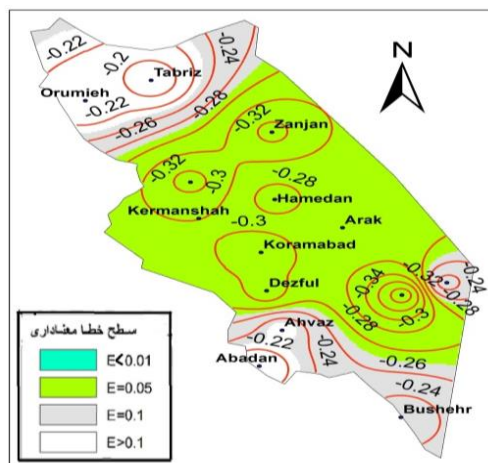
شکل ۱۸: الگوی همبستگی ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب کشور

شکل‌های ۲۰ تا ۲۳ الگوی مکانی ارتباط ناهنجاری بارش غرب ایران را با تغییرات دمای ترازهای دریا، ۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰ هکتوپاسکال در منطقه‌ی شرق مدیترانه نشان می‌دهد. به‌طوری‌که در این شکل‌ها دیده می‌شود در تراز دریا قسمت -های مرکزی نیمه‌ی غربی کشور همبستگی مناسبی در سطح اعتماد ۹۵ درصد با ناهنجاری بارش و دمای هوا در منطقه‌ی شرق مدیترانه نشان می‌دهد، در حالی‌که در شمال غرب و جنوب غرب کشور همبستگی مناسبی دیده نمی‌شود. مقدار پربندها نشان می‌دهد دمای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ارتباط بیش‌تری نسبت به تراز دریا با ناهنجاری بارش غرب ایران دارد تا جایی‌که تمام نیمه جنوب غرب کشور تقریباً همبستگی معنی‌دار با سطح اعتماد بیش از ۹۰ درصد را داراست (شکل ۸). در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال میزان همبستگی و سطح اعتماد آن از قسمت‌های شمالی به جنوبی افزایش می‌یابد. نکته‌ی قابل تأمل، فزونی میزان همبستگی نیمه‌ی جنوبی منطقه‌ی پژوهش نسبت به بخش غرب میانی است. مقدار همبستگی در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال و در بخش جنوب غرب به -0.15 و کم‌تر می‌رسد.

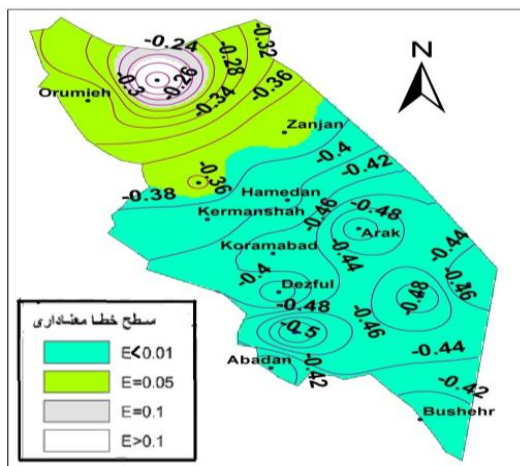
در مجموع می‌توان گفت تغییرات دمای هوا نیز با ناهنجاری بارش غرب ایران ارتباط قوی و وارون دارد. کیفیت این ارتباط به فشارجو وابسته است، اما به‌طور کلی در ترازهای بالایی ۵۰۰ و به ویژه ۳۰۰ هکتوپاسکال میزان همبستگی افزایش و به ویژه قسمت‌های جنوب غربی منطقه‌ی پژوهش حساسیت بیش‌تر و زیادی را نسبت به تغییرات دمای منطقه‌ی شرق مدیترانه نشان می‌دهد.



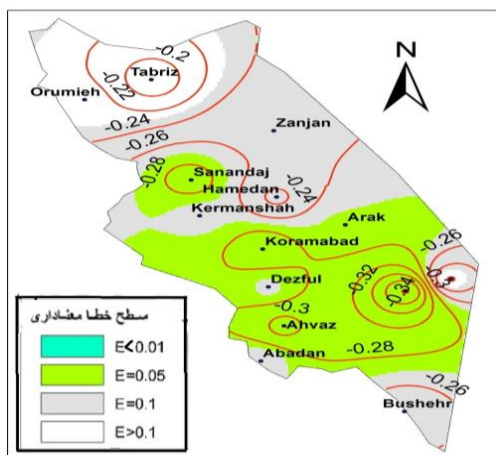
شکل ۲۱: الگوی همبستگی تغییرات دما جو در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب کشور



شکل ۲۰: الگوی همبستگی تغییرات دمای جو در تراز دریا و ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب کشور



شکل ۲۳: نالگوی همبستگی تغییرات دما جو در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال و ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب کشور



شکل ۲۲: الگوی همبستگی تغییرات دما جو در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب کشور

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش روند تغییرات مؤلفه‌های فشار و دما در شرق مدیترانه افزایشی و معنادار می‌باشد که در این بین بیش‌ترین افزایش عمدتاً در ترازهای بالایی جو رخ داده و همچنان ادامه دارد. نمایه‌های قائم مربوط به ناهنجاری تمام ترازهای جو نیز افزایش دما و ارتفاع و ردسپهر در طول سه دهه‌ی اخیر (۲۰۱۰-۱۹۸۱) را نسبت به دوره‌ی نرمال اقلیمی (۱۹۸۰-۱۹۴۹) مورد تایید قرار می‌دهد. بر این اساس ترازهای مختلف جو از تراز دریا تا ۳۰۰ هکتوپاسکال در طول سه دهه‌ی اخیر به طور متوسط بین ۱۱ تا ۱۵ متر افزایش ارتفاع داشته‌اند که میزان این تغییرات از تراز ۳۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکالی زیاد بوده و حتی به ۳۵ متر نیز می‌رسد. در زمینه‌ی دما نیز تغییرات محسوس در ترازهای زیرین جو تا ۳۰۰ هکتوپاسکال در حدود ۰/۳ درجه‌ی سلسیوس افزایش در متوسط دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول مشاهده می‌شود.

مقادیر پیش‌یابی شده‌ی فشار تراز دریا برای دهه‌های آتی نشان می‌دهد. بر اساس سناریو A2 روند تغییرات فشار تراز دریا در منطقه‌ی روندی افزایشی و به صورت مستمر می‌باشد که تفاوت مقدار R خط روند مربوط به سناریو A2 نسبت به سناریو A1B بر اساس خروجی مدل HADGEM1 نشان‌دهنده‌ی افزایشی‌تر بودن تغییرات در این سناریو (A2) است. به طور کلی در طول سه دهه‌ی آتی بر اساس سناریو A2 مقادیر فشار تراز دریا در این منطقه در ابتدای دهه تا انتهای آن در حدود ۱٫۷ تا ۳ میلی‌بار افزایش فشار به نسبت متوسط ۱۹۶۰-۱۹۹۰ را تجربه خواهد نمود. این مقادیر برای سناریو A1B، ۱٫۸ تا ۲٫۲ میلی‌بار می‌باشد. با توجه به محاسبات مربوط به میزان خطای داده‌های مدل‌سازی شده در مقایسه با داده‌های مشاهداتی (مقادیر RMSE و MBE) عملکرد مدل مورد پذیرش می‌باشد. به نظر می‌رسد پیش‌فرض‌های مربوط به سناریو A2 مطابقت بیشتری با واقعیات رخ داده در طول ۵۱ سال اخیر در زمینه‌ی فشار تراز دریا در شرق دریای مدیترانه داشته است. با توجه به خطای کم‌تر مدل تحت سناریو A2 و هم‌چنین با در نظر گرفتن افزایشی‌تر بودن تغییرات تحت این سناریو بدبینانه به نظر می‌رسد فشار منطقه در دهه‌های آتی به مقدار محسوس‌تری افزایش یابد و در عین حال چرخندزایی در این منطقه به مقدار بیش‌تری کاهش یابد.

هم‌چنین بر اساس یافته‌های به دست آمده در زمینه‌ی رخداد ناهنجاری فراگیر بارشی در نیمه‌ی غربی کشور، تغییرات فشار در ترازهای بالایی جو (۳۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال) تأثیر بیش‌تری نسبت به تغییرات ترازهای زیرین بر این‌گونه ناهنجاری‌ها دارد. به نظر می‌رسد ثبات نسبی ویژگی‌های فشاری سامانه‌های جوی در تراز بالا نسبت به ترازهای زیرین را بتوان یکی از علل مهم این مسئله دانست و مهم‌تر این که بعد از شرق مدیترانه تقریباً هیچ پهنه‌ی تقویت مجدد برای چرخندهای ورودی از دریای مدیترانه به خاورمیانه و ایران وجود ندارد؛ لذا سهم و تأثیر ترمودینامیک ترازهای بالا بسیار بیش‌تر می‌گردد. ضمن این که چون ترازهای بالایی و میانی جو (۳۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال) از تأثیر عوامل محدودکننده‌ی محلی به دور هستند اثر پیوند از دور خود را تا مسافت دورتر و با شدت بیش‌تر می‌توانند اعمال نمایند.

ناهنجاری بارش در غرب میانی بیش‌ترین همبستگی را چه در ترازهای زیرین و بالایی با تغییرات فشار جو در منطقه‌ی شرق مدیترانه دارد. بررسی الگوی مکانی همبستگی تغییرات دمای جو و ناهنجاری‌های بارش در مناطق مورد مطالعه نشان داد. در تراز دریا غرب میانی و در ترازهای میانی و بالایی جنوب غرب کشور بیش‌ترین همبستگی را در این زمینه دارد تا جایی که هسته‌ی بیشینه‌ی همبستگی در ارتباط با تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال در جنوب غرب در محدوده‌ی ایستگاه‌های اهواز، دزفول و شهرکرد به ثبت رسیده است. از این جهت به نظر می‌رسد نقش تاوه‌ی قطبی و ریزش هوای سرد در ژرف‌شدگی ناوه‌ی مدیترانه و ناهنجاری‌های بارشی جنوب غرب ایران بیش از سایر بخش‌های مورد مطالعه مؤثر است و به‌طور کلی می‌توان گفت ناهنجاری‌های بارش ماهانه در جنوب غرب ایران از دمای ترازهای بالایی جو در منطقه‌ی مدیترانه به صورت غیرمستقیم بسیار تأثیر می‌پذیرد تا حدی که میزان همبستگی این دو مؤلفه فراتر از ۰/۵- در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال به ثبت رسیده است. در مجموع الگوی مکانی همبستگی در ترازهای مختلف در زمینه‌ی ارتباط دمای جو در شرق مدیترانه و ناهنجاری‌های بارشی غرب ایران نشان می‌دهد که نیمه‌ی جنوبی و به ویژه ترازهای بالایی ارتباط قوی‌تری را با یکدیگر نشان داده‌اند و کم‌ترین ارتباط مربوط به قسمت‌های شمال غرب کشور و ترازهای زیرین جو می‌باشد؛ از این جهت می‌توان گفت تغییرات دما و فشار جو در مرکز شرق مدیترانه ارتباط وارون و بسیار قوی با ناهنجاری‌های بارشی غرب ایران دارد. در مجموع یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده‌ی افزایش دما و فشار جو در منطقه‌ی شرق دریای مدیترانه در دوره‌ی ۶۵ ساله‌ی اخیر و بر اساس نتایج مدل‌سازی تا سال ۲۰۵۰ فشار منطقه‌ی شرق مدیترانه افزایش محسوس می‌یابد. هم‌چنین با توجه به رابطه‌ی وارون و قوی بین تغییرات فشار و دما جو در این منطقه و اثر آن بر ناهنجاری‌های بارشی غرب ایران، احتمال رخداد خشک‌سالی‌های فراگیر در نیمه‌ی غربی ایران افزایش یافته است.

۶- منابع

۱. اوجی، روح الله (۱۳۸۵). مطالعه‌ی سینوپتیکی الگوهای جوّی، فراوانی و مسیرهای چرخندها در دوره‌های ترسالی غرب میانه‌ی ایران، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران.
۲. بابائیان، ایمان، نجفی نیک، زهرا، حبیبی نوخندان، مجید، زابل عباسی، فاطمه، ادب، حامد، ملبوسی، شراره (۱۳۸۶). مدل‌سازی اقلیم در دوره‌ی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G کارگاه فنی تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب، کمیته‌ی ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۳. بیاتی خطیبی، مریم، جهان بخش اصل، سعید، فرشی فروغ، جواد (۱۳۷۸). تجزیه و تحلیل سینوپتیک بارش‌های منطقه‌ی شمال غرب ایران، مجله‌ی دانش کشاورزی، سال نهم، شماره‌ی ۱.
۴. جوانمرد، سهیلا، بذاق جمالی، جواد، شهاب فر، علیرضا، خزانه‌داری، لیلی (۱۳۸۲). بررسی همبستگی تغییرات فشار قزاقستان-دریای عمان با نوسان‌های بارش ایران، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی مسلسل ۷۱، صص ۱۳۴-۱۵۰.
۵. جهانبخش اصل، سعید، بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۱). تجزیه و تحلیل سینوپتیکی بارش‌های منطقه‌ی شمال غرب ایران، دانش کشاورزی شماره‌ی ۱، صص ۳۴-۴۹.
۶. حجازی زاده، زهرا، صداقت، مهدی (۱۳۸۸). مسیریابی سیکلون‌های خاورمیانه در دوره‌ی سرد سال، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۶۹، صص ۲۲-۴۰.
۷. حیدری، محمدمین (۱۳۹۲). اثر گرمایش جهانی بر مراکزکنش جوّی مؤثر بر آب و هوای ایران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران.
۸. رسولی، علی اکبر، بابائیان، ایمان، قائمی، هوشنگ، زواررضا، پیمان (۱۳۹۱). تحلیل سری‌های زمانی فشار مراکز الگوهای سینوپتیکی مؤثر بر بارش‌های فصلی ایران، فصلنامه‌ی جغرافیا و توسعه، سال دهم، شماره‌ی ۲۷، صص ۱۸-۴۰.
۹. رضی، طیب، مفیدی، عباس، زرین، آذر، (۱۳۸۸). بررسی مراکز فعالیت و الگوهای گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی خاورمیانه و ارتباط آن با بارش ایران، فیزیک زمین و فضا، شماره‌ی ۱، صص ۶۱-۷۹.
۱۰. علیجانی، بهلول (۱۳۷۴). آب‌وهوای ایران، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.
۱۱. علیجانی، بهلول، کاویانی، محمدرضا (۱۳۸۵). مبانی آب و هوا شناسی، تهران: انتشارات سمت.
۱۲. غریبی، ابراهیم (۱۳۸۸). تحلیل و پیش‌بینی آماری فعالیت مراکز عملکرد جوّی و ارتباط آن با بارش‌های ایران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
۱۳. غیور، حسنعلی، مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۷۵). بررسی نظام تغییرات مجموع بارش سالانه در ایران زمین، مجله‌ی نیوار، دوره‌ی جدید، شماره‌ی ۲۹، صص ۶ تا ۲۷.
۱۴. فهامی، لیدا (۱۳۸۰). بررسی مطالعه‌ی پرفشار جنب حاره‌ی و ارتباط آن با تابستان‌های گرم در ایران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال.
۱۵. لشکری، حسن (۱۳۷۵). الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب غربی ایران، پایان‌نامه‌ی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
۱۶. محمدنژاد، علیرضا (۱۳۸۸). اثر بازه‌های نوسان سالانه پرفشار جنب حاره و پرفشار سیبری بر چرخندزایی مدیترانه و بارش ایران، فیزیک و فضا، شماره‌ی ۸، صص ۲۵-۴۳.

17. Alijani, Bohlool (1987). Relationship betwin spatial distribution of cyclonic Track of Middle East with upper atmospheric weather system, Geographical Research Quartery, No.4, pp 125-143.
18. Alpert Paol. Osetinsky, Iizar. Zivb, Benjamin. Shafir, Hanas. (2004). Semi-objective classification for daily synoptic systems: application for eastern Mediterranean climate change, Theoretical Journal of Climatology, 96, pp 3-15.
19. Beltrando, George, Chamberlain, Palmen (1993). «Intrnnual Variability of Rainfall in the Eastern Horn of Africa & Indicators of AtoshericCirculation». Int. J. Climatol. Vol 13. pp 533-546.
20. Cavicchia, L., von Storch, H., Gualdi, S. (2014). Mediterranean tropical-like cyclones in present and future climate. J. Clim. 27, pp 7493–7501.
21. Chaboureau, J.-P., Pantillon, F., Lambert, D., Richard, E., Claud, C. (2012). Tropical transition of a Mediterranean storm by jet crossing. Q. J. R. Meteorol. Soc. 138, pp 596–611.
22. Gong, DY, Ho, CHe, (2001). Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia, Theoretical and Applied Climatology.
23. Harris, MILES, Finger, Strain (1962). Diurnal Variation of wind, pressure and Temperature in the Tropospher and Stratosper over the azorse, jurnal of Atmospheric science 19. pp 136-149.
24. Jacobet, Jeimz. (1987). Variations of trough positions and precipitation, Oxford University press, England, pp 134.
25. Lazar, Brian, Williams, Mark (2008). Climate Change in Western Ski Areas: Potential Changes in the Timing of Wet Avalanches and Snow Quality for the Aspen Ski area in the years 2030 and 2100, Cold Regions Science and Technology 51, pp 219-228.
26. Lydolph, Powell (1977). climate of the Soviet Union word survey of climatology, volume 1. Department of Geography university of Wisconsin Milwaukee, 1977.
27. Martin, Georg, Ringer, Milar, Pope, Viliam, Jones, Alen, Dearden, Casias, Hinton, Jemiz (2006). The Physical properties of the atmosphere in the new Hadley Centre Global Environmental Model, HadGEM1. Part I. Model description and global climatology. J. Clim. 19, pp 1274–1301.
28. McCabe, Gregory, Clark, jeison, and Serreze, Monal (2001). Trends in Northern Hemisphere Surface Cyclone Frequency and Intensity, Journal of Climate.
29. Miglietta, M.M., Laviola, S., Malvaldi, A., Conte, D., Levizzani, V., Price, C., (2013). Analysis of tropical-like cyclones over the Mediterranean Sea through a combined modelling and satellite approach. Geophys. Res. Lett. 40, 2400–2405.
30. Steinkohl, Frank, Barth, Hong (2004). Origin of winter precipitation in central lowdands of Saudi arebia, jornal of arid environmental 57, pp 101-115.
31. www.glossary.ametsoc.org
32. www.chaharmahalmet.ir
33. www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl