

واکاوی اثر گرمایش جهانی بر منطقه کم‌فشار سودان - دریای سرخ و ارتباط آن با بارش‌های جنوب غرب ایران

محمدامین حیدری^{*}، دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

فرامرز خوش‌اخلاق، استادیار آب‌وهواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۳/۱۲/۲۷ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۳، صص ۹۱-۱۱۲

چکیده

در این پژوهش از سه پایگاه داده به ترتیب سازمان هواشناسی ایران (در دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۱)، داده‌های بازکاوی‌شده سازمان مطالعات محیطی ایالات متحده (در دوره ۲۰۱۰-۱۹۴۸) و مرکز داده‌های مدل‌های GCM و RCM کشور کانادا با دوره آماری (۲۰۴۰-۱۹۶۰) استفاده شد. همچنین روش‌های همبستگی اسپیرمن، آزمون روندیابی R همبستگی و من‌کندال و مدل ۱۳ - سناریوی جفت‌شده توصیه‌شده IPCC به منظور مطالعه اثر تغییرات فشار منطقه سودان و دریای سرخ بر ناهنجاری‌های بارشی منطقه جنوب غرب ایران و در ارتباط با گرمایش جهانی به کار رفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد رابطه وارون و معناداری بین فشار منطقه دریای سرخ و سودان با بارش ایستگاه‌های جنوب غرب ایران به ترتیب در سطح آماری ۹۹ و ۹۵ درصد اطمینان وجود دارد؛ بدین ترتیب ناهنجاری بارش ماهیانه در ایستگاه‌های منتخب در جنوب غرب ایران، رابطه معناداری با تغییرات فشار هوا در منطقه سودان و دریای سرخ دارد. مطالعه سه تراز فشار دریا، ۹۲۵ و ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد ترازهای بالاتر همبستگی بیشتری با ماه‌های دارای ناهنجاری بارش دارند؛ همچنین روندیابی دوره ۶۵ ساله (مشاهداتی) و ۳۰ ساله (پیش‌بینی) فشار در منطقه سودان و دریای سرخ (زبانۀ سودان) حاکی است فشار در تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیلی ترازهای ۹۲۵ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، روند افزایشی معناداری دارد و در دهه‌های آتی براساس خروجی بیشتر مدل‌ها بالاتر از نرمال اقلیمی (۱۹۹۰-۱۹۶۰) قرار خواهد داشت که نتایج رگرسیون خطی و آزمون من - کندال نیز آن را تأیید می‌کند. براساس یافته‌های پژوهش ترازهای بالاتر و به‌ویژه در منطقه مرکزی سلول سودانی، تغییرات شدیدتری را نسبت به زبانۀ کم‌فشار بر روی دریای سرخ در ماه‌های نوامبر تا دسامبر دارد. تغییرات فشار در ترازهای بالاتر نسبت به ترازهای زیرین بیشتر بوده است؛ از این رو استنباط می‌شود تغییرات فشار در منطقه سودانی فقط منشأ زمینی و گرمایی ندارد و آثار عوامل دینامیکی فشار در این رابطه مؤثرتر بوده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده تغییرات فشار و ارتفاع جو و تداوم آن در نتیجه پدیده گرمایش جهانی در منطقه سودان و دریای سرخ موجب افزایش خشکسالی و کاهش بارش در جنوب غرب ایران می‌شود.

واژه‌های کلیدی: گرمایش جهانی، مراکز فشار، ناهنجاری بارش، کم‌فشار سودان، جنوب غرب ایران.

مقدمه

جنوب غرب ایران از سامانه‌های بارشی متعددی تأثیر می‌پذیرد که از جمله مهم‌ترین آنها چرخندهای مدیترانه‌ای و کم‌فشارهای سودانی است. به نظر بیشتر پژوهشگران علوم جوئی، ترکیب و ادغام سامانه‌های کم‌فشار سودانی با چرخندهای مدیترانه‌ای موجب شکل‌گیری سامانه‌های بارشی قوی ترمودینامیکی می‌شود که بیشتر بارش‌های سنگین و ترسالی‌های منطقه جنوب غرب معلول چنین سازوکاری است.

سامانه‌های کم‌فشار سودانی بیشتر بر مناطق جنوب و مرکزی و به‌ویژه جنوب غرب ایران تأثیر می‌گذارند (لشکری، ۱۹۹۶: ۵۰۱). خشکسالی‌ها و ترسالی‌های نیمه جنوبی کشور ارتباط مستقیمی با میزان فعالیت این سامانه در فصل سرد دارد. زمانی که کمربند همگرایی حاره‌ای بین طول‌های ۲۰ تا ۳۵ درجه به سمت عرض‌های بالا کشیدگی پیدا می‌کند، سلولی از این کمربند جدا می‌شود و به طرف عرض‌های بالاتر حرکت می‌کند. در شرایط همدید، سلول کم‌فشاری بر روی شمال اتیوپی و جنوب سودان تشکیل می‌شود که به سامانه کم‌فشار سودانی معروف است. این کم‌فشار در ماه‌های نوامبر تا مارس به طور متوسط در عرض ۸ درجه شمالی و ۳۲ درجه شرقی مستقر می‌شود و فشار متوسط آن در زمستان حدود ۱۰۰۸ هکتوپاسکال است. در فصل سرد سال نفوذ زبانه پرفشار به نواحی شمالی سودان و فرارفت هوای سرد به طرف آن منطقه و از سوی دیگر تشکیل سامانه پرفشار بر روی عربستان موجب شکل‌گیری منطقه همگرایی ترمودینامیکی بر روی دریای سرخ می‌شود که با حرکت به شمال آن و نیز تقویت اثر ناوه عمیق تراز بالا بر روی دریای سرخ و شرق مدیترانه از سمت جنوب غرب وارد ایران و بارش‌های زیادی را به‌ویژه

نوسانات کوتاه و درازمدت بارش، همواره یکی از مباحث مهم و اساسی در مطالعات جوئی و اقلیمی بوده است. به طور کلی بارش بیش از دیگر پدیده‌های آب‌وهوایی نوسانات فصلی، سالیانه، دوره‌ای و حتی درازمدت دارد. میزان بارش در هر منطقه از متغیرهای زیادی تأثیر می‌پذیرد؛ از جمله این متغیرها، مراکز فشار گرمایی و دینامیکی است. منطقه جنوب غرب ایران از جمله مناطقی است که با نوسانات شدید بارش مواجه است. براساس پژوهش‌های پیشین (هاروی^۱ و همکاران، ۲۰۰۴، دیویس^۲ و همکاران، ۱۹۹۲، دونکرتون^۳ و همکاران، ۱۹۸۶، انگل^۴ و همکاران، ۱۹۹۲)، رخداد بارش‌های رگباری و سیل‌آسا در منطقه خاورمیانه از جمله مناطق جنوب و جنوب غرب ایران و دوره‌های مرطوب بارشی این مناطق از آثار سامانه‌های کم‌فشار سودانی یا زبانه کم‌فشار دریای سرخ دانسته شده است. بسیاری از پژوهشگران از جمله خاناه^۵ و همکاران (۲۰۰۴)، آلپرت^۶ و همکاران (۲۰۰۴)، زیو^۷ و همکاران (۲۰۰۴) و دایان^۸ و همکاران (۲۰۰۱) و در ایران نیز لشکری (۱۹۹۶ و ۲۰۰۲)، انصاری (۲۰۰۳) و سازمان هواشناسی کشور (۲۰۰۲)، مهم‌ترین سازوکار بارش‌زا را در بعضی از مناطق خاورمیانه مربوط به سامانه‌های بدون جبهه می‌دانند که در بدو تشکیل به صورت یک مرکز همگرایی کم‌عمق در شمال آفریقا دیده می‌شوند. بارش‌های منطقه

¹ Harvey

² Divis

³ Dunkerton

⁴ Angle

⁵ Kahana

⁶ Alpert

⁷ Ziv

⁸ Dayan

پیشینه پژوهش

درزمینه اثر کم فشار سودانی بر بارش‌های منطقه خاورمیانه و به ویژه بارش‌های سنگین جنوب و جنوب غرب ایران تاکنون مطالعات متعددی صورت گرفته است. پژوهش الفت (۱۹۶۸)، جزو اولین پژوهش‌هایی بود که درزمینه سامانه‌های بارشی از شمال آفریقا و دریای سرخ صورت گرفته است. وی ضمن تعیین مسیرهای عمده عبور سامانه‌های کم فشار بارشی به این نتیجه رسیده است که ۳۰ درصد این سامانه‌ها از شمال آفریقا و دریای سرخ نشئت گرفته‌اند که پس از عبور از عراق و خلیج فارس وارد ایران می‌شوند.

فرشی فروغ (۱۹۹۷) در بررسی سامانه‌های بارشی منطقه شمال غرب ضمن تأیید اثر سامانه‌های کم فشار دریای سرخ بر بارش‌های شمال غرب، مسیر عبور آنها را از دریای سرخ، عراق و در نهایت شمال غرب ایران مشخص کرده است.

عبدالحسینی (۱۹۷۹) در پایان‌نامه خود ضمن بررسی چندین کم فشار سودانی، استقرار پرفشار جنب حاره را بر روی دریای عرب و اقیانوس هند که جریان جنوب شرقی - جنوبی را موجب می‌شود و در عین حال نقش بسیار مهم آن را در تغذیه رطوبتی کم فشار سودانی بسیار مؤثر دانسته است.

فرجی (۱۹۸۱) در بررسی کم فشارهای ایران و تعیین فراوانی ماهیانه آنها حدود ۲۳ درصد از نوع سامانه‌های بارشی ورودی به کشور را از نوع سامانه‌های با منشأ سودانی تشخیص داده است.

ایزدنگهدار (۱۹۹۱) در مطالعه خود عمیق شدن ناوه در شرق مدیترانه تا منطقه دریای سرخ را در تقویت کم فشار سودانی و حرکت آن به سمت شمال شرقی مؤثر دانسته است و همچنین پرفشار مستقر بر روی

در جنوب، جنوب غرب و غرب ایران موجب می‌شود (زارعی، ۲۰۱۱: ۲۲). هرگاه زبانه کم فشار مدیترانه‌ای با کم فشار سودانی از طریق هم فشار ۱۰۱۰ یا ۱۰۱۵ هکتوپاسکال مرتبط شود و ناوه عمیق در شرق مدیترانه موجود باشد، بارش‌های شدید در جنوب و جنوب غرب و در بعضی مواقع در سراسر ایران روی می‌دهد (خوش‌اخلاق، ۱۹۹۸). منطقه سودان در قاره آفریقا جزو مناطق جنب استوایی محسوب می‌شود و از این رو ویژگی کم فشار گرمایی دارد. در فصل‌های سرد سال با نفوذ زبانه پرفشار به نواحی شمالی سودان و ریزش هوای سرد در آن منطقه، کم فشار مستقر در سودان تقویت می‌شود و از طریق همگرایی دریای سرخ از دریا‌های گرم اطراف رطوبت جذب می‌کند. در واقع این سامانه در ابتدا فعال نیست و بدون جبهه است؛ اما به تدریج که بر روی دریای سرخ کشیده می‌شود با توده‌های هوای آن منطقه برخورد می‌کند و فعال می‌شود که عموماً پس از شکل‌گیری یا از راه خوزستان وارد کشور می‌شود یا پس از عبور از روی عربستان و کویت و توقف کوتاه بر روی خلیج فارس و کسب رطوبت کافی بر استان‌های جنوبی کشور تأثیر می‌گذارد و پس از آن به طرف شرق و جنوب شرق ایران کشیده می‌شود. بارش از سامانه‌های کم فشار سودانی معمولاً به صورت همرفتی - کومه‌ای است و به این علت بیشتر مواقع پس از رخداد این‌گونه بارش‌ها، سیلاب‌های گاه مخربی در استان‌های جنوبی کشور رخ می‌دهد. بارش از سامانه‌های کم فشار سودانی غالباً آبگین است که طبعاً در برخورد با ارتفاعات بلند زاگرس یا با توده‌های هوای سردتر عرض‌های بالاتر ممکن است به صورت برف درآید.

می‌شود که نمونه‌ای از برهم‌کنش توده‌های قطبی با توده‌های حاره‌ای است و بارش‌های نسبتاً زیادی در ایران به همراه دارند.

مشکواتی و مرادی (۲۰۰۴) ناوه فشاری دریای سرخ را از دیدگاه دینامیکی بررسی کرده‌اند. براساس پژوهش آنها چنانچه فرارفت تاوایی نسبی مثبت در شرق دریای مدیترانه یا شمال دریای سرخ صورت گیرد، ناوه فشاری دریای سرخ به سوی شرق دریای مدیترانه حرکت می‌کند و سامانه‌های جوئی ایجاد شده، غرب و شمال غرب ایران را متأثر می‌سازد و چنانچه فرارفت تاوایی نسبی مثبت در شمال شرق دریای سرخ صورت گیرد، سلول‌های کم‌فشار کوچکی از ناوه فشاری دریای سرخ جدا می‌شود، به سوی شمال شرق حرکت می‌کند و بر غرب، جنوب غرب و جنوب ایران تأثیر می‌گذارد.

از دیگر پژوهش‌های مطرح در زمینه کم‌فشارهای سودانی، پژوهش مفیدی و زرین (۲۰۰۵) با عنوان «تحلیل سینوپتیکی ماهیت سامانه‌های کم‌فشار سودانی» و همچنین پژوهش قانیدی و همکاران (۲۰۱۲) است. نتایج پژوهش آنها نشان داد مقادیر پایین شاخص چرخه و استقرار پشته در تراز میانی و ردسپهر بر روی مدیترانه غربی و ناوه عمیق شرق مدیترانه در تقویت سامانه کم‌فشار سودانی و فعال شدن آن مؤثر است؛ اما نقش اصلی را مربوط به کشیده شدن تاوه قطبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی به‌منزله منبع اصلی تاوایی برای پیدایش الگوی گردش ناهنجار و تقویت سلول هدلی و جت جنب حاره بر روی مدیترانه و شمال آفریقا می‌دانند.

در همین راستا محمدی و همکاران (۲۰۱۲) سامانه‌های سودانی و رخداد بارش‌های سنگین را در

عربستان را عامل اصلی انتقال رطوبت دریای عمان به درون کم‌فشار سودانی واقع در غرب پرفشار عربستان می‌داند.

سبزی‌پروور (۱۹۹۱) نیز در بررسی سامانه‌های سیل‌زای جنوب غرب ایران، عمیق شدن کم‌فشار ایسلند بر روی اروپا و جدا شدن سلول کم‌فشاری از ایسلند یا عمیق شدن زبانه آن از طریق شمال غرب، غرب یا شمال اروپا تا دریای سیاه و مدیترانه شرقی و ایجاد یک ناوه عمیق بین پرفشار مستقر بر روی روسیه و پرفشار آזור را عامل مهمی برای دینامیکی شدن کم‌فشار سودان و در نتیجه بارش‌های شدید در جنوب غرب ایران می‌داند.

لشکری (۱۹۹۶) در رساله دکتری خود با موضوع الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، اثر سامانه‌های ترکیبی سودانی - مدیترانه‌ای را جزء عوامل اصلی بارش‌های شدید جنوب غرب ایران دانسته است.

همچنین لشکری (۲۰۰۳) در بررسی ۲۰۰ سامانه سودانی در دوره آماری ۱۹۸۹-۱۹۶۹، پنج مسیر عمده ورود این سامانه‌ها را به ایران مشخص کرد؛ در مسیر اول و دوم سامانه‌های سودانی را به صورت ادغام شده با چرخندهای مدیترانه و در سه مسیر دیگر ورود مستقل سامانه‌های سودانی را به ایران تشخیص داد.

در زمینه کم‌فشارهای ایران، آزادی و همکاران (۲۰۰۳) بارش سامانه‌های زمستانی روی ایران را پیش‌بینی عددی کرده‌اند. براساس پژوهش آنها، کم‌فشار دینامیکی مدیترانه‌ای حین حرکت به سوی شرق و جنوب شرق با تزریق هوای سرد به کم‌فشار منطقه سودان، باعث دینامیکی شدن این کم‌فشار و سامانه ترکیبی موسوم به مدیترانه‌ای - سودانی تشکیل

آب‌وهواشناسی به منظور درک بهتر رفتار سامانه آب‌وهوا، از مدل‌های آب‌وهوایی در این زمینه به‌ویژه در جهت پیش‌بینی تغییرات استفاده می‌کنند. مدل‌های آب‌وهوایی، ابزاری مهم برای بهبود درک و پیش‌بینی رفتار آب‌وهوا در مقیاس‌های زمانی ماهیانه، فصلی، سالیانه، ده‌ساله و حتی صدساله‌اند. مدل‌سازی پدیده‌های جوی کاری بسیار پیچیده است. متغیرهای بی‌شماری بر رخداد پدیده‌های جوی در یک منطقه اثرگذارند و از سویی واردکردن همه این متغیرها و حتی شناخت دقیق آنها در مدل امکان‌پذیر نیست؛ از این رو پژوهشگران علوم جوی در دهه‌های اخیر با پارامتریزه‌کردن اصلی‌ترین مفاهیم جو سعی در درک و پیش‌بینی اصلی‌ترین عناصر هوا دارند.

از دهه ۱۹۸۰ مدل‌های آب‌وهوایی برای ارائه پیش‌بینی‌های فصلی، شناسایی رفتار منطقه‌ای، انجام مطالعات واسنجی مدل‌ها و ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شدند (مدیریان و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۰۸). مدل‌های سیاره‌ای آب‌وهوا (GCMs)، مهم‌ترین و شاخص‌ترین نوع مدل‌های آب‌وهوایی‌اند؛ به طوری که تمامی پدیده‌های مؤثر بر آب‌وهوا را در مقیاس کل سیاره زمین شبیه‌سازی می‌کنند. هدف مدل‌های سیاره‌ای، شبیه‌سازی تمامی ویژگی‌های سه‌بعدی آب‌وهواست و به این دلیل جامع‌ترین مدل‌های جوئی‌اند (شمسی‌پور، ۲۰۱۳: ۹۹). در این مدل‌ها سعی می‌شود تمامی عوامل و عناصر مؤثر بر این سامانه براساس معادلات فیزیکی و شیمیایی وارد شوند که در این زمینه در دو دهه اخیر توجه ویژه به این مدل‌ها برای پیش‌بینی اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای سامانه آب‌وهوای کره زمین صورت گرفته است. تاکنون ده‌ها مدل GCM با مؤلفه‌ها و

جنوب غرب ایران بررسی و تحلیل دینامیکی کرده‌اند و اساس حرکت این سامانه‌ها را متأثر از تاوایی جلوی ناوه عمیق عرض‌های شمالی تر دانسته‌اند.

از دیگر پژوهش‌های صورت‌گرفته در زمینه کم‌فشار سودانی، پژوهش آلپرت و همکاران (۲۰۰۴)، خانا و همکاران (۲۰۰۴)، زیو و همکاران (۲۰۰۴) و دایان و همکاران (۲۰۰۱) است. نتایج کار آنها نشان داد فعالیت کم‌فشار سودانی، یکی از مهم‌ترین سامانه‌های مؤثر بر بارش خاورمیانه است.

پژوهش الفندی^۱ (۱۹۴۸) جزو اولین پژوهش‌های جهانی در زمینه کم‌فشار سودانی و دریای سرخ بوده است. الفندی نام کم‌فشار موسمی سودانی را برای این کم‌فشارها برگزید.

در سال‌های اخیر، پژوهشگران برای کم‌فشارهای بدون جبهه‌ای که از منطقه دریای سرخ و سودان به سمت شرق مدیترانه گسترش می‌یابند و موجب بارش‌های سیل‌آسا می‌شوند، نام جدید «زبانۀ کم‌فشار دریای سرخ» را برگزیده‌اند (آلپرت و همکاران، ۲۰۰۴، کریچاک^۲ و همکاران ۱۹۹۷). براساس پژوهش‌های برخی از پژوهشگران، سامانه‌های اثرگذار بر آب‌وهوای ایران در چند دهه اخیر در اثر روند گرمایش جهانی تغییراتی را در بعضی از ویژگی‌های خود (به‌ویژه در زمینه مقادیر فشار و دما) نشان داده‌اند (حیدری، ۲۰۱۳: ۱۵۰).

گرمایش جهانی با تأثیر بر مؤلفه انرژی موجود در جو کره زمین در تمامی ابعاد، تغییرات محسوسی را در مرکز فشار جو از جمله کم‌فشار سودانی و زبانۀ کم‌فشار دریای سرخ ایجاد می‌کند. متخصصان

^۱ Elfandy

^۲ Krichak

مطالعه‌شده و ارتباط آن با بارش جنوب غرب ایران، پیامدهای همدیدی گرمایش جهانی در حوضه کم‌فشار سودان و دریای سرخ و اثر آن بر ناهنجاری‌های بارش ماهیانه منطقه مدنظر (جنوب غرب ایران) تحلیل شده است. بر این اساس در این پژوهش مقادیر فشار هوا در مرکز کم‌فشار سودان و دریای سرخ در دوره مطالعاتی ۲۰۱۰-۱۹۴۸ و دوره پیش‌یابی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ مبنای تحلیل احتمال وضعیت ناهنجاری بارش در دهه‌های اخیر و آتی برای جنوب غرب ایران قرار گرفته است.

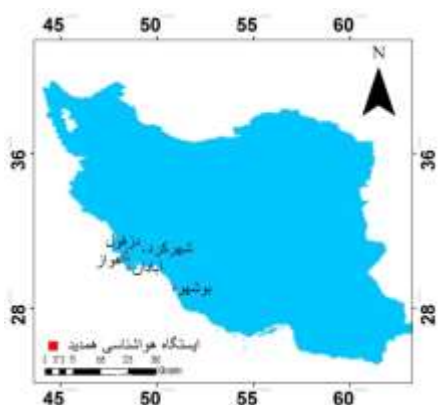
مواد و روش‌ها

در این پژوهش از سه پایگاه داده به صورت ماهیانه استفاده شده است. پایگاه داده اول، سازمان هواشناسی ایران در دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۱، پایگاه داده دوم، داده‌های بازکاوی‌شده سازمان مطالعات محیطی ایالات متحده در دوره ۲۰۱۰-۱۹۴۸ و پایگاه داده سوم، مرکز داده‌های مدل‌های GCM و RCM کشور کانادا با دوره آماری ۲۰۴۰-۱۹۶۰ بوده است. رویکرد این پژوهش در اصل از محیطی به گردشی بوده و از آنجا که هدف اساسی، واکاوی اثر گرمایش جهانی بر منطقه کم‌فشار مطالعه‌شده (شکل ۱) در دوره سرد سال و ارتباط آن با ناهنجاری بارش جنوب غرب ایران بوده است، از این رو پنج ایستگاه همدید (آبادان، اهواز، دزفول، شهرکرد و بوشهر) با دوره آماری طولانی (۲۰۱۰-۱۹۶۱) شناسایی و بارش‌های آنها که نمره استاندارد (Z) آنها از +۱ بزرگ‌تر (ماه تر) یا از -۱ کوچک‌تر (ماه خشک) بود، به‌منزله ماههای ناهنجار انتخاب شدند (شکل ۲). از بین تمام موارد ماه‌هایی که دست‌کم ۴ ایستگاه یا بیشتر، از ۵ ایستگاه

ویژگی‌های مختلف براساس مهم‌ترین سناریوهای تغییر اقلیم و افزایش گازهای گلخانه‌ای در مراکز بزرگ پایش تغییرات آب‌وهوایی اجرا شده و داده‌های خروجی آنها برای ترازهای مختلف جو در اختیار پژوهشگران قرار گرفته است. مدل‌های آب‌وهوایی درزمینه بررسی میزان تغییرات آب‌وهوایی در ارتباط با مکانیزم‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی همراه با چشم‌اندازهای متعددی از جمله دورنماهای خوش‌بینانه و بدبینانه اجرا می‌شوند. با توجه به اینکه شرح و بسط مباحث مربوط به مدل‌های شناخته‌شده این پژوهش و همچنین سناریوهای استفاده‌شده (جدول ۱) از محدوده این پژوهش خارج است، بنابراین پیشنهاد می‌شود به گزارش چهارم و پنجم^۱ IPCC (AR4 و AR5 ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳) مراجعه شود.

در مجموع با توجه به پژوهش‌های پیشین و نقش بسیار مؤثر سامانه‌های کم‌فشار سودانی بر بارش‌های منطقه خاورمیانه به‌ویژه در فصل سرد، در این پژوهش سازوکار عملکردی این سامانه درباره ناهنجاری‌های ماههای خشک و مرطوب منطقه جنوب غرب ایران در بازه نوامبر تا مارس (ماه‌های فعالیت کم‌فشار سودانی برای منطقه خاورمیانه) بررسی می‌شود. اضافه بر این براساس مطالعات انجام‌شده در این پژوهش، در طول چند دهه اخیر تغییرات معناداری در میزان فشار سامانه کم‌فشار سودانی دیده شده است که به نظر می‌رسد متأثر از پدیده گرمایش جهانی باشد؛ از این رو در این پژوهش تغییرات فشار هوا منطقه کم‌فشار سودانی در تراز دریا، ۹۲۵ و ۸۵۰ هکتوپاسکال بررسی می‌شود. در این راستا با توجه به ماهیت الگوی فشار مراکز

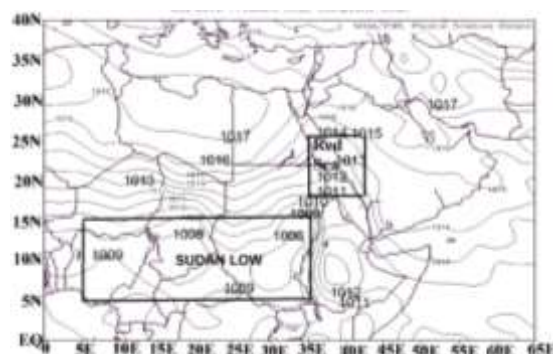
^۱ www.ipcc.ch



شکل ۲. موقعیت ایستگاه های مطالعاتی در جنوب غرب ایران

با توجه به معنادار بودن این ارتباط لازم بود روند تغییرات فشار در طول دوره ۱۹۴۸-۲۰۴۰ براساس داده های مشاهداتی و مدل سازی بررسی شود؛ از این رو روند تغییرات فشار و ارتفاع جو در ترازهای اشاره شده در دوره ۱۹۴۸-۲۰۱۰ با استفاده از داده های سازمان مطالعات محیطی ایالات متحده بررسی شد؛ همچنین با توجه به نوسانات فشار در مراکز بررسی شده روند متوسط فشار پنج ماهه منطقه پژوهش در نمودارهای مربوطه در سه تراز پیش گفته ترسیم و همچنین برای اطمینان بیشتر از چگونگی تغییرات جو در ترازهای بالاتر از نمودار هاف مولر برای مقایسه دوره نرمال اقلیمی (۱۹۴۹-۱۹۸۰) نسبت به دوره دوم مطالعه شده (۱۹۸۱-۲۰۱۰) استفاده شد. با توجه به لزوم ارائه چشم اندازی از آینده تغییرات فشار در مراکز مطالعاتی، داده های پنج مدل اقلیمی همراه با دو یا سه سناریوی A1B، A2 و B1 و در مجموع داده های ۱۳ مدل و سناریوی جفت شده جوی- اقیانوسی به کار رفت. مشخصات مدل ها و سناریوهای به کار رفته در جدول (۱) ارائه شده است. مدل های به کار گرفته شده در این پژوهش از جمله مهم ترین مدل های GCM در این رابطه اند.

موجود دارای شرط بالا بودند، به عنوان ماه های دارای ناهنجاری در مجموعه انتخاب شدند و آزمون آماری همبستگی اسپیرمن بین مقادیر بارش هر ایستگاه و فشار منطقه سودان و دریای سرخ (داده های پایگاه داده دوم) انجام شد. به منظور تعیین چهارچوب مراکز فشار مدنظر در منطقه سودان و دریای سرخ از نقشه متوسط دوره ۱۹۴۹-۱۹۸۰ تراز دریا در طول ماه های نوامبر - مارس استفاده شد که براساس آن چهارچوب ۵ تا ۱۵ درجه شمالی و ۵ تا ۳۵ درجه شرقی برای منطقه کم فشار سودان و ۱۷,۵ تا ۲۵ درجه شمالی و ۳۵ تا ۴۲,۵ درجه شرقی برای زبانه سودان بر روی دریای سرخ (منطقه همگرایی دریای سرخ) در نظر گرفته شد (شکل ۱). با توجه به هدف پژوهش، ابتدا ارتباط تغییرات فشار جو مناطق اشاره شده در لایه های مختلف (تراز دریا، ۹۲۵ و ۸۵۰ هکتوپاسکال) براساس پایگاه داده سازمان مطالعات محیطی ایالات متحده با مقادیر ناهنجاری بارش ماهیانه ایستگاه های جنوب غرب ایران بررسی شد.



شکل ۱. نقشه موقعیت و چهارچوب مکانی مراکز فشار مطالعاتی (کم فشار سودانی و زبانه دریای سرخ) در نقشه متوسط (۱۹۴۹-۱۹۸۰) تراز دریا نوامبر - مارس

جدول ۱. مشخصات مدل‌های GCM و سناریوهای استفاده‌شده در زمینه پیش‌بینی دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ در این پژوهش

شماره	مدل	سناریو	شماره	مدل	سناریو	شماره	مدل	سناریو
۱	ECHOG	A1B	۶	GFDLCM2.1	B1	۱۱	HADCM3	B1
۲	ECHOG	A2	۷	GISS-AOM	A1B	۱۲	HADGEM1	A1B
۳	ECHOG	B1	۸	GISS-AOM	B1			
۴	GFDLCM2.1	A1B	۹	HADCM3	A1B	۱۳	HADGEM1	A2
۵	GFDLCM2.1	A2	۱۰	HADCM3	A2			

رابطه (۲) قدر مطلق خطا:

$$MAE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N |F - O|}{N} \right]$$

رابطه (۳) میانگین مجذور خطا:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (F - O)^2}{N}$$

رابطه (۴) ضریب همبستگی پیرسون:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}}$$

حد پایین جذر میانگین مربعات خطا صفر و مقدار آن بیان‌کننده این است که مقادیر پیش‌بینی شده چقدر از مقادیر دیده‌شده انحراف دارد. میانگین قدر مطلق خطا بیان‌کننده مقدار متوسط خطاست و هرچه کمتر باشد، نشان‌دهنده دقت بیشتر است و میانگین مجذور خطا در واقع متوسط میزان خطا را به ازای هر مشاهده به دست می‌دهد و هرچه مقدار آن کمتر باشد، دقت بیشتری را نشان می‌دهد (مقدمیان و همکاران، ۲۰۰۸: ۹۲ و ۲۰۰۹: ۹۷۸، پیری^۴ و همکاران، ۲۰۰۹: ۸۰۵). در بخش پایانی این پژوهش با استفاده از آزمون روندیابی من - کندال به منظور اطمینان بیشتر از نتایج در سطح اعتماد ۹۵٪ روند تغییرات درازمدت فشار مراکز مطالعاتی در دوره‌های مشاهداتی و مدل‌سازی بررسی شد.

به منظور مدل‌سازی تغییرات فشار مراکز مطالعاتی به منظور کاهش حجم مطالب و همچنین مشکلات دسترسی به داده‌های ترازهای بالای جو فقط مقادیر فشار تراز دریا در یک دوره سی‌ساله (۲۰۴۰-۲۰۱۱) پیش‌یابی شد. علت تمرکز پیش‌بینی بر مقادیر فشار تراز دریا در پژوهش حاضر این است که در واقع^۱ SLP، مؤلفه‌ای استاندارد به معنای وزن هوا در ستون جو در یک سانتیمتر مربع در سطح زمین است و ماهیتاً تأثیر ترازهای بالاتر جوی را در خود دارد. همچنین به منظور بررسی اعتبار مدل‌سازی داده‌های دوره مشترک ۲۰۱۰ - ۱۹۶۰، براساس پایگاه داده دوم و سوم (مشاهداتی و مدل‌سازی) با استفاده از توابع آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، قدر مطلق خطا (MAE)، میانگین مجذور خطا (MSE) و ضریب همبستگی پیرسون (r)، بر مبنای روابط زیر، مبنای سنجش عملکرد مدل‌ها قرار گرفت. در تمامی روابط زیر F (y)، داده مدل‌سازی شده (پیش‌بینی^۲) و O (x)، داده واقعی (مشاهداتی^۳) و ثبت شده و N، تعداد داده‌هاست.

رابطه (۱) جذر میانگین مربعات خطا:

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (F - O)^2}{N} \right]^{1/2}$$

^۱ فشار هوا در تراز دریا

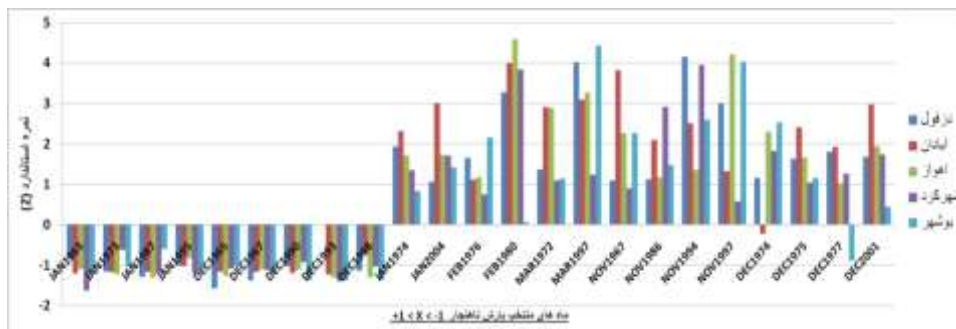
^۲ Forecast
^۳ Observations

^۴ Piri

یافته های پژوهش

۲۳ ماه دارای ناهنجاری، مجموع بارش ۹ ماه دارای شاخص خشک و ۱۴ ماه دارای شاخص تر بوده اند؛ به طور کلی اساس کار این پژوهش بر این ۲۳ ماه دارای ناهنجاری در منطقه مدنظر استوار است و همبستگی بین فشار منطقه سودانی با بارش ماه های تر و خشک بر این اساس بوده است.

بر اساس هدف پژوهش (شناسایی رابطه بارش ماه های خشک و تر با فشار و ارتفاع ژئوپتانسیل مناطق مدنظر) موارد انتخاب شده در شکل (۱) همراه با نمره استاندارد مجموع بارش ماه در ایستگاه های منتخب نشان داده شده است. بر این اساس از مجموع



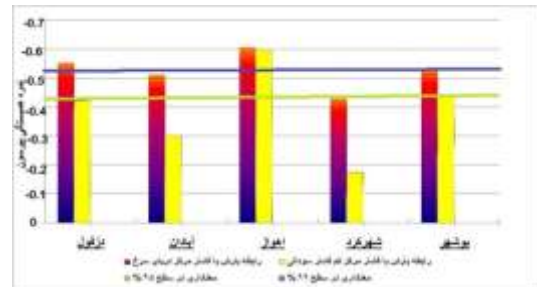
شکل ۳. نمره استاندارد مجموع بارش (شاخص) هر ایستگاه در ۲۳ ماه مطالعه شده

دارد که بر اساس مقادیر به دست آمده و با توجه به مقدار بحرانی معنادار در دو سطح مطالعه شده (۹۵ و ۹۹ درصد)، اثر همگرایی دریای سرخ نسبت به مرکز کم فشار سودانی بر ناهنجاری های بارشی منطقه جنوب غرب ایران بیشتر است (شکل ۲ و ۳ و ۴)؛ همبستگی بارش ایستگاه های آبادان و شهرکرد با مرکز کم فشار سودان منفی و غیر معنادار است که می توان نتیجه گرفت تغییرات فشار در محدوده زبانه کم فشار سودانی (همگرایی دریای سرخ) رابطه بیشتری با خشکسالی و ترسالی های منطقه نسبت به فشار سلول مرکزی کم فشار سودانی دارد. به منظور بررسی اثر ارتفاع ژئوپتانسیلی ترازهای بالا با توجه به ماهیت گرمایی کم فشار سودانی، ارتفاع ژئوپتانسیل در مناطق مدنظر با بارش های منطقه پژوهش، ضریب همبستگی آنها محاسبه شد که نتایج آن در شکل (۳) برای تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال نشان داده شده است. بر اساس این

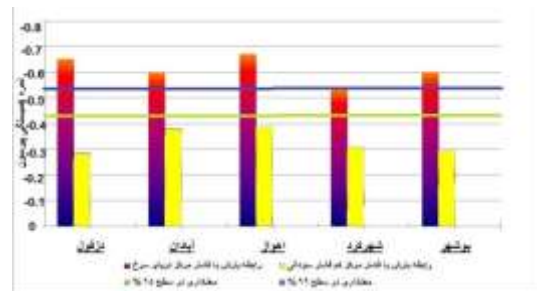
شکل (۳) مقادیر همبستگی بارش ماهیانه ایستگاه ها با فشار دو منطقه مطالعه شده در تراز دریا را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد همه ایستگاه های بررسی شده همبستگی پذیرفته در سطح ۹۵٪ را با فشار مرکز دریای سرخ (زبانه شمال سوی کم فشار سودان) از خود نشان داده اند که در این راستا اهواز بیشترین همبستگی و شهرکرد کمترین همبستگی را دارد. ایستگاه های دزفول، اهواز و بوشهر همبستگی قابل اعتماد در سطح ۹۹٪ دارند. کمترین میزان همبستگی مربوط به شهرکرد است. نتایج همبستگی بارش ایستگاه ها با فشار مرکز سلول سودانی در سه ایستگاه دزفول، اهواز و بوشهر در سطح اعتماد ۹۵٪ پذیرفته است؛ اما این مقادیر برای آبادان و شهرکرد در این سطح پذیرفته نیست. در مجموع بین تغییرات بارشی ایستگاه ها و فشار تراز دریا در منطقه سودان و دریای سرخ رابطه وارون (منفی) با یکدیگر وجود

کم‌فشار گرمایی با توجه به فاصله‌گرفتن از منشأ شکل‌گیری (گرمایش سطح زمین) واکنش‌ها به صورت ترکیبی درمی‌آید؛ ضمن اینکه اثر جریان موج بادهای غربی با در نظر گرفتن ناهمواری‌های سطح زمین در این تراز به صورت مشخص و قوی نیست. بیان این نکته ضروری است که سامانه گرمایی سودان برای فعال‌شدن و اثرگذاری بر بارش جنوب غرب ایران نیازمند دخالت موج بادهای غربی و آثار آنها در ترازهای زیرین است؛ از این رو به نظر می‌رسد ارتباط محدودتر تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال و ناهنجاری‌های بارشی منطقه مدنظر منطقی است. تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، تراز مهم از نظر سازوکارهای جو زیرین است. در این تراز عمدتاً آثار سامانه‌های گرمایی سطح زمین دیده می‌شود و از طریق آن ارتباط با سامانه‌های دینامیکی ترازهای بالاتر ایجاد می‌شود. شکل (۴) همبستگی فشار و بارش ایستگاه‌ها را در این تراز نشان می‌دهد. برخلاف شکل (۳) که هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها در سطح اعتماد ۹۵٪ با فشار مرکزی سامانه سودانی رابطه معناداری را نشان نمی‌دهند، در شکل (۴) در سه ایستگاه دزفول، آبادان و اهواز این رابطه اگرچه مقداری ضعیف‌تر است، اما در سطح اعتماد ۹۵٪ پذیرفته است که این خود بیان‌کننده تفاوت تبادلات ترمودینامیکی تراز ۸۵۰ با ترازهای زیرین است. در تراز دریا به این دلیل که ماهیت سامانه‌های جوی غالباً گرمایی است، بنابراین تغییرات شدیدتر است؛ ولی زمانی که در ارتفاع ۷۰۰ تا ۸۰۰ متری جو (تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال) همبستگی بین فشار مرکزی سودان و بارش‌های جنوب غرب ایران در نظر گرفته شود، از میزان و شدت ارتباط با سامانه گرمایی کاسته می‌شود؛ زیرا ریشه تغییرات سامانه‌های گرمایی از ویژگی‌های

شکل بارش هیچ‌یک از ایستگاه‌ها همبستگی قابل اعتمادی با ارتفاع ژئوپتانسیل سلول مرکزی سودان در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکالی ندارد.

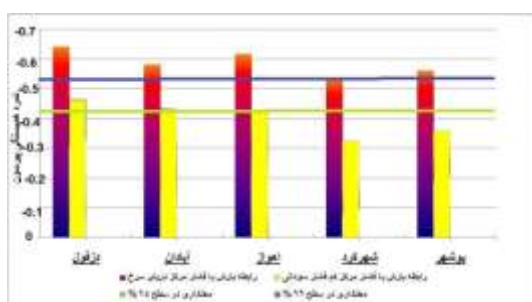


شکل ۴. مقادیر همبستگی بین فشار تراز دریا در دو منطقه مطالعه‌شده و بارش ایستگاه‌های منتخب



شکل ۵. نتایج همبستگی بین فشار تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال در دو منطقه مطالعه‌شده و بارش ایستگاه‌های منتخب

رابطه فشار منطقه همگرایی دریای سرخ با بارش‌های جنوب غرب در سطح اعتماد ۹۹٪ در همه ایستگاه‌ها پذیرفته است. در این راستا همانند تراز دریا، اهواز بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد؛ ضمن اینکه مقادیر همبستگی در تمام ایستگاه‌ها با منطقه دریای سرخ نزدیک به هم و حدود ۵/۵- تا ۶/۷- است که در این تراز نیز شهرکرد کمترین همبستگی را با ارتفاع منطقه دریای سرخ نسبت به دیگر ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به متوسط ارتفاع منطقه مطالعه‌شده تراز ۹۲۵ حد واسط بین سطح زمین و ترازهای بالاتر محسوب می‌شود. تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال در سامانه‌های



شکل ۶. نتایج همبستگی بین فشار تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در دو منطقه مطالعه شده و بارش ایستگاه های منتخب

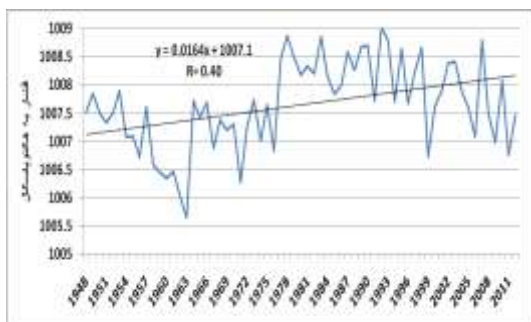
مطالعه روند تغییرات فشار و ارتفاع جو (در دوره مشاهداتی ۲۰۱۰-۱۹۴۸)

براساس مطالب پیشین و رابطه تغییرات فشار در منطقه کم فشار سودانی و زبانه آن، در این قسمت با توجه به نظریات و فرضیات اثر گرمایش جهانی بر سامانه های همدید، روند تغییرات فشار در ترازهای دریا، ۹۲۵ و ۸۵۰ هکتوپاسکال در دو منطقه سلول مرکزی کم فشار سودانی و زبانه تداوم یافته آن به سمت دریای سرخ بررسی می شود. در شکل های (۱۷) تا (۲۲) روند تغییرات فشار در دو پهنه مطالعه شده یعنی مرکز کم فشار سودانی و مرکز همگرایی دریای سرخ که مصادف با زبانه سودانی است، در فصل سرد و در تراز دریا، ۹۲۵ و ۸۵۰ را نشان داده است. براساس آزمون ضریب همبستگی (روند خطی) و آزمون روندیابی من - کندال افزایش فشار در هر دو نقطه مدنظر و در هر سه تراز پیش گفته در سطح ۹۹٪ معنادار است؛ همچنین براساس ضریب همبستگی به دست آمده می توان استنباط کرد روند تغییرات فشار در مرکز کم فشار سودانی بیش از مرکز همگرایی دریای سرخ است؛ همچنین نکته حائز اهمیت افزایش معناداری تغییرات فشار در ترازهای بالاتر نسبت به

سطح زمین است. از سوی دیگر به دلیل نزدیکی به سطح زمین نیز اثر تبدلات دینامیکی شدید نیست و در مجموع تبدلات در حالتی متوسط و ترکیبی قرار دارد؛ اما زمانی که ارتفاع ۱/۵ کیلومتری تراز دریا (تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال) در نظر گرفته شود، تقریباً نقش تبدلات دینامیک جو افزایش مشخصی می یابد. باید این نکته را نیز در نظر داشت که جو، محیطی سیال است و به لحاظ افقی حدود مرز خاصی ندارد و به ویژه این مسئله در ترازهای بالاتر مشخص تر است؛ از این رو در ترازهای بالاتر جو، اثر سامانه های همسایه بر تغییرات فشار منطقه سودان بسیار مؤثر است؛ ضمن اینکه این تغییرات با واسطه به تراز دریا انتقال می یابد؛ از سوی دیگر در رخداد ناهنجاری بارش اثر سامانه های دیگر و به ویژه همسایه سودانی نیز بسیار قوی خواهد بود؛ بنابراین رخداد ناهنجاری در بارش فقط محدود به عملکرد یک سامانه یا پهنه نخواهد بود و باید نقش دیگر مراکز فشار (از قبیل ناوه مدیترانه، پرفشار عربستان، شمال آفریقا و...) را در نظر گرفت؛ از این رو در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل مستقیماً به ماهیت کم فشار سودانی و عملکرد و تغییرات سامانه های همسایه مربوط خواهد بود و با توجه به اینکه تغییرات این سامانه ها خود در رخداد ناهنجاری بارش مؤثر است، از این رو تراز ۸۵۰ همبستگی بیشتری را نسبت به تراز دریا یا ۹۲۵ هکتوپاسکال در رابطه با ناهنجاری های بارشی جنوب غرب ایران نشان می دهد. در مجموع در این تراز نیز مانند ترازهای زیرین ارتباط بین فشار منطقه مرکزی دریای سرخ و بارش های جنوب غرب ایران به قدری شدید است که همبستگی بیشتری در سطح اعتماد بیش از ۹۹٪ دیده می شود.

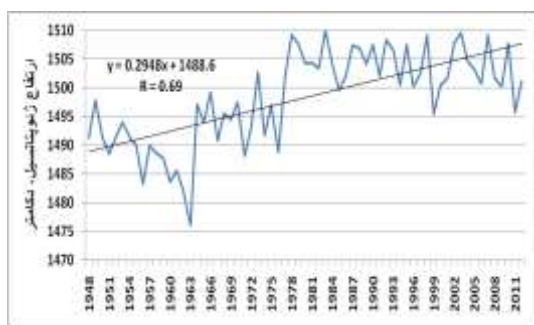
علت صعود بیشتر هوا در منطقه ITCZ ریزش هوا در آنها بیشتر و به بیان بهتر تقویت می‌شود؛ چون منطقه کم‌فشار سودان با توجه به عرض جغرافیای آن در ترازهای ۵۰۰ هکتوپاسکال و ... در زیر کمربند پرفشار جنب حاره در فصل سرد قرار دارد، از این رو به نظر می‌رسد یکی از دلایل اصلی شیب زیاد تغییرات در ترازهای ۵۰۰-۸۵۰ هکتوپاسکال، بحث مربوط به افزایش ارتفاع کمربند پرفشار جنب حاره نیز باشد (به شکل ۲۴ توجه شود).

نزدیک‌تربودن مرکز سودان نسبت به دریای سرخ به کمربند پرفشار جنب حاره در ترازهای بالاتر از ۵۰۰ هکتوپاسکال، یکی از دلایل اصلی تفاوت شیب تغییرات بین این دو منطقه در ترازهای اشاره شده است. در کل به نظر می‌رسد با توجه به رابطه وارون بین فشار با ترسالی‌ها و خشکسالی‌های منطقه جنوب غرب که در بخش‌های قبلی مفصل بدان اشاره شد و همچنین افزایشی‌بودن روند تغییرات فشار در منطقه کم‌فشار سودان و دریای سرخ که روند تغییرات - نمودارهای هالف مولر و آزمون من-کندال (جدول ۱) آن را تأیید می‌کند، احتمال رخداد خشکسالی و کاهش بارش در منطقه جنوب غرب ایران افزایش خواهد یافت.



شکل ۷. روند تغییرات فشار سلول مرکزی کم‌فشار سودانی در تراز دریا در دوره آماری ۱۹۴۸-۲۰۱۲ میانگین ۵ ماهه نوامبر تا مارس

ترازهای زیرین است؛ از این رو استنباط می‌شود تغییرات فشار در منطقه سودانی فقط منشأ زمینی و گرمایی ندارد و ماهیت تبدلات دینامیکی فشار در منطقه نیز در این مسئله مؤثر بوده است. به منظور روشن‌ترشدن این بحث از نمودارهای هاف مولر در شکل‌های (۲۳) و (۲۴) استفاده شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند در دوره اول مطالعه‌شده (۱۹۸۰-۱۹۴۹) تمامی ترازهای جوی، ارتفاعی کمتر از دوره دوم داشته‌اند؛ از جهتی دیگر تغییرات در ترازهای بالاتر بیشتر بوده تا جایی که در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال تغییرات به بیش از ۲۰ متر نیز رسیده است که این خود نشان‌دهنده ماهیت دینامیک جو در این تغییرات است. براساس شواهد موجود افزایش فشار از بالا بر ترازهای زیرین اعمال شده است. نکته مهم، تناقض ظاهری درزمینه گرمایش بیشتر سطح و افزایش فشار آن است. با کمی تأمل در شکل‌های (۲۳) و (۲۴) علت آن مشخص می‌شود. توجه به شیب خط در بین تراز ۱۰۰۰ تا ۹۲۵ هکتوپاسکال به نسبت تراز ۹۲۵ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد تغییرات در مورد اول کمتر بوده است و هرچه به ترازهای بالاتر نزدیک‌تر می‌شویم، تغییرات تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیشتر می‌شود (به شکل ۲۳ توجه شود)؛ بنابراین اگرچه گرمایش سطحی بر روی منطقه کم‌فشار حرارتی می‌تواند موجب انبساط بیشتر توده هوا به‌ویژه نزدیک به سطح زمین شود، اما این انبساط موجب افزایش ارتفاع قله جو (در تروپوسفر) و از سویی دیگر افزایش وزن ستون هوا نیز می‌شود؛ همچنین منطقه کم‌فشار مطالعه‌شده در مجاورت پرفشار جنب حاره قرار دارد؛ پرفشارهایی که حاصل ریزش هوا به صورت دینامیکی و در ترازهای مختلف‌اند و در شرایط گرمایش هوا به



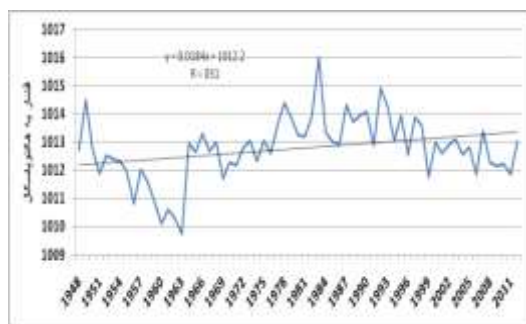
شکل ۹. روند تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روی مرکز سلول کم فشار سودانی در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۴۸ میانگین ۵ ماهه نوامبر تا مارس



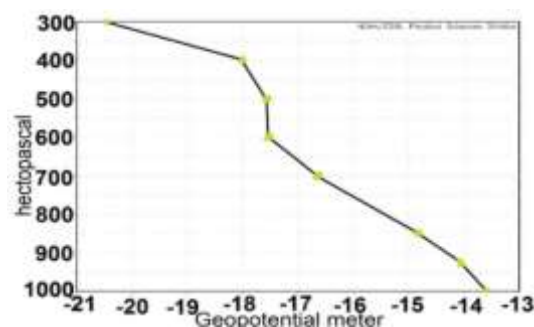
شکل ۸. روند تغییرات ژئوپتانسیل تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال - مرکز سلول کم فشار سودانی در دوره ۲۰۱۲-۱۹۴۸ میانگین ۵ ماهه نوامبر تا مارس



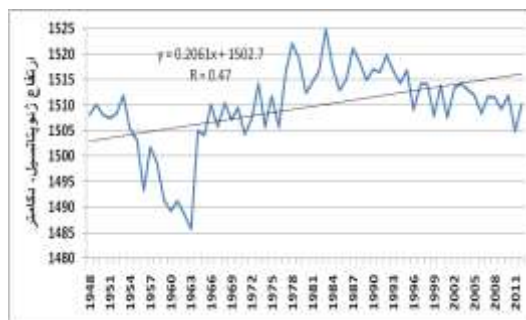
شکل ۱۱. روند تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال روی زبانه کم فشار سودانی در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۴۸ میانگین ۵ ماهه نوامبر تا مارس



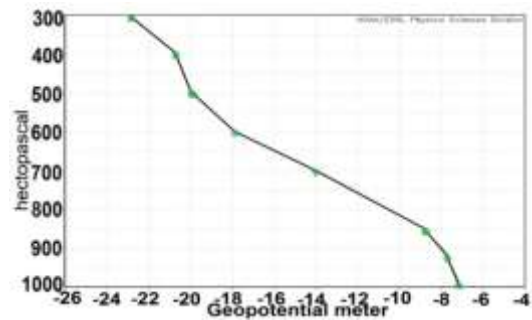
شکل ۱۰. روند تغییرات فشار زبانه کم فشار سودانی در تراز دریا در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۴۸ میانگین ۵ ماهه نوامبر تا مارس



شکل ۱۳. نمودار هاف مولر، تفاوت ارتفاع ژئوپتانسیل جو در دوره اول (۱۹۸۰-۱۹۴۸) نسبت به دوره دوم (۲۰۱۰-۱۹۸۱) - مرکز سودان



شکل ۱۲. روند تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روی زبانه کم فشار سودانی در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۴۸ میانگین ۵ ماهه نوامبر تا مارس



شکل ۱۴. نمودار هاف مولر، تفاوت ارتفاع ژئوپتانسیل جو در دوره اول (۱۹۸۰-۱۹۴۸) نسبت به دوره دوم (۲۰۱۰-۱۹۸۱) مرکز دریای سرخ

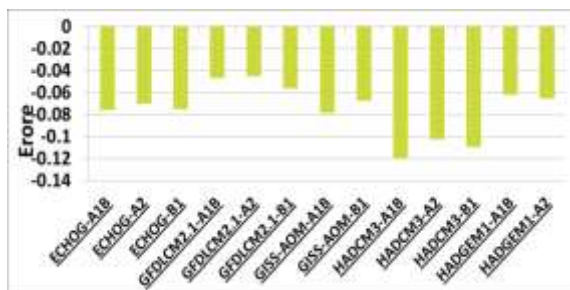
آزمون صحت‌سنجی عملکرد مدل‌های GCM

از آنجا که در مطالعات مدل‌سازی نخستین گام پیش از هرگونه تجزیه و تحلیلی، ارزش‌گذاری داده‌های خروجی مدل و آزمون میزان صحت آنهاست (Warnen, 2011: 540)، پیش از پرداختن به بحث پیش‌یابی، نتایج صحت‌سنجی عملکرد مدل‌های استفاده‌شده در این پژوهش نسبت به دوره مشترک مشاهداتی- محاسباتی (۲۰۱۰-۱۹۶۰) بررسی شده است. شکل‌های (۱۵)، (۱۶) و (۱۷) مربوط به عملکرد مدل‌های مطالعه‌شده در برآورد مقادیر فشار تراز دریا در منطقه چهارچوب کم‌فشار سودانی‌اند. براساس مقادیر ارائه‌شده مربوط به توابع RMSE و MAE خطا، مدل‌ها حدود ۰,۴۵ تا ۰,۸۲ (کمتر از ۱ هکتوپاسکال) است. در این بین مدل HADGEM1 به ترتیب براساس سناریوی A2 و A1B کمترین میزان خطای محاسباتی را نشان داده است. مقادیر MSE که در واقع مقدار اریبی مدل را نشان می‌دهد براساس محاسبات در مرکز سودان بسیار کم و برای مدل‌ها و سناریوهای جفت‌شده در دامنه ۰,۰۴۴- تا ۰,۱۲- است. همبستگی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی مدل در این منطقه در شکل (۱۷) نشان داده شده است. در

بین تمامی مدل‌ها با توجه به تعداد داده‌ها و سطوح اعتماد بررسی‌شده ۹۹ و ۹۵ درصد به ترتیب $\pm 0,46$ و $\pm 0,36$ ، تنها مدل و سناریوی جفت‌شده HADGEM1-A2 در سطح اعتماد بیشتر از ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار و قابل اعتماد است. در مجموع مقادیر ارائه‌شده سایر مدل‌ها را به دلیل ضریب همبستگی پایین می‌توان غیرقابل اعتماد دانست. شکل‌های (۱۸)، (۱۹) و (۲۰) به منظور سنجش کیفیت عملکرد مدل‌های استفاده‌شده در منطقه همگرایی دریای سرخ (زبانۀ سودان) ارائه شده است. براساس مقادیر ارائه‌شده در شکل (۱۸) مربوط به RMSE و MAE به ترتیب پایین‌بودن خطا، مدل‌ها و سناریوهای HADGEM1-A2 و HADGEM1-A1B و GFDL2.1-B1 و GFDL2.1-A2 کمترین مقادیر خطا را نشان می‌دهند. دامنه خطا در این منطقه نیز مانند مرکز سودان کمتر از ۱ هکتوپاسکال است.

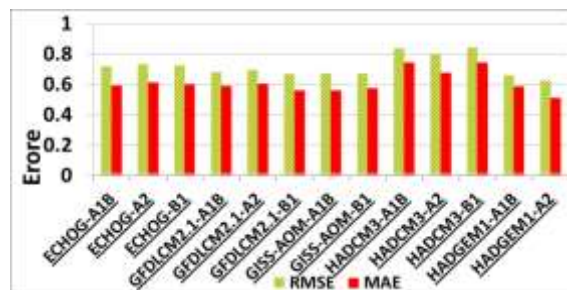
مقادیر اریبی مدل در شکل (۱۹) نشان می‌دهد به ترتیب کمترین میزان اریبی مربوط به مدل‌های ECHOG-A2، ECHOG-B2، GFDL2.1- و GFDL2.1-A1B، کمترین مقادیر اریبی منفی و مدل HADGEM1 در سناریوهای A2 و A1B نیز کمترین اریبی مثبت را داشته‌اند. با توجه به شکل (۲۰) مدل HADGEM1-A2 و مدل HADCM3-A1B، تنها مدل‌هایی‌اند که همبستگی پذیرفته در برآورد متوسط پنج ماهه فشار تراز دریا در دوره مشترک مشاهداتی- محاسباتی داشته‌اند. در مجموع با توجه به هدف پژوهش (پییابی سه دهه) به طور قطع نمی‌توان از یک مدل به‌منزله مدل بهینه نام برد؛ اما به نظر می‌رسد در این رابطه مدل‌های سری HADGEM1 با توجه به پایین‌بودن خطا، RMSE و

GFDL2.1 یا ECHOG نیز صرف نظر از همبستگی سالیانه (متوسط پنج ماهه) فشار تراز دریا مفید است.

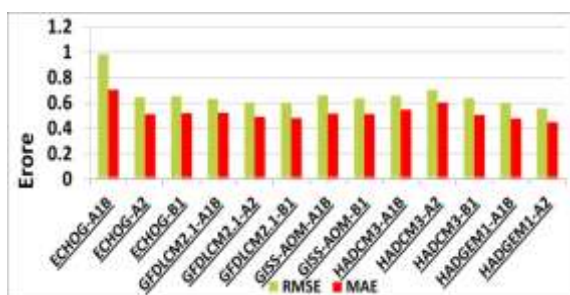


شکل ۱۶. نمودار خطای محاسباتی مدل ها در مرکز کم فشار سودانی براساس MSE

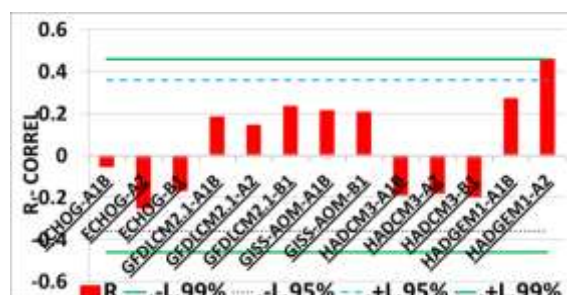
MAE بهترین گزینه ها هستند؛ اگرچه پایین بودن اریبی و متوسط بودن ضریب خطای بعضی مدل ها مانند



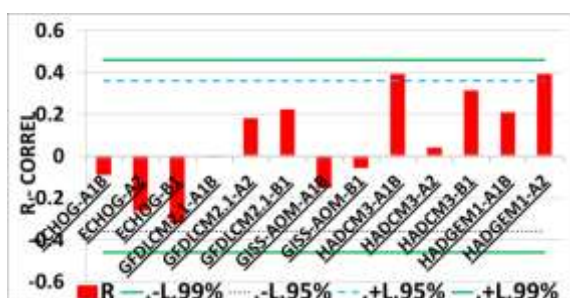
شکل ۱۵. نمودار خطای محاسباتی مدل ها در مرکز کم فشار سودانی براساس MAE و RMSE



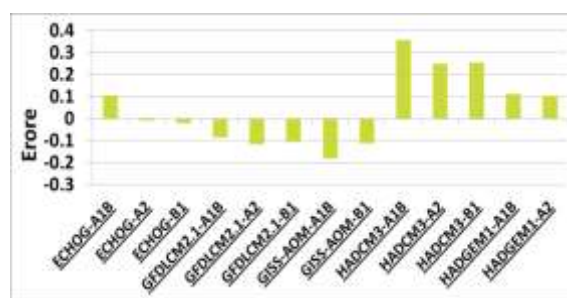
شکل ۱۸. نمودار خطای محاسباتی مدل ها در مرکز همگرایی دریای سرخ (زبانۀ سودانی) براساس RMSE و MAE



شکل ۱۷. نمودار همبستگی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی مدل ها در مرکز کم فشار سودانی



شکل ۲۰. نمودار همبستگی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی مدل ها در مرکز همگرایی دریای سرخ (زبانۀ سودانی)



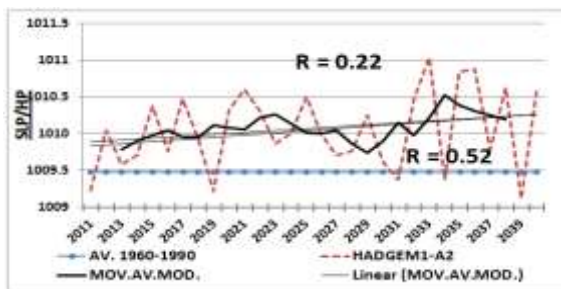
شکل ۱۹. نمودار خطای محاسباتی مدل ها در مرکز همگرایی دریای سرخ (زبانۀ سودانی) براساس MSE

براساس دو سناریوی a1b و a2 به منزله بهترین مدل با کمترین خطا، براساس مؤلفه فشار تراز دریا دقیق تر بررسی می شود. بر مبنای خروجی به دست آمده، شکل های (۲۱) و (۲۲) نشان می دهند روند تغییرات

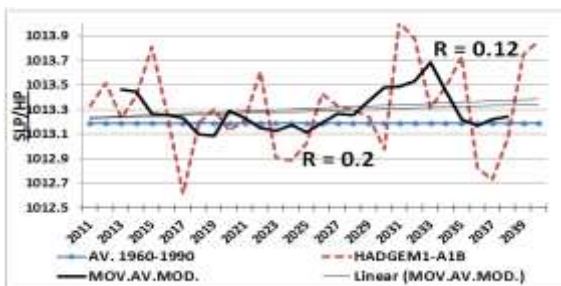
پیش بینی تغییرات فشار تراز دریا در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰

با توجه به نتایج بخش صحت سنجی عملکرد مدل های مطالعاتی در این بخش، مدل HADGEM1

در این منطقه است. شکل (۲۶) به صورت خلاصه شده مقادیر R خط روند مربوط به خروجی همه مدل‌های مطالعاتی را در محدوده دریای سرخ (زبانۀ کم فشار سودانی) در دوره پیش‌یابی نشان داده است. براساس مقادیر R خط روند (برازش) مدل‌های ECHOG-A1B و HADCM3-A2، روند افزایشی در سطح بیشتر از ۹۵٪ و مدل‌های HADCM3-A2، ECHOG-A2، GFDLCM2.1-B1، HADCM3-A2 در بازه میانگین متحرک ۵ ساله در همان سطح اطمینان، روند افزایشی در مقادیر فشار تراز دریا را نشان می‌دهند. خروجی مدل‌های ECHOG-B1 و GISS-AOM-A1B در میانگین متحرک ۵ ساله در سطح اعتماد فراتر از ۹۵٪ معناداری روند کاهش را نشان می‌دهند.

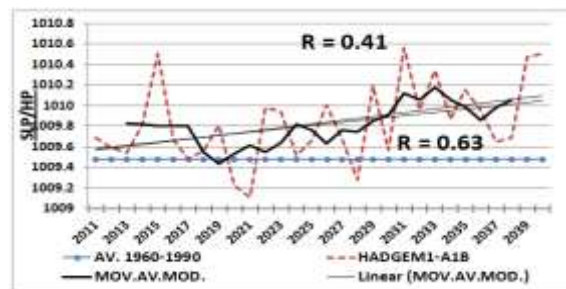


شکل ۲۲. سری زمانی پیش‌بینی متوسط ۵ ماهه فشار تراز دریا در مرکز کم فشار سودانی؛ مدل و سناریوی HADGEM1-A2

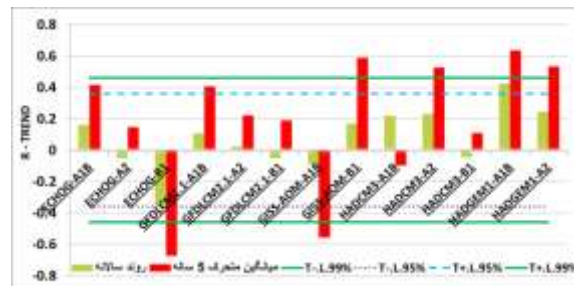


شکل ۲۴. سری زمانی پیش‌بینی متوسط ۵ ماهه فشار تراز دریا در منطقه زبانۀ کم فشار سودانی؛ مدل و سناریوی HADGEM1-A1B

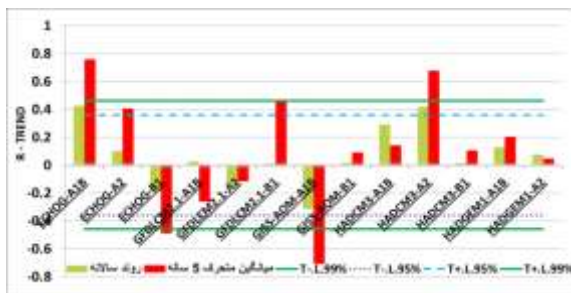
فشار تراز دریا در منطقه مرکز کم فشار سودان در بازه ۵ ماهه مدنظر روند افزایشی معنادار در سطح اطمینان بیش از ۹۹٪ دارد. شکل (۲۳) مقادیر R روندیابی همه مدل‌های مطالعاتی این پژوهش را برای منطقه کم فشار سودان در بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ نشان می‌دهد؛ براساس مقادیر به دست آمده فقط دو مدل برای این مرکز در طول سه دهه آتی روند کاهش فشار هوا و سایر مدل‌ها روند افزایشی معنادار و بعضی غیرمعنادار را برآورد کرده‌اند. براساس شکل‌های (۲۴) و (۲۵) مقادیر فشار تراز دریا در منطقه زبانۀ کم فشار سودانی در دریای سرخ بر مبنای خروجی مدل HADGEM1 همچنان در بیشتر از متوسط ۱۹۹۰-۱۹۶۰ خواهد بود. در مجموع خروجی‌های مربوطه نشان‌دهنده تداوم افزایش فشار و تضعیف این سامانه در سال‌های آتی



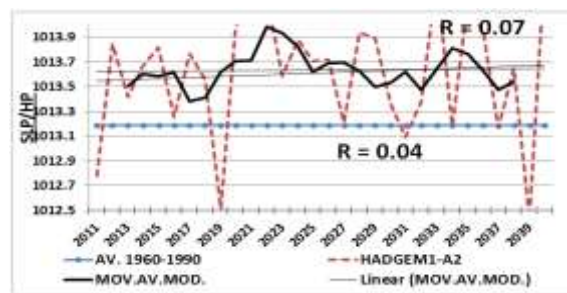
شکل ۲۱. سری زمانی پیش‌بینی متوسط ۵ ماهه فشار تراز دریا در مرکز کم فشار سودانی؛ مدل و سناریوی HADGEM1-A1B



شکل ۲۳. مقادیر R روند متوسط فشار تراز دریا مربوط به مرکز کم فشار سودانی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ مدل‌های GCM



شکل ۲۶. مقادیر R روند متوسط فشار تراز دریا - منطقه دریای سرخ در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ مدل های GCM



شکل ۲۵. سری زمانی پیش بینی متوسط ۵ ماهه فشار تراز دریا - منطقه دریای سرخ؛ مدل و سناریوی HADGEM1-A2

آماره P بیش از ۰/۰۵ باشد، روند معنادار نیست. جهت روند نیز با استفاده از + افزایشی و - کاهششی نشان داده شده است. بررسی مقادیر ارائه شده در جدول (۲) صحت مطالب بالا را تأیید می کند.

با توجه به لزوم کسب اطمینان از صحت نتایج روندیابی خط برازش (R)، در این بخش نتایج آزمون روندیابی با استفاده از روش من - کندال درباره روند تمامی مؤلفه های مدنظر در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به سطح اعتماد مدنظر (۹۵٪) هرگاه

جدول ۲. نتایج آزمون روندیابی من - کندال روی مؤلفه تغییرات فشار و ارتفاع ژئوپتانسیل منطقه کم فشار سودان در سطح اطمینان ۹۵٪

نوع داده	سطح ژئوپتانسیل و مؤلفه واقعی		مرکز سلول کم فشار سودانی		زبانۀ کم فشار سودان (دریای سرخ)	
	یا مدل سازی (مدل - سناریو - مؤلفه و سطح)	z	p (خطا)	جهت روند	Z	P (خطا)
مشاهداتی (واقعی)	تغییرات فشار تراز دریا	۱,۴۳	۰,۰۳	+	۰,۵۳	۰,۰۲
	ارتفاع ژئوپتانسیل ۹۲۵ هکتوپاسکال	۳,۲۱	۰,۰۰	+	۱,۳۴	۰,۰۸
	ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال	۵,۱۵	۰,۰۰	+	۲,۷۹	۰,۰۰
مدل سازی	ECHOG-A1B-SLP	۰,۵۳	۰,۲۹	0	۱,۸۹	۰,۰۲
	ECHOG-A2-SLP	-۰,۲۸	۰,۳۸	0	۰,۸۵	۰,۱۹
	ECHOG-B1-SLP	-۲,۱۴	۰,۰۱	-	-۱,۱۷	۰,۱۱
	GFDLCM2.1-A1B-SLP	۰,۷۱	۰,۲۳	0	۰,۲۱	۰,۴۱
	GFDLCM2.1-A2-SLP	۰	۰,۰۵	0	-۰,۶۴	۰,۷۳
	GFDLCM2.1-B1-SLP	-۰,۵۳	۰,۲۹	0	۰,۳۲	۰,۳۷
	GISS-AOM-A1B-SLP	-۰,۲۱	۰,۴۱	0	-۱,۲۱	۰,۱۱
	GISS-AOM-B1-SLP	۰,۸۵	۰,۱۹	0	-۰,۱۴	۰,۴۴
	HADCM3-A1B-SLP	۰,۳۲	۰,۳۷	0	۱,۶۰	۰,۰۵
	HADCM3-A2-SLP	۱,۳۲	۰,۰۹	0	۱,۹۲	۰,۰۲
	HADCM3-B1-SLP	-۰,۲۱	۰,۴۱	0	۰,۱۴	۰,۴۴
	HADGEM1-A1B-SLP	۲,۲۱	۰,۰۱	+	۰,۳۲	۰,۳۷
	HADGEM1-A2-SLP	۱,۱۷	۰,۱۱	0	۰,۲۴	۰,۴۰

نتیجه‌گیری

این پژوهش میزان ارتباط تغییرات فشار هوا را در منطقه سودان با ناهنجاری‌های بارش ماهیانه در جنوب غرب ایران در راستای پیامدهای احتمالی گرمایش جهانی بررسی کرده است. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، نتایج پژوهش‌های پیشین را در زمینه اثر کم‌فشار سودانی بر بارش‌های منطقه جنوب غرب (که عمدتاً به صورت توصیفی و نه آماری به این رابطه اشاره کرده بودند) تأیید می‌کند؛ از جمله پژوهش‌های لشکری، مفیدی و زرین و قائدی و همکاران. نتایج دیگر نشان می‌دهد همبستگی وارون و معنادار در سطح اعتماد ۹۹٪ بین ماه‌های بارش ناهنجار در جنوب غرب ایران و تغییرات فشار در منطقه سودان (زبانۀ سودان بر روی دریای سرخ و مرکز کم‌فشار سودانی) وجود دارد. این مطلب بدین معناست که با افزایش یا کاهش فشار در منطقه سودان، احتمال رخداد ناهنجاری‌های کاهشی یا افزایشی بارش در جنوب غرب ایران بیشتر می‌شود. براساس نتایج به‌دست‌آمده و مقادیر همبستگی معنادار و منفی بین فشار و ارتفاع ژئوپتانسیل جو در منطقه دریای سرخ (زبانۀ کم‌فشار سودانی) و مرکز کم‌فشار سودانی و ناهنجاری‌های بارش در جنوب غرب ایران، افزایش فشار در این مناطق موجب کاهش بارش در جنوب غرب ایران می‌شود.

ضرایب همبستگی بارش ایستگاه‌ها با دو منطقه مطالعه‌شده درباره کم‌فشار سودانی نشان می‌دهد ارتباط تغییرات بارش منطقه پژوهش، با تغییرات فشار زبانۀ کم‌فشار سودانی بیشتر از فشار سلول مرکز این کم‌فشار است؛ به نحوی که حتی گاهی هیچ‌گونه همبستگی معناداری بین بارش بعضی از ایستگاه‌ها و

فشار سلول مرکزی کم‌فشار سودانی در بعضی از ترازهای جوی یادشده وجود ندارد. از بین سه تراز فشاری تراز دریا، ۹۲۵ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، فشار سلول مرکزی سودانی در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال در ۲۳ مورد منتخب با بارش ایستگاه‌ها در سطح ۹۵٪ معنادار نبود؛ در حالی که در همین ترازها تمامی ایستگاه‌ها در سطح اعتماد ۹۹٪ بین ارتفاع ژئوپتانسیل زبانۀ کم‌فشار سودانی (دریای سرخ) و ناهنجاری بارشی منطقه هدف همبستگی خوبی را نشان می‌دادند. در تراز دریا و ۹۲۵ هکتوپاسکال بارش اهواز و در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بارش دزفول، بیشترین و متقابلاً شهرکرد در تمامی ترازهای پیش‌گفته کمترین همبستگی را با فشار هوا در منطقه سودانی نشان می‌دهد؛ همچنین روند تغییرات درازمدت فشار در سلول مرکزی کم‌فشار سودانی و همچنین زبانۀ آن بر روی دریای سرخ در هر سه تراز و در هر دو منطقه در طول دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۴۸، روند افزایشی معناداری را در سطح اعتماد ۹۹٪ نشان می‌دهد. روند تغییرات فشار و ارتفاع ژئوپتانسیل در بخش مرکزی سلول کم‌فشار سودانی بیش از زبانۀ این کم‌فشار است؛ همچنین تغییرات فشار در ترازهای بالاتر بر روی سلول کم‌فشار سودانی بیش از ترازهای زیرین است. به نظر می‌رسد اثر سامانه‌های پرفشاری دینامیکی نزدیک به کم‌فشار سودانی در روند تغییرات فشار منطقه سودانی به‌ویژه در تراز بالاتر مؤثر بوده است.

براساس نتایج به‌دست‌آمده اگرچه گرمایش سطحی بر روی منطقه کم‌فشار حرارتی موجب انبساط بیشتر توده هوا به‌ویژه نزدیک به سطح زمین می‌شود، اما این انبساط موجب افزایش ارتفاع قله جو (در تروپوسفر)

سطح اعتماد فراتر از ۹۵٪ معناداری روند کاهشی را نشان دادند.

به طور کلی براساس یافته‌های این پژوهش، روند تغییرات فشار تراز دریا در دوره پیش‌یابی (۲۰۴۰-۲۰۱۱) در مرکز کم‌فشار سودان و دریای سرخ به استناد خروجی بیشتر مدل‌های مطالعاتی (دارای آزمون عملکرد مناسب و براساس r میانگین متحرک ۵ ساله) افزایشی محسوس را تا پایان دوره اشاره شده نشان می‌دهند. در این بین اگرچه بعضی از مدل‌ها و سناریوهای مطالعاتی روند کاهشی را نشان دادند، اما تقریباً در تمام مدل‌ها و سناریوهای بررسی شده مقادیر فشار تراز دریا در دوره پیش‌یابی بالاتر از میانگین دوره ۱۹۶۰-۱۹۹۰ برآورد شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون صحت‌سنجی در این پژوهش، مدل‌های سری HADGEM1 با توجه به پایین بودن خطا RMSE و MAE و بالاترین ضریب همبستگی با داده‌های مشاهداتی، بهترین گزینه در زمینه پیش‌یابی فشار تراز دریا در دوره مشترک مشاهداتی - محاسباتی و پیش‌یابی هستند؛ اگرچه براساس یافته‌های پژوهش پایین بودن اریبی و متوسط بودن ضریب خطای استفاده از بعضی مدل‌ها مانند GFDL2.1 یا ECHOG نیز صرف‌نظر از همبستگی سالیانه (متوسط پنج ماهه) در برآورد فشار تراز دریا در مراکز مطالعاتی مفید است.

در مجموع با توجه به همبستگی وارون بین تغییرات فشار منطقه سودان و دریای سرخ و بارش‌های منطقه جنوب غرب ایران، یعنی با افزایش فشار در منطقه سودان، احتمال خشکسالی در منطقه جنوب غرب افزایش می‌یابد و از این رو با در نظر گرفتن روند معنادار و افزایش فشار در طول ۶۵ سال اخیر (۱۹۴۸-۲۰۱۰) و تداوم و افزایش فشار در

و از سوی دیگر افزایش وزن ستون هوا می‌شود؛ همچنین منطقه کم‌فشار مطالعه شده در مجاورت پرفشار جنب حاره قرار دارد؛ پرفشارهایی که حاصل ریزش هوا به صورت دینامیکی و در ترازهای مختلف هستند و در شرایط گرمایش هوا به علت صعود بیشتر هوا در منطقه ITCZ ریزش هوا در آنها بیشتر می‌شود و به بیان بهتر با تقویت پرفشار جنب حاره منطقه کم‌فشار سودان و دریای سرخ از ترازهای بالایی جو زیر فشار کمربند پرفشار جنب حاره قرار می‌گیرد و چون منطقه کم‌فشار سودان در زیر این کمربند در ترازهای بالایی قرار دارد، اعمال فشار از بالا بر این کم‌فشار موجب تضعیف آن شده است.

همچنین یافته‌های پژوهش نشان داد در مرکز کم‌فشار سودانی براساس مقادیر بحرانی ۹۵ و ۹۹ درصد مدل HADGEM1-A1B روند افزایشی و مدل ECHOG-B1 روند کاهشی معنادار را نشان داده است. به استناد مقادیر R میانگین متحرک پنج‌ساله مدل‌های ECHOG-A1B، GFDLCM2.1-A1B، HADGEM1-A1B، HADGEM1-A2، GISS-AOM-B1 و HADGEM1-A2 روند افزایشی و مدل‌های ECHOG-B1 و GISS-AOM-A1B روند کاهشی را در سطوح اعتماد ۹۵٪ و ۹۹٪ نشان می‌دهند. در مرکز همگرایی دریای سرخ (زبانۀ سودانی) روند سالیانه مدل‌های ECHOG-A1B و HADCM3-A2 روند افزایشی را در سطح بالاتر از ۹۵٪ و مدل‌های ECHOG-A2، HADCM3-A2، GFDLCM2.1-A1B، HADCM3-A2، B1 در بازۀ میانگین متحرک ۵ ساله در همان سطح اعتماد روند افزایشی را در مقادیر فشار تراز دریا نشان دادند. مدل‌های ECHOG-B1 و GISS-AOM-A1B در میانگین متحرک ۵ ساله در

- Elfandy, 1948, The Effect of the Sudan monsoon low on the Development of thundery conditions in Egypt, Palestine and Syria, Q. J.R.Met.Soc., Vol. 74, pp.31-38.
- Elfandy, 1950, Effects to topography and other Factors on the Movement of lows in the Middle East and Sudan, Bull. Amr. Met. Soc., Vol. 31, No. 10, pp. 375-381.
- Elfandy, 1950, Troughs in the upper westerlies and cyclonic Developments in the Nile valley, Q.J.R. Met.Soc., Vol. 76, pp.166-172.
- Elfandy, 1952, forecasting thunderstorms in the Red Sea, Bull.Amr. Met.soc, Vol. 33, No. 8, pp. 332338.
- Faraji, I, 1981, of the rain-bearing low pressure systems from their positions on Iran and delivery models, MS Thesis, Institute of Geophysics, Tehran University.
- Farshi forogh, J., 1977, Synoptic climatology of Azerbaijan, MS Thesis on Meteorology, Geophysics Institute of Tehran University.
- Ghaedi, S., Movahedi, S., Masoodian, A., 2012. The Relation between the Red Sea Trough and Heavy Precipitation in Iran, Journal of Geography and Environmental Planning, Volume & Issue: Volume 2, Issue 2, Page 1-108
- Harvey, V. L. and Hitchman, M.H. 2004. "a climatology of the Aleutian High" *J. Atmos. sci.*, Vol. 53. No. 4. PP. pp. 2088-2101.
- Heydari, M.A., 2013, Effect of global warming on the Atmospheric action centers affecting on the climate of Iran, Master thesis, Tehran University.
- Iran Meteorological Organization, 2002, Synoptic Survey development, strengthening and expansion of low pressure on the Sudanese climate of Iran, report, No. 107, pp. 375.
- Izadnegahdar, Z., 1991, of the Mediterranean synoptic systems for some of its effects on the Iran Meteorological MS Thesis, Tehran University Geophysics Institute.
- دهه‌های آتی در منطقهٔ سودان (که به احتمال زیاد از پیامدهای همدید گرمایش جهانی است)، این موضوع فرض احتمال رخداد خشکسالی‌های بیشتر و طولانی‌تر را در منطقهٔ جنوب غرب ایران برای دهه‌های آتی تقویت می‌کند.
- منابع**
- Abdolhosseini, MA, 1979, and the effects of pressure on Iran in winter weather MS Thesis, Tehran University Geophysics Institute.
- Alpert, P. 2004. "A new season definition based on classified daily synoptic system: An example for the Eastern Mediterranean" *Int. J. Climatol.*, Vol. 24, pp. 1013-1021
- Angell, J.K. and Korshover, J. 1992. "Relation between 300 mb north polar vortex and equatorial SST, QBO, and sunspot number and the record contraction of the vortex in 1988-89". *J. Climate.*, Vol.5, Issue 1. pp. 22 -29.
- Ansari, S. 2003. Synoptic survey of flood-generating systems in the watershed area and va Boyer, MA thesis, Geography, TarbiatMoallem University, Iran.
- Azadi, M., Rezazadeh., Vakil, 2003, Numerical prediction systems on the Iran Winter, comparable to the physical parameters, the Eighth Conference of Fluid Dynamics, University of Tabriz.
- Dayan, U. 2001. "A severe autumn storm over the Middle – east: synoptic and meso-scale Convection analysis" *Theor. APPL.Climatol.*, Vol. 69, pp.103-122.
- Divis, R.E. and Benkovic, S.R. 1992. "Climatological variations in the northern hemisphere circumpolar vortex in January" *Theor. APPL. Climatol.*, vol. 46, pp. 63-74.
- Dunkerton, T.J. and Delisi, D.P. 1986. "Evolution of potential vorticity in the winter stratosphere of January February (1979)" *J. Geophys. res.*, vol. 91, pp.1199-1208.

- Moghaddamnia, A., Remesan, R., Hassanpour Kashani, M., Mohammadi, M., Han, D. and Piri, J. 2009. "Comparison of LLR, MLP, Elman, NNARX and ANFIS Models with a case study in solar radiation estimation", *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. Vol. 71, PP. 975-982.
- Mohammadi, h., fattahi, e., shamsi pour, a., akbari, m., (2012). dynamic analysis of sudan low-pressure systems and torrents in southwest of iran, *journal of geographical sciences*, Vol 12 (N 24), Pp 7-24.
- Mshkvaty, A., Moradi, M., 2004, compressive traps dynamic views of the Red Sea, *Nyovar Journal*, No. 52. Pp. 53-74.
- Olfat, AA, 1968, Weather conditions in the past year, *Nivar*, pp. 29-39.
- Piri, J., Amin, S., Moghaddamnia, A., Han, D. and D. Remesan. 2009. "Daily pan evaporation modelling is hot and dry climate", *JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING*. Vol. 14, PP. 803-811.
- Possible Generator for the Red Sea Trough *Met. Atmos. Phys*, Vol. 63, pp. 149-158.
- Sabziparvar, AA, 1991, causing flooding of synoptic systems in the South West of Iran Meteorological MS Thesis, Tehran University Geophysics Institute.
- Shamsipour, A. A., 2013, Climate modeling theory and methods, Tehran University Press.
- Warner, T.T., 2011. Numerical Weather and Climate Prediction. Cambridge University Press, 548 pp.
- www.ccsn.ec.gc.ca
- www.chaharmahalmet.ir
- www.esrl.noaa.gov
- www.ipcc.ch
- Zarei, K., 2011. The prediction of extreme changes in temperature and precipitation in Midwest of Iran in relation to position of atmospheric action center, Master's thesis, Department of Geography, Tehran University.
- Kahana, R., Ziv, B., Dayan, U. and Enzel, Y. 2004. "Atmospheric predictors for major floods in the Negev Desert", *Int. J. climatol.*, Vol. 24, pp. 1137-1147.
- Khoshaghlagh, F., 1998, A research on Iran widespread droughts using synoptic analysis, Ph.D. Thesis, University of Tabriz.
- Krichak, S., Alpert, P., Krishnamurti, T.N., 1997, Interaction of topography and tropospheric flow-A
- Krichak, S., Alpert, P., Krishnamurti, T.N., 1997, Red Sea Trough/ cyclone development- Numerical Investigation, *Met. Atmos. Phys*, Vol. 63, pp. 159-169.
- Lashkari H. 1996. Intense rainfall synoptic survey of South and South West. PhD thesis, University of Tarbiat Modarres, Iran. Pp. 500-504.
- Lashkari, H., 2002, Low-pressure Sudan to Iran routing systems, *Journal of Agricultural Science*, Summer 1381, Issue 25, pp. 133-156.
- Lashkari, H. In 2003. The mechanism of development and strengthening its role in the development of a low pressure on Sudan and South and South-West of times, departments, research departments of Geography, No. 46, pp. 1-18.
- Modirian R., Babaeian, E., Karimiyan M., 2010, The Optimum Configuration of RegCM3 Model for Simulation of Precipitation and Temperature at Autumn Seasonal over Khorasan Region in 1991-2000, *Physical Geography Research Quarterly*, No. 70.
- Mofidi, A., Zarrin, A., 2005, examined the impact of synoptic low pressure system causing torrential rain occurred in the Sudan, *Geographical Journal*, Summer 1384, Issue 77, pp. 113-136.
- Moghaddamnia, A., Ghafari Gousheh, M., Piri, J., Amin, S. and Han, D. 2008. "Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques", *Advances in Water Resources*. Vol. 32, PP. 88-97.

Synopticscal analysis, *Met.Atmos.Phys.*, In press. References

Ziv, B., Dayan, U. and Sharon, D. 2004. A midwinter, tropical extreme flood-producing storme in southern Israel: