

نقش جابه‌جایی مکانی پُرفشار عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در الگوهای همیدی و ترمودینامیکی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب‌غرب ایران

زینب محمدی - دکترای اقلیم‌شناسی سینوپتیک، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران
حسن لشکری* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۳

چکیده

اگرچه بارش در هر اقلیمی از اهمیت اساسی برخوردار است، در اقلیم‌های خشک نقشی حیاتی در زندگی انسان‌ها پیدا می‌کند. نوار جنوبی کشور ایران در هم‌جواری دو سامانه اقلیمی مهم قرار دارد که آرایش مکانی و ساختار دینامیکی آن‌ها الگو، شدت، و گستره بارش‌ها را تعیین می‌کند. بررسی انجام‌شده بر روی نقشه ترازهای زیرین، میانی، و بالایی وردسپهر به صورت چشمی و استفاده از تحلیل عاملی نشان داد که در همه روزهای بارشی، در دو ترسالی شدید، منطقه پُرفشار عربستان جابه‌جایی شرق‌سوی قابل توجه داشته و در نمونه‌های فراگیر در شرق طول ۵۵ درجه شرقی قرار داشته است. مهم‌ترین منبع رطوبتی در همه سامانه‌های بارشی در لایه وردسپهر زیرین دریاهای عرب و عمان هست؛ این رطوبت از طریق جریانات شرقی گردش و اچرخندی پُرفشار عربستان به درون سامانه سودانی و سپس در امتداد زبانه کم‌فشار بر روی منطقه منتقل شده است. در صورتی که در لایه میانی وردسپهر این رطوبت به صورت شاخه‌ای از جریانات شرقی منطقه TICZ به جلوی ناوه مدیترانه‌ای - که در این شرایط تا جنوب عرض ۱۵ درجه شمالی گسترش دارد - فرارفت می‌شود. مناسب‌ترین موقعیت رودباد جنب‌حاره‌ای برای تشدید ناپایداری‌های لایه زیرین محدوده‌ای بین مصر تا غرب خلیج فارس است که هسته مرکزی رودباد در جنوب اردن استقرار می‌یابد.

کلیدواژگان: الگوی همیدی، ترسالی، پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان، جنوب و جنوب غرب ایران، رودباد جنب‌حاره‌ای، کم‌فشار سودانی.

مقدمه

گردش عمومی جو مولد سامانه‌های بزرگ‌مقیاس سیاره‌ای است که پُرفشار جنب‌حاره‌ای از باثبات‌ترین و درعین‌حال گسترده‌ترین و عمیق‌ترین سامانه‌ها در ساختار وردسپهر است. این سامانه دارای هسته‌های نسبتاً پایدار در هر دو نیم‌کره است که، با توجه به موقعیت مکانی، نام‌های متفاوتی به خود می‌گیرند. پُرفشار آزور، پُرفشار افریقا، و پُرفشار عربستان از سامانه‌های مهم در نیم‌کره شمالی هستند (لشکری و همکاران، ۱۳۹۶: ۳). اولین مطالعات در زمینه پُرفشارها در اوایل دهه ۱۹۳۰ با تحقیق رید بر روی موقعیت سلول پُرفشار بر امریکای شمالی آغاز شد؛ در این تحقیق با بررسی دمای پتانسیل، نم و ویژه، و میدان باد ماه‌های ژوئیه و اوت ۱۹۳۶ و ۱۹۳۷ نشان می‌دهد که ارتباط آشکاری بین دمای سطح

زمین و موقعیت سلول پُرفشار بر امریکای شمالی وجود دارد (رید، ۱۹۳۹: ۲۰۱). این مطالعات در اواخر دهه ۱۹۵۰، با کار میسون و اندرسون در زمینه بررسی نقشه‌های وضع هوای روزانه در ترازهای ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، سال‌های ۱۹۵۷-۱۹۵۹ پُرفشارهای آسیا در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال را شدیدترین و دائمی‌ترین گردش این سطح فشاری در نیم‌کره شمالی معرفی کرده‌اند (میسون و اندرسون، ۱۹۶۳: ۳). پنج سال بعد، در اواخر دهه ۱۹۶۰، نیاما در مطالعه‌ای با استفاده از میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل در ماه اوت برای نُه سال، مورفولوژی پُرفشارهای جنب‌حاره‌ای نیم‌کره شمالی را بررسی کرد و نتیجه گرفت که بین شدت پُرفشارهای شمال غرب اقیانوس آرام در سطح زمین و پُرفشار جنوب آسیا در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ارتباط کمی وجود دارد. وی همچنین بالاتر بودن دمای پُرفشار جنوب آسیا نسبت به واچرخندهای قاره امریکای شمالی را ناشی از اثر گرمایشی متفاوت کوه‌های هیمالیا و راکی دانسته است (نیاما، ۱۹۶۸: ۴۳۱). در اوایل دهه ۱۹۷۰ (۱۹۷۲)، لمب به معرفی پُرفشارها پرداخت و چنین بیان کرد که پُرفشارهای جنب‌حاره‌ای مناطقی از فشار سطوح نسبتاً بالا در سطح زمین هستند؛ این پُرفشارها به‌عنوان پُرفشار آتلانتیک شمالی، پُرفشار شمال اقیانوس آرام، پُرفشار جنوبی اقیانوس هند، پُرفشار جنوبی اقیانوس اطلس، و پُرفشار جنوبی اقیانوس آرام شناخته شده‌اند. موقعیت پُرفشارها بین ۴۰ درجه شمالی تا ۴۰ درجه جنوبی متفاوت است و فرونشست در مناطق پُرفشار جنب‌حاره‌ای بسیار رایج است؛ در نتیجه، کمبود بارندگی و تبخیر بالا در نواحی یادشده به‌وجود می‌آید (لمب، ۱۹۷۲: ۶۳۱). چندی بعد، بری و همکاران (۱۹۷۶) خاطرنشان کردند که اقلیم جهانی به‌طور خیلی نزدیکی به یاخته‌های پُرفشار جنب‌حاره‌ای وابسته‌اند. برآورد می‌شود که گرمایش سبب جابه‌جایی سالانه در کمربند پُرفشار جنب‌حاره نسبت به موقعیت متوسطش ۳۷ درجه تا ۴۱-۴۳ درجه شمالی شده است (بری و همکاران، ۱۹۷۶: ۴۶۰). در سال ۱۹۸۹، بل و بوسارت با استفاده از داده‌های پانزده‌ساله (۱۹۶۳-۱۹۷۷)، با تفکیک افقی ۲٫۵ درجه ارتفاع ژئوپتانسیل، شرایط اقلیمی مراکز بسته پُرفشار و کم‌فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در نیم‌کره شمالی را مطالعه کردند؛ نتایج کار آن‌ها نشان داد که هسته مراکز پُرفشار غالباً در عرض‌های جنب‌حاره استقرار یافته و حداکثر ارتفاع آن‌ها در طی نیمه گرم سال بر روی خشکی‌های به‌شدت گرم در امریکای شمالی، شمال افریقا، و آسیا استقرار می‌یابد (بل و بوسارت، ۱۹۸۹: ۲۱۴۲). در فاصله سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ کارهای زیادی در زمینه پُرفشارها انجام شده است که می‌توان به کارهای هستینرا (۱۹۹۰: ۴۷۸)، کریشنامورتی (۱۹۷۱: ۱۳۴۲)، گائو (۱۹۸۱: ۳۱)، کریشنامورتی (۱۹۷۳: ۲۳۴)، دیویس و همکاران (۱۹۹۷: ۷۲۸) و تامسون (۱۹۹۸: ۱۹۴) اشاره کرد. در ادامه این مطالعات توموزیو و همکاران ارتباط الگوهای گردشی جوی بزرگ‌مقیاس را با تغییرپذیری مکانی بارش زمستانی در رومانی بررسی کردند و نتایج کار نشان داد که فاز مثبت نوسان اطلس شمالی و کاهش فعالیت بندال زمستانی می‌تواند یکی از عوامل کاهش بارش زمستانی در رومانی باشد (توموزیو و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۹۳). در ۲۰۰۸، گالارنیو و همکاران با بررسی مراکز پُرفشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به این نتیجه رسیدند که این سامانه‌ها در تمام طول سال روی اقیانوس‌های جنب‌حاره و در تابستان روی قاره‌های جنب‌حاره استقرار می‌یابند (گالارنیو و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۴۹). مطالعات در زمینه پُرفشارها در سال‌های اخیر همچنان ادامه دارد؛ در ۲۰۱۴ چائو و ژو در بررسی خود دو قابلیت برگشت‌پذیری مدل‌های پُرفشار جنب‌حاره‌ای را در شمال غربی اقیانوس آرام مطالعه و آن را با مدل CMIR5- AMIP شبیه‌سازی کردند (چائو و ژو، ۲۰۱۴: ۱۰۰۷). پُرفشارها در دهه ۱۳۷۰ در ایران با مطالعات حجازی‌زاده (۱۳۷۲) در زمینه بررسی همدیدی اثرات پُرفشار جنب‌حاره‌ای در ایران بر روی نوسانات پُرفشار جنب‌حاره‌ای در تغییر فصل ایران انجام شده است؛ نتایج وی نشان داد که پشته پربند ۵۸۴ ژئوپتانسیل دکامتر در بیشتر روزهای بهاری در شرق ایران قرار می‌گیرد؛ این عامل باعث خشکی بهار در این ناحیه می‌شود. استقرار سلول STHP در شرق ایران موج‌های باد غربی را

به طرف شمال منحرف می‌کند و این امر باعث کوتاه‌تر شدن طول موج‌ها می‌شود؛ بنابراین، کوتاه‌شدن طول موج‌ها باعث ناپایداری‌های جوی در کشور ایران می‌شود (حجازی‌زاده، ۱۳۷۲: ۱). سه سال بعد، لشکری (۱۳۷۵) در مقاله‌ای به پراکندگی جغرافیایی فراوانی وقوع آنتی‌سیکلون‌ها بر روی ایران پرداخت (لشکری، ۱۳۷۵: ۴). در دهه ۱۳۸۰، قائمی و همکاران (۱۳۸۸) به تحلیل الگوی فضایی پُرفشار جنب‌حاره بر روی آسیا و افریقا پرداختند؛ نتایج نشان داد تفاوت آشکاری در موقعیت استقرار مرکز پُرفشار جنب‌حاره در ترازهای زیرین، میانی، و فوقانی وردسپهر وجود دارد (قائمی و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۱۹). سلیقه و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی تغییرات مکانی پُرفشار جنب‌حاره در بارش‌های تابستانه نیمه جنوبی ایران پرداختند و نتیجه گرفتند الگوی ناوه جریان‌ات غربی به سمت حوضه دریای مدیترانه گسترش می‌یابد و سبب عقب‌نشینی زبانه پُرافتخار جنب‌حاره به سمت شمال افریقا می‌شود و هسته پُرافتخاری از آن جدا می‌شود و بر روی ایران باقی می‌ماند؛ در چنین شرایطی، پُرافتخار به لایه‌های بالاتر انتقال می‌یابد (سلیقه و همکاران، ۱۳۸۹: ۸۳). در پژوهش دیگر، احمدی گیوی و همکاران (۱۳۸۹) اثر موقعیت پُرفشارهای آزور و سبیری بر بارش منطقه غرب ایران در زمستان‌های خشک طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۵ را بررسی کردند. نتایج بیانگر تغییر مکان پُرفشارهای سبیری و آزور به عرض‌های بالاتر و همچنین اتصال آن‌ها به یکدیگر در زمستان‌های خشک، به‌ویژه در ماه ژانویه، است (احمدی گیوی، ۱۳۸۹: ۱۴۳). در زمینه مطالعه پُرفشار در سال‌های اخیر می‌توان به کار خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۱: ۵۵) اشاره کرد؛ آن‌ها چنین بیان می‌کنند که جابه‌جایی سالانه کمربند پُرفشار جنب‌حاره، به‌ویژه پُرفشار جنوب عربستان، نقش مهمی در نوسان بارش زمستانه جنوب غرب کشور ایفا می‌کند. لشکری و محمدی در مطالعه‌ای به تحلیل همدیدی و ترمودینامیکی نقش پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان در خشک‌سالی‌های فراگیر و شدید ایران پرداختند؛ نتایج بررسی‌ها نشان داد که حرکت غرب سوی پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان در تمام خشک‌سالی‌های فراگیر مشهود است (لشکری و محمدی، ۱۳۹۴: ۷۳). از جمله کارهای اخیر می‌توان به کارهای کریمی و همکاران (۱۳۹۵: ۵۶۹) و لشکری و همکاران (۱۳۹۶: ۱۴۱) اشاره کرد. سؤال‌های اصلی این تحقیق عبارت‌اند از: مناسب‌ترین مکان استقرار پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای برای ایجاد ترسالی در جنوب و جنوب‌غرب ایران کجاست؟ مناسب‌ترین الگوی همدیدی در ترسالی‌های شدید این منطقه چه الگو یا الگوهایی است؟

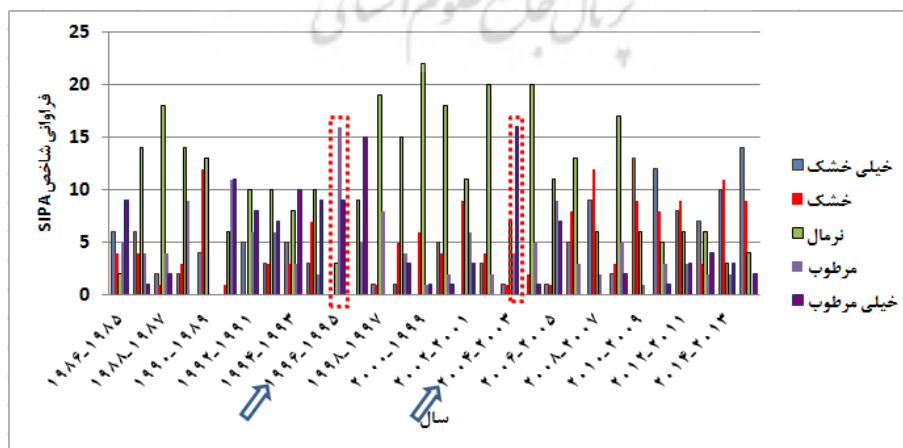
داده‌ها و روش‌ها

برای اجرای این تحقیق، نخست بارش روزانه ۳۱ ایستگاه همدید در یک دوره آماری سی‌ساله استخراج و مرتب شد. سپس، با استفاده از شاخص SIPA به کمک نرم‌افزار DIP وضعیت هر یک از ایستگاه‌ها در یک دوره آماری سی‌ساله از لحاظ وضعیت خشکی و مرطوبی مشخص شد. سپس، سال‌هایی که حداقل نصف ایستگاه‌های منتخب بر اساس شاخص فوق ترسالی شدید را نشان دادند به‌عنوان سال نمونه ترسالی شدید انتخاب شدند. بدین ترتیب، دو سال ۱۹۹۶-۱۹۹۷ و ۲۰۰۳-۲۰۰۴ سال‌های خیلی مرطوب انتخاب شدند. جدول ۱ و شکل ۱ وضعیت هر یک از سال‌ها را، از لحاظ فراوانی ایستگاه‌های درگیر خشک‌سالی و ترسالی، نشان می‌دهد.

سپس، داده‌های جوی سال‌های یادشده با استفاده از سایت <http://www.esrl.noaa.gov> استخراج شد و در محیط نرم‌افزاری Grads نقشه‌های روزانه این سال‌ها در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در محدوده ۰ درجه غربی تا ۸۰ درجه شرقی و عرض صفر (استوا) تا ۵۰ درجه شمالی ترسیم شد.

جدول ۱. نتایج حاصل از اعمال شاخص SIPA بر روی بارش ایستگاه‌های منتخب در دوره آماری سی ساله

SIPA	خیلی خشک	خشک	نرمال	مرطوب	خیلی مرطوب
۱۹۸۵-۱۹۸۶	۶	۴	۲	۵	۹
۱۹۸۶-۱۹۸۷	۶	۴	۱۴	۴	۲
۱۹۸۷-۱۹۸۸	۲	۱	۱۸	۴	۲
۱۹۸۸-۱۹۸۹	۲	۳	۱۴	۹	۰
۱۹۸۹-۱۹۹۰	۴	۱۲	۱۳	۰	۰
۱۹۹۰-۱۹۹۱	۰	۱	۶	۱۱	۱۱
۱۹۹۱-۱۹۹۲	۵	۰	۱۰	۶	۸
۱۹۹۲-۱۹۹۳	۳	۳	۱۰	۶	۷
۱۹۹۳-۱۹۹۴	۵	۳	۸	۳	۱۰
۱۹۹۴-۱۹۹۵	۳	۷	۱۰	۲	۹
۱۹۹۵-۱۹۹۶	۰	۰	۳	۱۶	۹
۱۹۹۶-۱۹۹۷	۰	۰	۹	۵	۱۵
۱۹۹۷-۱۹۹۸	۱	۱	۱۹	۸	۰
۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱	۵	۱۵	۴	۳
۱۹۹۹-۲۰۰۰	۰	۶	۲۲	۱	۱
۲۰۰۰-۲۰۰۱	۵	۴	۱۸	۲	۱
۲۰۰۱-۲۰۰۲	۰	۹	۱۱	۶	۳
۲۰۰۲-۲۰۰۳	۳	۴	۲۰	۲	۰
۲۰۰۳-۲۰۰۴	۱	۱	۷	۴	۱۶
۲۰۰۴-۲۰۰۵	۰	۲	۲۰	۵	۱
۲۰۰۵-۲۰۰۶	۱	۱	۱۱	۹	۷
۲۰۰۶-۲۰۰۷	۵	۸	۱۳	۳	۰
۲۰۰۷-۲۰۰۸	۹	۱۲	۶	۲	۰
۲۰۰۸-۲۰۰۹	۲	۳	۱۷	۵	۲
۲۰۰۹-۲۰۱۰	۱۳	۹	۶	۱	۰
۲۰۱۰-۲۰۱۱	۱۲	۸	۵	۳	۱
۲۰۱۱-۲۰۱۲	۸	۹	۶	۳	۳
۲۰۱۲-۲۰۱۳	۷	۳	۶	۲	۴
۲۰۱۳-۲۰۱۴	۱۰	۱۱	۳	۲	۳
۲۰۱۴-۲۰۱۵	۱۴	۹	۴	۰	۲



شکل ۱. وضعیت فراوانی شاخص SIPA در ترسالی‌های جنوب و جنوب غرب ایران

مرکز پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان بدین‌صورت برآورد شده است: بیشترین ارتفاع ژئوپتانسیل را در مقایسه با نقاط مجاور دارا بوده و به‌عنوان مرکز پُرفشار انتخاب شده و موقعیت جغرافیایی آن با طول و عرض بیان شده است. بیشینه ارتفاع ژئوپتانسیل معمول‌ترین معیار برای تعیین مراکز پُرفشار جنب‌حاره‌ای به‌شمار می‌رود (بل و بوسارت، ۱۹۸۹: ۲۱۴۱-۲۱۶۳؛ پارکر و همکاران، ۱۹۸۹؛ قائمی و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۲۳). شایان ذکر است که در صورت وجود بیشینه‌های متعدد در هر مورد مشاهداتی، با شرط وجود اختلاف حداقل ۱۰ ژئوپتانسیل متر در شبکه‌های حدفاصل بین دو بیشینه مجاور، هر دو مرکز پُرفشار محسوب شده‌اند. هسته مراکز پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان به‌صورت روزانه مشخص و در محیط نرم‌افزاری ArcGis10.3 به‌صورت نقشه خروجی ترسیم شد (برای تعیین هسته مرکزی پُرفشار، منحنی‌های بسته‌شده در محدوده شبه‌جزیره عربستان و دریاهای عرب و عمان در همه ترازها به‌صورت ماهانه ترسیم شد و مشخص شد که تراز ۸۵۰ نسبت به سایر ترازها موقعیت هسته مراکز پُرفشار عربستان را بهتر نشان می‌دهد). در مرحله سوم، داده‌های روزانه میانگین فشار تراز دریا از سری داده‌های بازکاوی‌شده NCEP/NCAR در ۱۰۴ روز موردنظر برداشت شد. ذکر این نکته لازم است که معیار انتخاب ۱۰۴ روز شامل این دو مورد است: ۱. ۷۰ درصد از ایستگاه‌ها درگیر بارش باشد؛ ۲. بارش بالای ۵ میلی‌متر در ایستگاه‌ها ثبت شده باشد. از شیوه تحلیل عاملی (برای اطمینان از مناسب بودن داده‌ها) و از معیار KMO و بارتلت استفاده شده است. بر اساس جدول ۲، با توجه به اینکه هرچه مقدار معیار KMO به ۱ نزدیک‌تر باشد، بیان‌کننده تناسب بیشتر داده‌ها برای تحلیل عاملی است (منصورفر، ۱۳۸۸: ۳۷۴)، از کاربرد تحلیل عاملی اطمینان حاصل شد. همچنین، مقدار محاسبه‌شده برای آزمون بارتلت نیز $P < 0.0000$ معنادار است.

با توجه به اینکه هدف اصلی در این تحقیق بررسی الگوهای حاکم در ترسالی‌های شدید در جنوب و جنوب‌غرب است، بر اساس نمودار اسکری‌گراف، عوامل ۱ تا ۱۳ از اهمیت بسیار زیادی نسبت به بقیه عوامل استخراج‌شده برخوردارند (شکل ۳).

جدول ۲. آزمون KMO و Bartlett's به‌منظور اطمینان از مناسب بودن داده‌ها

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.921
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	306919.916
	df	5356
	Sig.	.000



شکل ۲. نمودار اسکری‌گراف برای نمایش ارزش ویژه عوامل

در مرحله بعد، توجه پراش داده‌ها، با توجه به مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تراکمی برای تحلیل عامل‌ها مشخص شد. تحلیل عاملی با دوران واریمکس نشان داد که ۱۳ عامل ۸۹/۱۸ درصد رفتار الگوها را توجیه می‌کنند. در نتیجه، ۱۳ عامل مشخص شد؛ با بررسی همه عامل‌ها، پرتکرارترین الگوها انتخاب و بررسی چشمی شد. در نهایت و با توجه به بررسی نقشه‌های تراز ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۳ عامل استخراج شده، الگوهای غالب در ترسالی شدید نمونه انتخابی استخراج شد و نقشه‌های رودباد جنب‌حاره‌ای، شار واگرا و همگرا، نم ویژه، وزش دمایی، و ... تجزیه و تحلیل شد. برای ترسیم نقشه‌های شار واگرا و همگرا و وزش دمایی از رابطه‌های زیر به صورت اسکریپتی در محیط نرم‌افزاری Grads استفاده شده است.

$$MFC = -\nabla \cdot (qV_h) = -V_h \cdot V_q - q \nabla \cdot V_h, \quad (1)$$

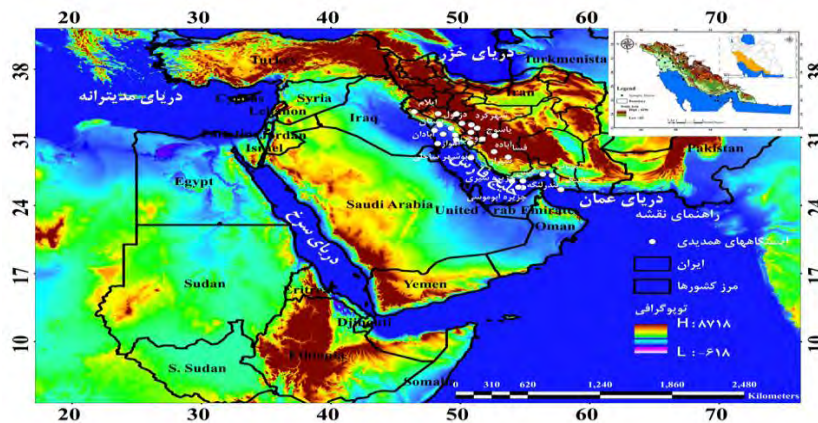
$$MFC = -u \frac{\partial q}{\partial x} - V \frac{\partial q}{\partial y} - q \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right). \quad (2)$$

که در رابطه ۲ جمله $-u \frac{\partial q}{\partial x} - V \frac{\partial q}{\partial y}$ معرف جمله وزش یا انتقال افقی رطوبت ویژه جو و جمله $q \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$ بیانگر همگرایی رطوبت ویژه جو است و حاصل ضرب ویژه در همگرایی حجم جرم را بیان می‌کند (باناکوس و شولتز، ۲۰۰۵: ۳۵۲ به نقل از قویدل رحیمی، ۱۳۸۹).

در عین حال، همه نقشه‌های روزانه ترازهای ۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال در دو سال فوق (دوره بارشی) نخست به صورت چشمی چندین بار بررسی شد. همین داده‌ها با استفاده از تحلیل عاملی با الگوی حاصل از بررسی چشمی شباهت زیادی با هم داشتند.

سرزمین پژوهش

جنوب و جنوب غرب ایران شامل هشت استان (خوزستان، چهارمحال و بختیاری، ایلام، کهگیلویه و بویراحمد، هرمزگان، فارس، بوشهر، و لرستان) می‌شود و از جمله مناطق استراتژیک و مهم کشور است. این منطقه ۱۷ درصد از کل جمعیت کشور را به خود اختصاص داده است. توجه داشته باشیم پُرباب‌ترین رودخانه‌های کشور در این منطقه قرار دارند. این منطقه بزرگ‌ترین منبع آبی کشور و آب مازاد آن تأمین‌کننده آب چند استان دیگر است. این منطقه همچنین یکی از مهم‌ترین مراکز گردشگری ایران و از قطب‌های صنعتی کشور است. حجم جریانات سطحی حوضه آبریز منطقه جنوب و جنوب غرب به ۴۷۰۴۹ میلیارد متر مکعب می‌رسد که نسبت به سایر حوزه‌ها رقم بالایی را نشان می‌دهد. همچنین، از لحاظ حجم مخازن سدها نیز نسبت به سایر حوضه‌های آبریز بیشترین حجم مخازن را داراست. در عین حال، این منطقه به دلیل تنوع اقلیمی و هم‌زمانی بارش با دوره کشت محصولات استراتژیک و زمستانه کشور و مناطق اطراف ویژگی منحصر به فردی دارد و بسیاری از محصولات کشاورزی که در دوره سرد سال امکان رویش در سایر نقاط کشور را ندارند در این منطقه امکان کشت پیدا می‌کنند.

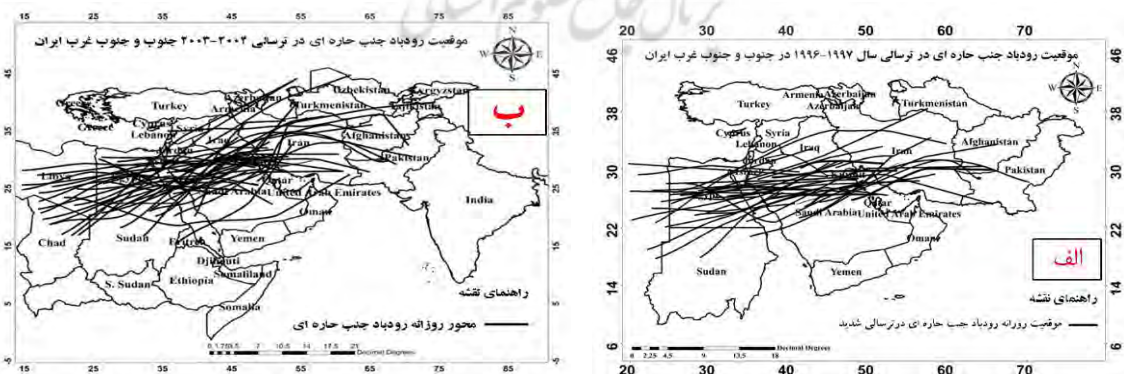


شکل ۳. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های انتخابی

یافته‌های پژوهش

موقعیت رودباد جنب‌حاره‌ای در سال‌های ۱۹۹۶-۱۹۹۷ و ۲۰۰۳-۲۰۰۴

شکل‌های ۴- الف و ۴- ب موقعیت روزانه محور رودباد در ترسالی‌های شدید ۱۹۹۶-۱۹۹۷ و ۲۰۰۳-۲۰۰۴ در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهند. برای بررسی نقش جریانات بالایی در تشدید ناپایداری‌های جوی در این منطقه جغرافیایی، نقشه جریان برای ترازهای ۲۵۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال (نقشه ۱۹۲۰) ترسیم شد. با توجه به اینکه نزدیک‌ترین رودباد به منطقه در روزهای بارشی رودباد جنب‌حاره‌ای بود و همچنین در همین روزها رودباد قطبی فاصله زیادی از منطقه داشت، محور رودباد جنب‌حاره‌ای در تمام روزهای بارشی برای ترازهای فوق ترسیم شد. همچنین، این نقشه‌ها نشان داد که رودباد جنب‌حاره‌ای در این منطقه جغرافیایی از تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال به بالا بسیار خوب تشخیص‌دانی است. ولی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال این جریان رودباد به خوبی تشخیص‌پذیر نیست. بنابراین، ترازهای ۳۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال بهترین تراز جوی برای مطالعه رودباد جنب‌حاره‌ای در این منطقه است. همان‌طور که محور رودباد جنب‌حاره‌ای تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال در دوره بارشی دو سال ۱۹۹۶-۱۹۹۷ و ۲۰۰۳-۲۰۰۴ نشان می‌دهد، مناسب‌ترین موقعیت برای استقرار رودباد جنب‌حاره‌ای برای تشدید ناپایداری‌های جوی بر روی جنوب ایران در محدوده‌ای بین ۲۰ تا ۷۰ درجه جغرافیایی شرقی و عرض ۱۵ تا ۴۰ درجه شمالی (بین کشور مصر و کویت) است.



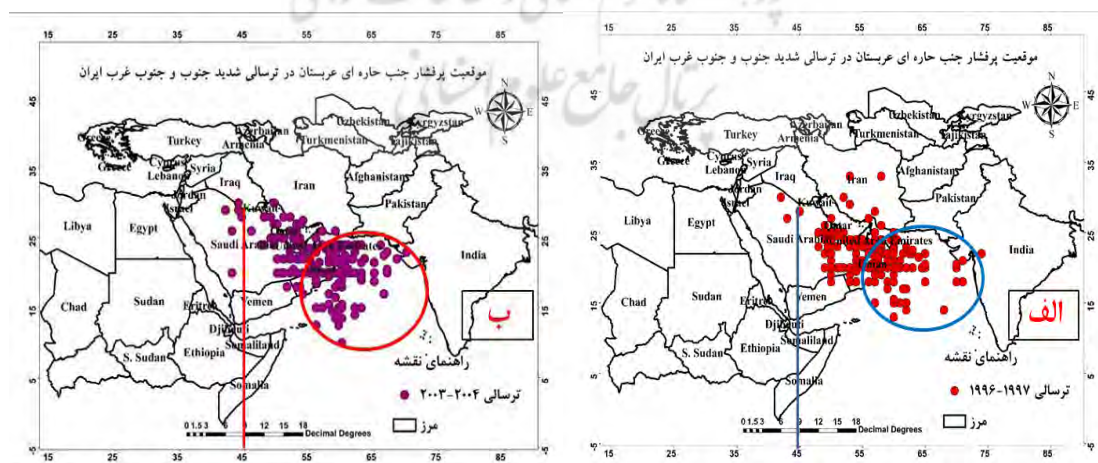
شکل ۴. موقعیت رودباد جنب‌حاره‌ای در ترسالی ۱۹۹۶-۱۹۹۷ (الف) و ۲۰۰۳-۲۰۰۴ (ب) در جنوب و جنوب‌غرب ایران تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال استقرار رودباد جنب‌حاره‌ای در این منطقه جغرافیایی سبب می‌شود جنوب و جنوب‌غرب ایران در مناسب‌ترین موقعیت (شمال‌غرب، سمت چپ خروجی) رودباد جنب‌حاره‌ای قرار بگیرد.

موقعیت پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان در ترسالی ۱۹۹۶-۱۹۹۷ و ۲۰۰۳-۲۰۰۴

موقعیت هسته مرکزی روزانه پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان در همه روزهای دوره بارشی در دو سالی که به‌عنوان ترسالی‌های شدید انتخاب شده بود در شکل ۵- الف و ۵- ب آمده است. همان‌طور که دیده می‌شود، چند ویژگی مهم در موقعیت روزانه هسته‌های پُرفشار در هر دو ترسالی شدید به‌صورت بارزی جلوه می‌کند. در اکثر قریب به‌اتفاق روزها، هسته مرکزی در شرق طول جغرافیایی ۴۵ درجه واقع شده است. بنابراین، جابه‌جایی شرق‌سوی هسته‌ها، به‌خصوص در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، یک اصل اساسی برای امکان ورود سامانه‌های بارشی و فرارفت رطوبت به منطقه جنوب و جنوب‌غرب ایران است. منطقه جغرافیایی کشور عمان تا ساحل شرقی هند مناسب‌ترین محل استقرار هسته‌ها در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال برای ایجاد یک شار رطوبتی مناسب و درعین‌حال ورود فراگیر سامانه‌های بارشی بر روی کل منطقه است. وقتی هسته‌ها در موقعیتی غربی‌تر از این منطقه (طول ۵۵ درجه شرقی) قرار می‌گیرند، بارش‌ها به جنوب‌غرب ایران محدود می‌شود و شرق بوشهر و هرمزگان از بارش محروم می‌شوند یا بارش ضعیفی را دریافت می‌کنند.

جدول ۳ بارش روزانه برخی از ایستگاه‌های جنوب و جنوب‌غرب ایران را در یک نمونه از بارش‌های فراگیر (۲۲ نوامبر ۲۰۱۷) نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، در این سامانه بارش از ایستگاه صفی‌آباد دزفول در استان خوزستان تا ایستگاه لار در جنوب شرق استان فارس و شمال شرق استان هرمزگان درگیر بارش بوده‌اند.

بررسی نقشه‌های رطوبتی در همه ترسالی‌ها نشان می‌دهد که بالاترین فرارفت رطوبتی بر روی منطقه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال انجام می‌شود. شکل‌های ع- الف و ع- ب نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل، جریان، و نم ویژه همین سامانه بارشی را در ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، هسته مرکزی پُرفشار عربستان جابه‌جایی شرق‌سوی بسیار مناسبی دارد. بنابراین، برای یک فرارفت رطوبتی مناسب بایستی در لایه زیرین و ردسپهر (۸۵۰ هکتوپاسکال) هسته مرکزی پُرفشار جنب‌حاره‌ای باید بر روی دریاهای گرم عمان و عرب قرار بگیرد تا با جریانات واچرخندی رطوبت را بر روی منطقه جنوب و جنوب‌غرب ایران فرارفت نماید. بهترین فرارفت رطوبتی در شرایطی حاصل شده‌اند که هسته مرکزی پُرفشار در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال هسته مرکزی پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان بر روی آب‌های گرم قرار داشته است.

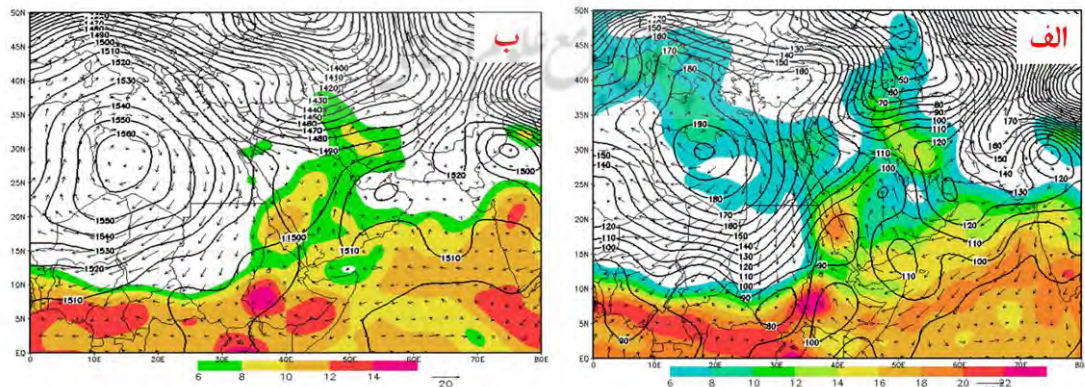


شکل ۵. موقعیت روزانه هسته مرکزی پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ترسالی‌های ۱۹۹۶-۱۹۹۷ (الف) و ۲۰۰۳-۲۰۰۴ (ب) در جنوب و جنوب‌غرب ایران

جدول ۳. یک نمونه از سامانه‌های بارشی فراگیر در جنوب و جنوب‌غرب ایران (22 نوامبر ۲۰۱۷)

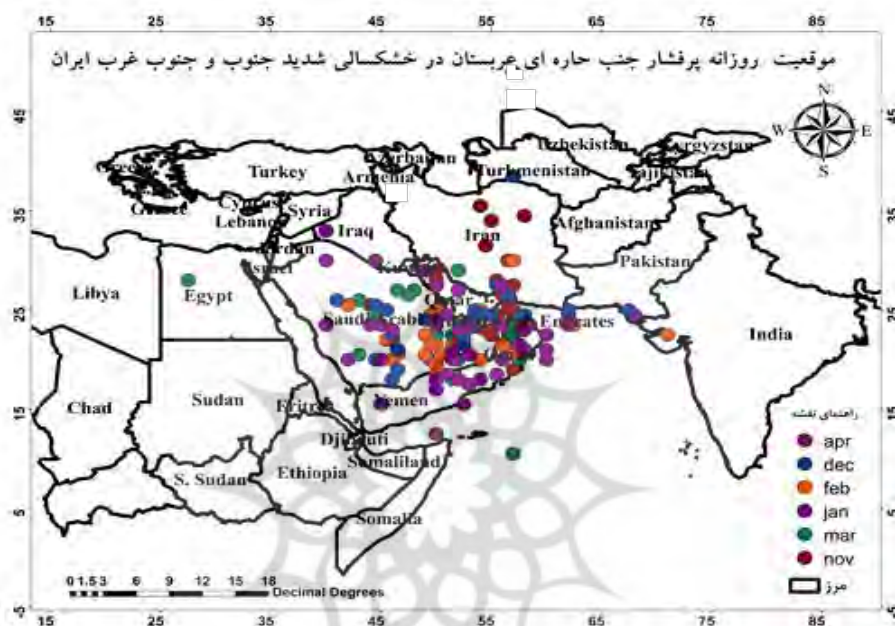
کد ایستگاه	نام ایستگاه	بارش	ارتفاع
۹۹۶۶۵	پارسیان	۲۸.۹	۵۹
۹۹۶۳۰	فیروزآباد	۳۳.۸	۱۳۶۲
۹۹۵۹۴	بندر گناوه	۳۸	۴.۳
۹۹۵۸۰	نورآباد ممسنی	۲۱.۵	۹۷۲
۹۹۵۷۵	تخت جمشید	۱۸.۲	۱۶۰.۵
۹۹۵۵۵	سی سخت	۳۲	۲۱۳۳.۴
۹۹۵۳۷	هندیجان	۴۰	۳
۹۹۵۱۳	گتوند	۳۳.۳	۷۰
۹۹۴۵۵	ایذه	۴۰.۳	۷۶۷
۸۱۱۸۷	جم فرودگاه	۲۹.۷	۶۵۹
۴۰۸۶۱	کازرون	۳۸.۹	۸۴۰
۴۰۸۵۸	بوشهر	۶۵.۷	۵
۴۰۸۴۵	جزیره خارک	۶۳.۳	-۱.۲
۴۰۸۴۷	زرقان	۲۱.۷	۱۵۹۶
۴۰۸۴۸	شیراز	۲۱.۲	۱۴۸۸
۴۰۸۳۴	بهبهان	۲۵.۶	۳۱۳
۴۰۸۳۳	امیدیه	۱۹.۵	۲۷
۴۰۸۳۲	بندر ماهشهر	۲۸.۶	۶.۲
۴۰۸۱۳	لردگان	۴۶.۴	۱۵۰.۵
۴۰۷۹۴	صفی‌آباد دزفول	۲۸.۵	۸۲.۹
۴۰۷۹۷	کوه‌رنگ	۲۰	۲۳۶۵
۴۰۸۷۲	بندر دیر	۵۳.۷	۴
۴۰۸۷۳	لار	۷.۴	۷۹۲
۴۰۸۸۲	کیش	۱۰.۷	۳۰

منبع: سازمان هواشناسی کشور



شکل‌های ۶- الف و ۶- ب. نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل، جریان، و نم ویژه سامانه بارشی روز ۲۲ نوامبر ۲۰۱۷ به ترتیب در ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال

برعکس، در همه مواردی که هسته مرکزی پُرفشار عربستان در شرق طول ۵۵ درجه شرقی قرار گرفته‌اند بارش‌ها بر این منطقه به شدت کاهش یافته است. شکل ۷ موقعیت هسته مرکزی پُرفشار عربستان را در خشک‌سالی شدید ۲۰۰۷-۲۰۰۸ نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، در بیشتر روزها هسته مرکزی پُرفشار در غرب طول ۵۰ درجه شرقی و حتی ۴۵ درجه شرقی استقرار دارد. این الگوی گسترش پُرفشار عربستان به خصوص در لایه زیرین وردسپهر، علاوه بر فرارفت خشک و گرم بر روی منطقه، مانع گسترش سامانه کم‌فشار سودانی بر روی منطقه شده است. (محمدی، ۱۳۹۶: ۲۴۵).



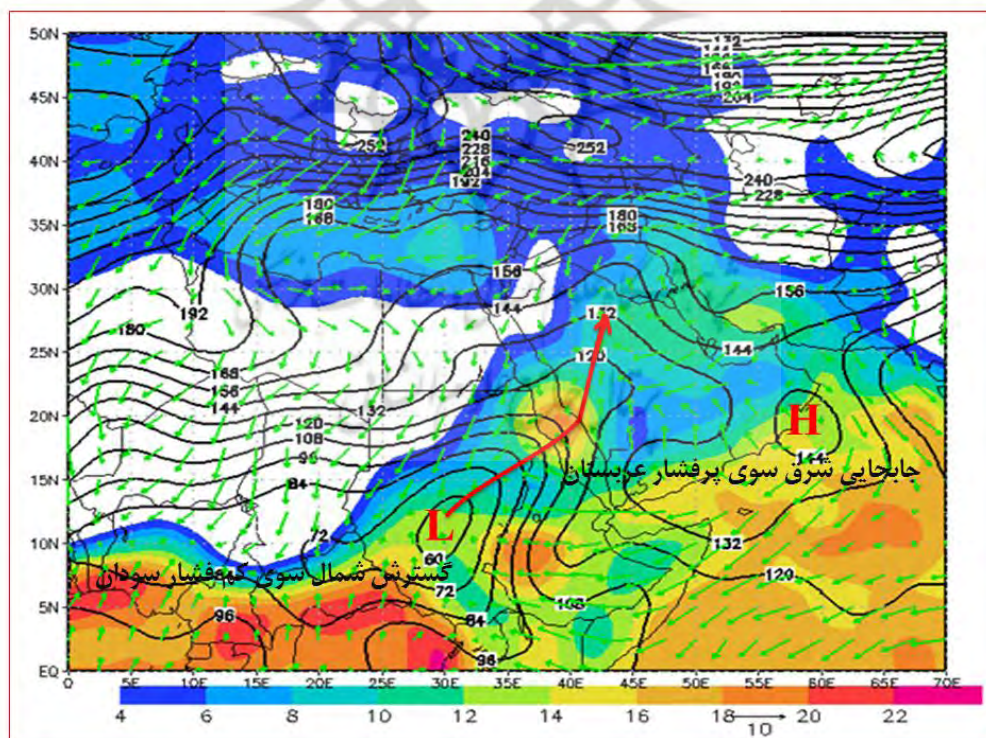
شکل ۷. موقعیت هسته مرکزی پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان در یک نمونه خشک‌سالی شدید ۲۰۰۸-۲۰۰۷
منبع: لشکری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۵۳

تحلیل هم‌دیدگی و ترمودینامیکی الگوی پُرتکرار در ترسالی‌های شدید

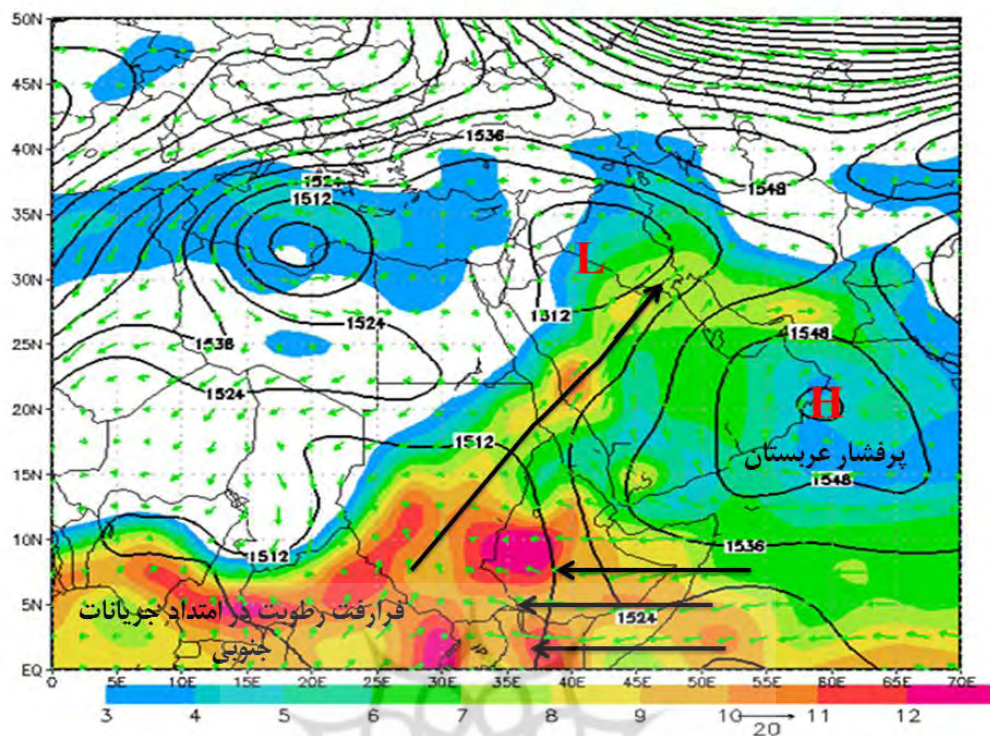
همان‌طور که بیان شد، برای تحلیل هم‌دیدگی و الگویابی سامانه‌های غالب در ترسالی‌ها از شاخص تحلیل عاملی و بررسی چشمی استفاده شد. برای تحلیل شار رطوبتی نیز نقشه‌های ترکیبی جریان و شار رطوبتی برای ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰ و رطوبت مجموع ضخامت ۷۰۰-۱۰۰۰ ترسیم شد. روش استفاده‌شده برای تحلیل شار همگرایی جریان رطوبت جو جزئی از کار (باناکوس و شولتز، ۲۰۰۵؛ ۳۵۲ به نقل از قویدل رحیمی، ۱۳۸۹) است. در این مطالعه بر اساس معادلات به‌کارگرفته‌شده در تحقیق یادشده، نقشه‌های همگرایی جریان رطوبت جو ترسیم و تجزیه و تحلیل شد. همان‌طور که در بخش روش‌شناسی تحقیق بیان شد، تحلیل عاملی و بررسی چشمی انجام‌شده بر روی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب‌غرب ایران دو عامل بالاترین فراوانی و بالاترین توجیه واریانس را برای ترسالی‌های منطقه نشان می‌دهند که عامل اول ۸۰/۹ درصد واریانس داده را توجیه می‌کند. الگوی هم‌دیدگی روز ۱۲ مارس ۱۹۹۷ نماینده الگوی حاکم در ترسالی‌های جنوب و جنوب‌غرب ایران است.

تحلیل همدیدی و ترمودینامیکی

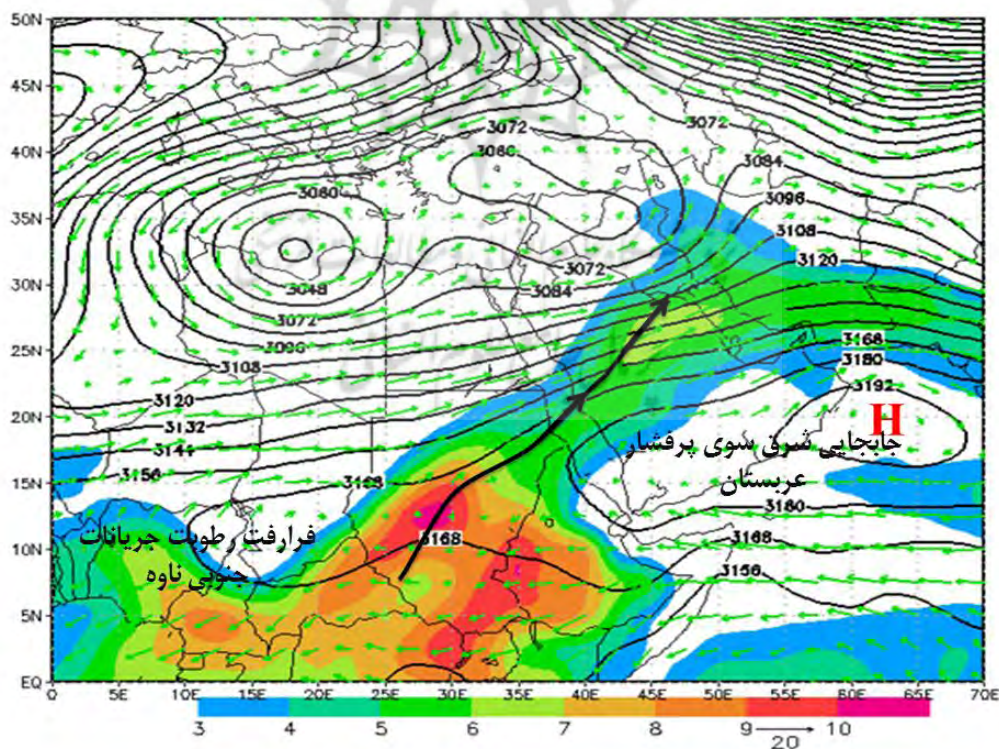
در الگوی غالب و پُرتکرار از ۴۸ ساعت قبل از شروع بارش پشته‌ای با راستای غربی- شرقی از واچرخند آזור بر روی اروپای جنوبی گسترش پیدا می‌کند و این پشته تا غرب روسیه امتداد می‌یابد. این الگوی گسترش سبب می‌شود ناوهٔ بادهای غربی دوقطبی شود. این الگوی گسترش پشتهٔ آזור سبب می‌شود ناوهٔ مدیترانه‌ای از ترازهای بالاتر از ۷۰۰ هکتوپاسکال کج‌محوری پیدا کنند و چالهٔ سرد درون ناوه، ضمن گسترش جنوب‌سوی شدید، برای چند روز متوالی بلوکه شود. فرارفت سرد لایه‌های میانی و ردسپهر شیو حرارتی را بر روی صحرای افریقا تشدید می‌کند. با نصف‌النهاری شدن جریانات در لایهٔ میانی و فرارفت تاوایی مثبت به درون سامانهٔ سودانی، این سامانهٔ حرارتی شرایط ترمودینامیکی پیدا می‌کند و در امتداد جریانات جنوبی جلوی ناوه گسترش شمال‌سوی قابل‌توجهی پیدا می‌کند. شکل ۸ گسترش شمال‌سوی کم‌فشار سودانی را از ۴۸ ساعت قبل از شروع بارش نشان می‌دهد. در این الگو جابه‌جایی شرق‌سوی واچرخند عربستان نقش بسیار مهمی در فرارفت رطوبتی به درون سامانهٔ سودانی دارد. همان‌طور که دیده می‌شود، در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال رطوبت دریاهای گرم عرب و عمان به وسیلهٔ جریانات شرقی به درون سامانهٔ سودانی و جریانات جنوبی جلوی ناوه فرارفت می‌شود و به‌تدریج بر روی منطقهٔ مطالعاتی فرارفت می‌گردد (شکل‌های ۸، ۹، و ۱۰). جریانات رودباد نیز در این الگو به تبعیت از دوقطبی شدن جریانات بادهای غربی دوقطبی شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، جنوب و جنوب‌غرب ایران به‌تدریج از ۴۸ ساعت قبل از شروع بارش در محدودهٔ مناسبی از رودباد و در سمت چپ خروجی و شدیدترین منطقهٔ واگرایی رودباد قرار می‌گیرد (شکل ۱۱).



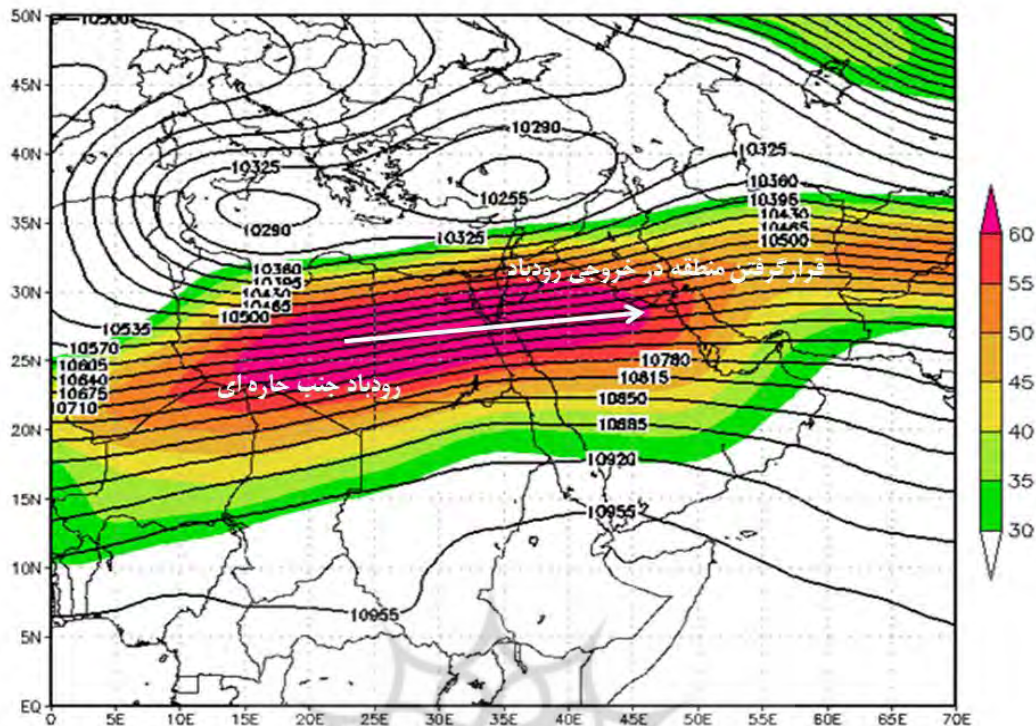
شکل ۸. نقشهٔ ارتفاع ژئوپتانسیل (m)، نم و بوزه (g/kg)، و نقشهٔ جریان (m/s) تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۲ مارس ۱۹۹۷



شکل ۹. نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (m)، نم و یزه (g/kg)، و نقشه جریان (m/s) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۱۲ مارس ۱۹۹۷

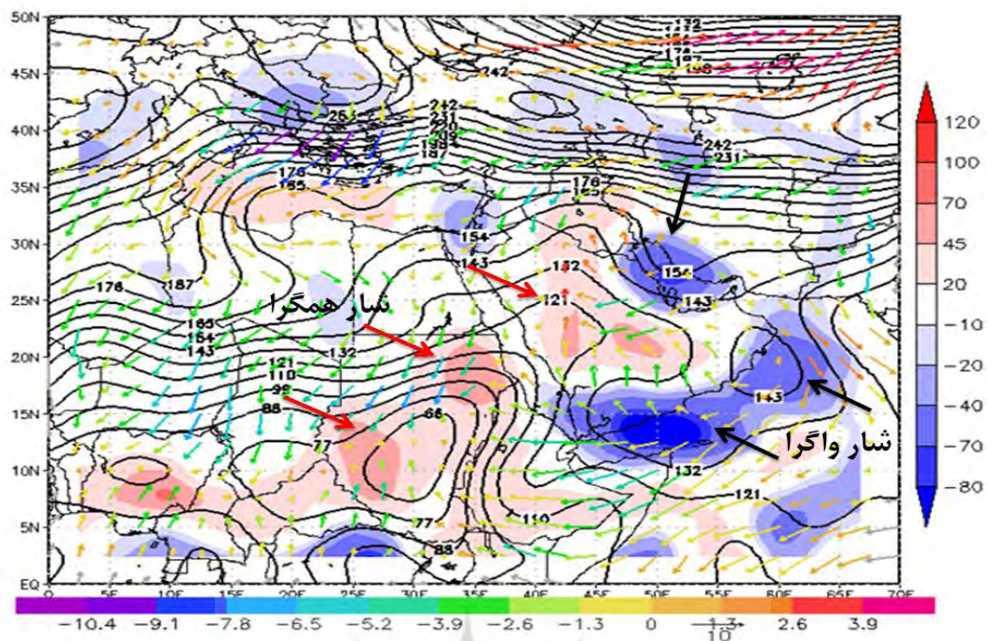


شکل ۱۰. نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (m)، نم و یزه (g/kg)، و نقشه جریان (m/s) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۲ مارس ۱۹۹۷

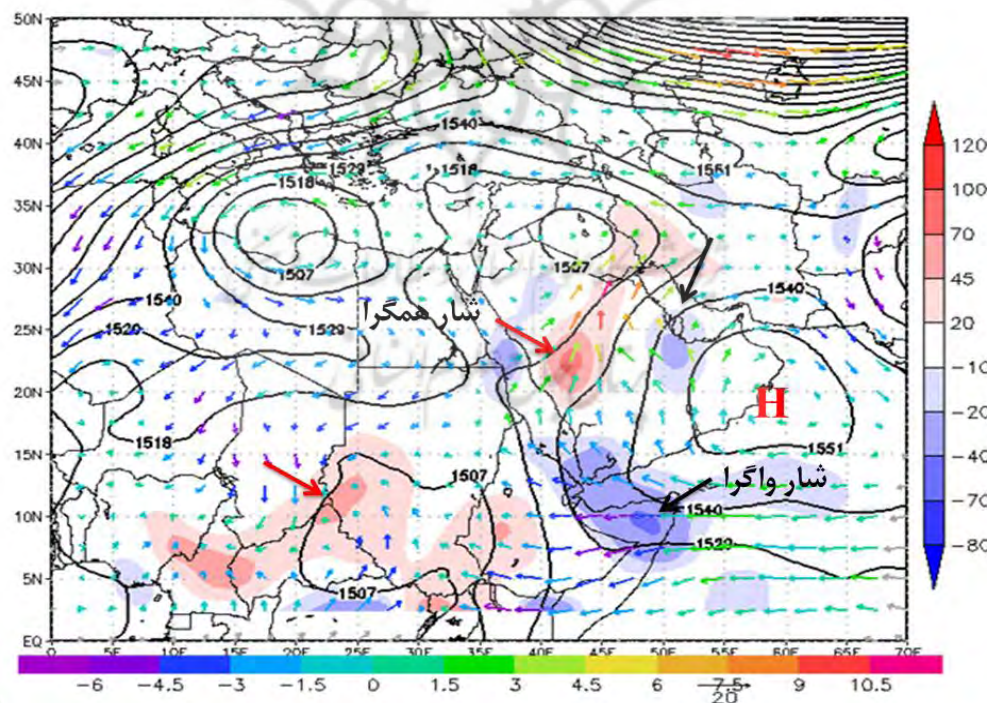


شکل ۱۱. ارتفاع ژئوپتانسیل به متر (m)، هسته‌های رودباد جنب‌حاره‌ای (m/s) تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال، روز ۱۲ مارس ۱۹۹۷

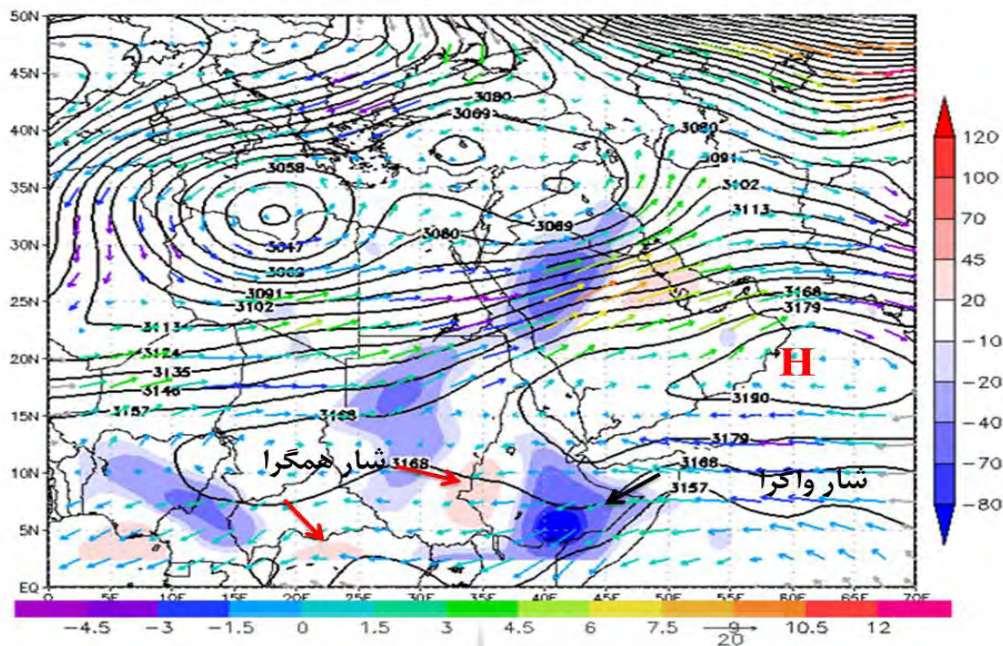
شکل‌های ۱۲ و ۱۳ شار رطوبتی واگرا و همگرا را در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. با جابه‌جایی شرق‌سوی واچرخند عربستان و گردش واچرخندی حاصل از آن و غلبه جریانات شرقی، به‌خصوص در لایه زیرین و ردسپهر، سه هسته شار رطوبتی واگرا بر روی دریای عرب، خلیج عدن، و خلیج فارس به چشم می‌خورد. این شار ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال به خلیج عدن محدود می‌شود و دو هسته دیگر نقش کم‌رنگ‌تری در شار رطوبتی ایفا می‌کنند. هسته اصلی شار رطوبتی همگرا لایه زیرین بر روی سوئدان، ولی در لایه‌ای بالاتر بر روی غرب عربستان قرار دارد. بدین ترتیب، بالاترین شار رطوبتی از روی دریای عمان و عرب به درون سامانه سوئدانی در لایه زیر ۸۵۰ هکتوپاسکال قرار دارد. به‌نظر می‌رسد در لایه ۷۰۰ هکتوپاسکال شاخه جداسده از جریانات شرقی حاره در انتقال رطوبت منطقه حاره‌ای به درون جریانات جنوبی این تراز نقش مؤثری دارد. وزش دمایی مناسب و گرمایش بادررو حاصل از میعان رطوبتی باعث تشدید شرایط سلونوئیدالی بر روی غرب و شمال‌غرب عربستان شده و بر شدت ناپایداری سامانه افزوده است. در ترازهای بالای ۸۵۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال شرایط جریان بر روی دریای عرب و عمان بسیار آرام و بطئی است. این پدیده نشان‌دهنده همگرایی جریان در این ترازها و فرونشینی حاصل از آن است. این جریان نزولی از طریق گرمایش بی‌دررو گرم‌تر می‌شود و ظرفیت رطوبتی آن افزایش می‌یابد. این هوای گرم با حرکت بر روی آب‌های گرم دریاهای عرب، عمان، و خلیج عدن رطوبت فراوانی را به جریانات انتقالی به سمت ایران فرارفت می‌نماید. درحالی‌که در زیر تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال این جریان از تندی بسیار زیادی برخوردار است و فرارفت رطوبتی خوبی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲. همگرایی و واگرایی شار رطوبت ($10^{-5} g \cdot gk^{-1} \cdot s^{-1}$)، ارتفاع ژئوپتانسیل (m)، و وزش دمایی ($^{\circ}C$) تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۲ مارس ۱۹۹۷



شکل ۱۳. همگرایی و واگرایی شار رطوبت ($10^{-5} g \cdot gk^{-1} \cdot s^{-1}$)، ارتفاع ژئوپتانسیل (m)، و وزش دمایی ($^{\circ}C$) تراز 850 هکتوپاسکال روز ۱۲ مارس ۱۹۹۷



شکل ۱۴. همگرایی و واگرایی شار رطوبت ($g \cdot gk^{-1} \cdot s^{-1}$)، ارتفاع ژئوپتانسیل (m)، و وزش دمایی ($^{\circ}C$) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۲ مارس ۱۹۹۷

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای انتخاب پُرتکرارترین الگوی همدیدی، علاوه بر تحلیل عاملی، از بررسی چندین بارهٔ چشمی نقشه‌های تراز زیرین وردسپهر در همهٔ روزهای بارشی در دو سال پُربارش منطقه استفاده شد. نتایج این بررسی بر روی الگوهای پُرتکرار و همچنین نقشه‌های تراز زیرین وردسپهر در همهٔ روزهای بارشی نشان داد که از ۴۸ ساعت قبل از شروع بارش با گسترش جنوب‌سوی قابل ملاحظه ناوهٔ مدیترانه‌ای، پُرفشار عربستان جابه‌جایی شرق‌سوی چشم‌گیری دارد؛ به طوری که در همهٔ روزهای بارشی فراگیر هستهٔ مرکزی پُرفشار در شرق طول جغرافیایی ۴۵ درجهٔ شرقی قرار داشته است. بررسی پهنهٔ بارشی و ایستگاه‌های درگیر بارش در همهٔ نمونه‌های بارشی همچنین نشان داد که وقتی هستهٔ مرکزی پُرفشار عربستان جابه‌جایی شرق‌سوی قابل توجهی داشته و در شرق طول ۵۵ درجهٔ شرقی قرار داشته است، سامانه‌های بارشی ورودی گسترده‌تر عمل کرده و پهنهٔ بارشی، علاوه بر خوزستان و استان‌های هم‌جوار، تا شرق استان هرمزگان نیز گسترش یافته است.

منبع اصلی رطوبتی سامانه‌ها در تمام نمونه‌های بارشی در لایهٔ زیرین وردسپهر (تراز دریا تا ۸۵۰ هکتوپاسکال) دریا‌های عرب و عمان است که با نتایج کریمی و همکاران (۱۳۹۰) همخوانی دارد. با جابه‌جایی شرق‌سوی پُرفشار عربستان و استقرار آن بر روی آب‌های گرم عرب و عمان، در نیمهٔ شمالی دریای عمان جریانات به‌خصوص در لایهٔ زیرین شمالی بوده و به تدریج این جریانات در نیمهٔ جنوبی و مرکزی دریای عرب به جریانات شرقی تبدیل شده و با گردش واچرخندی پُرفشار این رطوبت از طریق خلیج عدن به درون سامانهٔ سودانی و جریانات جنوبی جلوی زبانهٔ کم‌فشار سودانی فرارفت می‌شود.

این تحقیق همچنان نشان داد که در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال تا ۵۰۰ هکتوپاسکال شاخه انحرافی از جریان شرقی روی منطقه همگرایی حاره‌ای (ITCZ) به رطوبت لایه زیرین و رددسپهر افزوده شده و نقش رطوبتی لایه‌های بالاتر را انجام می‌دهد.

مناسب‌ترین موقعیت استقرار رودباد جنب‌حاره‌ای برای تقویت سامانه بارشی انتقالی از سمت سودان محدوده‌ای بین غرب مصر یا ساحل غربی خلیج فارس (کویت و عرض ۲۵ تا ۳۰ درجه شمالی) است؛ به طوری که هسته سرعت رودباد در جنوب اردن و شمال غرب عربستان قرار بگیرد. در این شرایط به دلیل ایجاد شیو فشاری قوی بر روی جنوب و جنوب غرب ایران شرایط سلونویدالی شدیدی در بخش شمال شرقی رودباد ایجاد می‌شود. به همین دلیل، شدت بارش‌های این منطقه از تغییرات مکانی شدیدی برخوردار است. مثلاً، در سامانه بارشی ۲۸ آذر ۱۳۹۶ ایستگاه بوشهر ۷۴/۴ میلی‌متر و بندر گناوه با فاصله ۱۲۴ کیلومتر فقط ۱۶/۸ میلی‌متر بارش دریافت کرده است.



منابع

- احمدی گیوی، ف.؛ ایران‌نژاد، پ. و محمدنژاد، ع. (۱۳۸۹). اثر پُرفشارهای جنب‌حاره و سیبری بر خشک‌سالی‌های غرب ایران، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، ۲۱-۲۳: ۵-۹.
- حجازی‌زاده، ز. (۱۳۷۲). بررسی سینوپتیکی پُرفشار جنب‌حاره‌ای در تغییر فصل ایران، پایان‌نامه دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.
- خوش‌اخلاق، ف.؛ عزیزی، ق. و رحیمی، م. (۱۳۹۱). الگوهای همدید خشک‌سالی و ترسالی زمستانه در جنوب‌غرب ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۲(۲۵): ۵۷-۷۷.
- سلیقه، م. و صادقی‌نیا، م. (۱۳۸۹). بررسی تغییرات مکانی پُرفشار جنب‌حاره در بارش‌های تابستانه نیمه جنوبی ایران، فصل‌نامه جغرافیا و توسعه، ۱۷: ۸۳-۹۸.
- قائمی، ه.؛ زرین، آ.؛ آزادی، م. و فرج‌زاده اصل، م. (۱۳۸۸). تحلیل الگوی پُرفشار جنب‌حاره بر روی آسیا و افریقا، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی، ۱: ۲۱۹-۲۴۵.
- قوبدل رحیمی، ی. (۱۳۸۹). نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم‌افزار Grads، سها دانش.
- کریمی احمدآباد، م. (۱۳۸۶). تحلیل منابع رطوبتی بارش‌های ایران، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- کریمی احمدآباد، م. و فرج‌زاده، م. (۱۳۹۰). شار رطوبت و الگوهای فضایی- زمانی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۲: ۱۰۹-۱۲۷.
- لشکری، ح. (۱۳۷۵). الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب‌غربی ایران، پایان‌نامه دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.
- لشکری، ح. و محمدی، ز. (۱۳۹۴). اثر موقعیت استقرار پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان بر سامانه‌های بارشی در جنوب و جنوب‌غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۱: ۷۳-۹۰.
- لشکری، ح.؛ متکان، ع.؛ آزادی، م. و محمدی، ز. (۱۳۹۶). تحلیل همدیدی نقش پُرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در خشک‌سالی‌های شدید جنوب و جنوب‌غرب ایران، پژوهش‌های دانش زمین، ۸(۳۰): ۱۴۱-۱۶۳.
- محمدی، ز. (۱۳۹۶). تحلیل همدیدی نقش موقعیت مکانی پُرفشار جنب‌حاره‌ای و رودباد جنب‌حاره‌ای در خشک‌سالی‌ها، ترسالی‌ها، شروع و پایان و طول دوره بارشی جنوب و جنوب‌غرب ایران، رساله دکترا، دانشگاه شهید بهشتی.
- منصورفر، ک. (۱۳۸۸). روش‌های پیشرفته آماری همراه با برنامه‌های کامپیوتری، تهران: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
- نجرسلیقه، م. (۱۳۸۵). مکانیزم‌های بارش در جنوب شرق کشور، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۵: ۱-۱۳.
- Ahmadi-Givi, F.; Iran-Nejad, P. and Mohammad-Nejad, A. (2010). Impact of subtropical high pressure and droughts, West Siberia, *Iran, fourteen of the Geophysics Conference of Iran, Tehran*, 21-23: 5-9.
- Bell, G.D. and Bosart, L.F. (1989). A 15-year climatology of northern hemisphere 500 mb closed cyclone and anticyclone centers, *Monthly Weather Review*, 117, 2142-2163.
- Barry, R.G., R.J. Chorley. (1976) *Atmosphere, Weather, and Climate*, Volume 208 of University Paperbacks, 460pp.
- He, C. & Zhou, T. *Clim Dyn* (2014) The two interannual variability modes of the Western North Pacific Subtropical High simulated by 28 CMIP5-AMIP models, *Clim Dyn*, 43: 2455-2469 DOI 10.1007/s00382-014-2068-x.

- Davis, R.E.; Hayden, B.P.; Gay, D.A.; Phillips, W.L. and Jones, G.V. (1997). The North Atlantic Subtropical Anticyclone, *Journal of Climate*, 10: 244-278.
- Farajzadeh Asl, M.; Ghaemi, H.; Zarrin, A. and Azadi, M. (2009). The Analysis of Spatial Pattern of Subtropical Anticyclones over Asia and Africa, *MJSP*, 13(1) :219-245. (In Persian)
- Galarneau, T.J.L.F. Bosart, and A.R. Aiyyer,(2006) Closed Anticyclones of the Subtropics and Midlatitudes: A 54-Yr Climatology (1950–2003) and Three Case Studies. *Meteorological Monographs*, 55, 349–392, <https://doi.org/10.1175/0065-9401-33.55.349>. Gao, Y. (1981). Some aspects of recent research on the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau Meteorology, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 62(1).
- Ghaemi, E.; Zarrin, A.; Azadi, M. and Farajzadeh Asl, M. (2009). Analyzing the patterns of subtropical high pressure over Asia and Africa, *Journal of Humanities*, 1: 219-245.
- Ghavidel Rahimi, Y. (2010). *The synoptic mapping and interpreting the climate using Grads software*, SahaDanesh.
- Hastenrath F. (1990). *Climate dynamic of the tropics*, Climate and circulation of Th Tropics.
- Heim Jr, R. R. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1165. Hejazizadeh, Z. (1996). Evaluation of a subtropical high-pressure synoptic weather in Iran, Ph.D thesis, Tehran: Tarbiat Modares University.
- Karimi, M. and Farajzade, M. (2012). Flow of Moisture and Spatial Patterns - Time of Iran's Rainfall Moisture Supply Resources, *Journal of Applied Geosciences Research*, 11(22): 109-128.
- Krishnamurti, T.N. (1971). Tropical east-west circulations during the northern summer, *Journal of Atmospheric Science*, Vol. 28.
- Krishnamurti, T.N.; Daggupaty, S.M.; Fein, J.; Kanamitsu, M. and Lee, J.D. (1973). Tibetan High and upper tropospheric tropical circulations during northern summer, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 54(12): 234-249.
- Lamb, H.H. (1972). *Climate, Present, Past and Future: Fundamentals and climate now*, Vol. I.
- Lashkari, H.; Matkan, A.A.; Azadi, M. and Mohammadi, Z. (2017). Synoptic analysis of the role of Saudi Arabia subtropical high pressure subtropical and polar jet streams and severe droughts in South and South West of Iran, *Journal of Researches in Earth Sciences*, 8(2): 141-163. (In Persian)
- Lashkari, H. (1996). The synoptic pattern of intense precipitations in the south west of Iran. PhD Thesis, Faculty of Human Sciences, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Persian)
- Lashkari, H. and Mohammadi, Z. (2015). The effect of the location of the Arabian subtropical high pressure on the precipitation systems in the south and southwest of Iran, *Researches of Natural Geography*, 47(1): 73-90.
- Lashkari, H.; Matkan, A.A.; Azadi, M. and Mohammadi, Z. (2017). Synoptic analysis of the role of Saudi Arabia subtropical high pressure subtropical and polar jet streams and severe droughts in South and South West of Iran, *Journal of Researches in Earth Sciences*, 8(2): 141-163.
- MansourFar, K. (2009). *The advanced statistical methods and computer programs*, Tehran University press.
- Martius, O.; Sodemann, H.; Joos, H.; Pfahl, S.; Winschall, A.; Croci-Maspoli, M.; Graf, M.; Madonna, E.; uu rrrrr B.; hhhemm, ;;; dddeedk, J.; pprngr, .. nnd Wrrn,,, .. (2013). The roe of uppr-level dynamics and surface processes for the Pakistan flood of July 2010, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 139: 1797-1780. doi:10.1002/qj.2082.
- Mason R.B. and Anderson, C.E. (1963). The development and decay of the 100 mb summertime anticyclone over southern Asia, *Monthly Weather Review*, 93.

- Mohammadi, Z. (2017). The synoptic analysis of the role of the spatial location of subtropical high pressure and subtropical jet on wet years, drought, start, end and duration of precipitation in the south and southwest of Iran, PhD Thesis, dr Hassan lashkari Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (In Persian)
- Najarsliga, M. (2006). Rainfall Mechanisms in the South East of Iran, *Geographical Research*, 38(55): 1-3.
- Neyama, Y. (1968). The morphology of the subtropical anticyclone, *Journal of Meteorological Society of Japan*, Vol. 46.
- Parker, S.S.; Hawes, J.T.; Colucci, S.J. and Hayden, B.P. (1989). Limatology of 500 mb Cyclones and Anticyclones, 1950-85, *Monthly Weather Review*, 117pp.
- Qian, Y.; Zhang, Q. Yao, Y. and Zhang, X. (2002). Seasonal variation and heat Preference of the south asia high, *Advances in Atmospheric Sciences*, Vol. 19.
- Reed, T.R. (1939). Thermal aspect of the high-level anticyclone, *Monthly Weathe Review*, 67(7).
- Saligheh, M. and Sadeghinia, M. (2008). Spatial variation of summer precipitation in the southern half of the subtropical high pressure Iran, *Journal of Geography and Development*, 17: 83-98.
- Thompson, R.D. (1998). *Atmospheric processes and systems*, Routledge, 194 pp USA, 478 pp.
- Tomozeiu, R.; Stefan, S. and Busuioc, A. (2005). Winter Precipitation Variability and Larg-scale Circulation Patterns in Romania, *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 81: 193-201.
- Zhang, Q. and Wu, G. (2002). The bimodality of 100hPa south asia high and its relationship to the climate anomaly over east asia in summer, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 80(4).