



نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی



فصلنامه علمی دانشگاه گلستان

سال سوم / شماره مسلسل دهم / تابستان ۱۴۰۱ / صفحات: ۳۳-۴۶

DOI: 10.30488/CCR.2022.341170.1079

شناسایی مکانیسم جوی حاکم بر رخداد ناهنجاری‌های شدید بارشی شرق ایران

فاطمه گوهری^۱، حسن حاجی‌محمدی^۲، سمیه حاجی‌وندپایداری^{۳*}

^۱ کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه یزد

^۲ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه مدرس تهران

^۳ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه خوارزمی تهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۴

چکیده

طی سال‌های اخیر تغییرات آب و هوایی بصورت کلان سبب شده تا ناهنجاری‌های شدید در سیستم جوی بوقوع بپیوندند. که حاصل بازخورد این ناهنجاری‌ها در بخش بارش سبب شده تا با تغییر الگوی جریان‌ات جوی با کاهش دوره‌های نسبت به بلندمدت خود همراه گردد. از طرفی درک سازوکار جوی و شناسایی مکانیسم آن سبب شده تا چگونگی و نحوه شکل‌گیری ناهنجاری‌های جوی مشخص گردد. در همین راستا و به منظور بررسی وضعیت سیستم‌های سینوپتیک جو در زمان رخداد ناهنجاری‌های شدید بارشی در شرق ایران، از آمار بارش ۳۱ ایستگاه هواشناسی واقع در منطقه طی بازه آماری (از ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۲۰ میلادی) استفاده شد. در همین راستا از شاخص ناهنجاری بارش (RAI) استفاده گردید تا دوره‌های مذکور شناسایی گردند. در ادامه برای تبیین ساختار جو در زمان رخداد این پدیده با مراجعه به تارنمای متعلق به مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی/علوم جو (NCEP/NCAR) داده‌های شبکه‌بندی شده ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار تراز دریا، مؤلفه سرعت قائم (امگا)، رطوبت نسبی، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد اخذ شد. بر اساس یافته‌های بدست آمده از داده‌ها و تحلیل آنها نشان داد که با تشکیل پشته قوی در تراز میانی جو بر روی شرق خاورمیانه همراه بوده که منطقه یادشده در قسمت همگرایی فوقانی پشته تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قرار گرفته است. این امر سبب شده تا یک جریان واچرخندی، یا استمرار بالا بر روی منطقه حاکم گردد. از طرفی فرارفت هوای سرد و حاکمیت جریان شمالی به منطقه، شرایط صعود و ناپایداری به حداقل ممکن رسیده است. قرارگیری منطقه در زیر پشته همگرایی فوقانی رودباد نیز از دلایل عمده بر وقوع و استمرار ناهنجاری‌های شدید بارشی در منطقه است. به منظور بررسی ارتباط بین عمده مناطق چرخندزا برای بارش دو منطقه دریای سرخ و مدیترانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین شاخص‌های امگا و مؤلفه نصف‌النهاری باد بر روی کریدور دریای سرخ و مدیترانه با فشار سطح دریا بر روی منطقه نیز نشان داد که با کاهش مقادیر صعود در مناطق یادشده و افزایش فشار بر روی شرق ایران یک همبستگی مثبت برقرار است. که مشخص گردید طی دوره یاد شده روند کاهشی در تشکیل سامانه‌های کم‌فشار و باران‌زا در منطقه بوقوع پیوسته است.

واژه‌های کلیدی: ناهنجاری بارش، سیستم‌های سینوپتیک، پشته، شرق ایران

مقدمه

سبب شده است تا در هر منطقه مقدار ریزش‌های جوی و زمان بارش متفاوت باشد. به‌ویژه در سال‌هایی که کشور از بارش کمتری برخوردار است. این تفاوت‌های زمانی و مکانی شدیدتر می‌شود (مسعودیان، ۱۳۹۰). در تحلیل آماره‌ها و بی‌هنجاری‌های بارش ایران در دوره گرم سال، نشان دادند که از شمال و شمال‌غرب به سوی جنوب و جنوب‌شرق از میانگین بارش کاسته و بر مقدار ضریب

تفاوت‌های مکانی و زمانی بارش در ایران بسیار زیاد است. این تفاوت‌ها از یک سو به طبیعت رفتار مکانی بارش بازمی‌گردد که اساساً متغیری سرکش است و تغییرات مکانی شدیدی از خود نشان می‌دهد. از سوی دیگر تنوع منشا بارش در نقاط مختلف ایران

*نویسنده مسئول: sayeh9294@gmail.com

فصل پر بارش یا کم بارش در پیش رو می‌باشد را به کشاورزان این آگاهی را برسانند تا کشاورز بر اساس آن کشت داشته باشد. یا اگر قرار است فصل خشکی در پیش رو باشد برنامه‌ریزان حوزه منابع آب در حیره‌بندی آن اقدامات لازم را داشته باشند.

لطیف و همکاران (۱۹۹۹) نقش نابهنجاری دمای سطح آب اقیانوس هند در ایجاد نابهنجاری بارش شرق آفریقا را در ماه‌های دسامبر و ژانویه توسط مدل‌های گردش عمومی جو ECHAM مورد بررسی کردند. پژوهش‌های آگراوالا و همکاران^۲ (۲۰۰۱) و بارلو و همکاران^۳ (۲۰۰۲) که روی خشک‌سالی مناطق مرکزی و جنوب غرب آسیا انجام شدند، نشان دادند که شروع خشک‌سالی همراه با تغییرات بارش، دما و باد در اقیانوس‌های هند و آرام است. ساجی و یاماگاتا^۴ (۲۰۰۳) نشان داد که نابهنجاری دمای سطح آب اقیانوس هند حاره‌ای دو الگوی نابهنجاری بارش را در مقیاس بین دهه‌ای در کشورهای مجاور اقیانوس هند نشان می‌دهد. روپلکسی و هالپرت^۵ (۱۹۹۶) مطالعات زیادی روی سازگاری ENSO برای ۱۹ دوره از کاربرد یکجای روش تجزیه و تحلیل در صدی انجام داده‌اند. آن‌ها همچنین میزان هماهنگی اصلی روی تغییرات توزیع آماری نابهنجاری‌های بارشی با تأکید روی تغییرات در متوسط ENSO حین دوره‌های گرم و سرد پدیده نوسان جنوبی (SO) را تعیین کرده‌اند. کوتیل و پاز^۶ (۱۹۹۸) دریافتند که توده‌های هوای آمده از دریای عرب نقش عمده‌ای در حالت‌های چرخندی و فرایند جبهه زایی در شرق مدیترانه بازی کرده است. اساس این مطالعه روی کاربرد داده‌های اقلیمی و بارندگی ۱۲ ایستگاه در مدیترانه بوده است که الگوهای فشاری پیوسته با حالت‌های نابهنجاری مثبت و منفی را هر ماه در مدیترانه مشخص کرده است. ناظم السادات و قاسمی (۲۰۰۳) تأثیر پدیده ال‌نینو نوسانات جنوبی را بر شدت و احتمال دوره‌های نابهنجاری بارشی در ایران حین

تغییرات و چولگی افزوده می‌شود و در جنوب و جنوب‌شرق میانگین بارش بهاره بیشتر از میانگین بارش دوره تابستان است (روح‌بخش و همکاران، ۱۳۹۸). روند تغییرات سالانه و فصلی بارش مناطق مختلف ایران را بررسی کردند و با استفاده از روش من‌کنندال و رگرسیون خطی نشان دادند روندهای کاهشی در داده‌های بارش سالانه مناطق شرق و جنوب‌شرق ایران وجود دارد (آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۲). دوره‌های خشک و تر و پدیده‌هایی نظیر خشک‌سالی بر اثر تغییر در فراوانی و تأثیرگذاری، الگوهای گردش جوی در یک منطقه ایجاد می‌کند (رضیی، ۱۳۸۶). بررسی متغیرهای هواشناسی مانند بارش در یک مکان و زمان معین نشان می‌دهد که این متغیرها به شدت تحت تأثیر الگوهای گردش جوی هستند. از این رو با شناسایی الگوهای گردش جوی می‌توان تغییرات، فراوانی، شدت و توزیع مکانی متغیرهای هواشناختی، مانند بارش را بررسی و دلایل فیزیکی آن را بیان نمود (ویسنه‌سرانو، ۲۰۰۴). با توجه به این نکته که استان‌های واقع در شرق ایران، جزء مناطق خشک کشور به حساب می‌آیند (علیچانی، ۱۳۸۹) و از تنوع مکانی و زمانی که رفتار بارز ویژگی‌های بارش ایران است از این قاعده مستثنا نمی‌باشد (مسعودیان، ۱۳۹۰). بروز هر گونه نابهنجاری در وقوع بارش، در منطقه شرق ایران که بخشی از بارش‌های خود را از موسمی و بخش دیگر را نیز در زمستان دریافت می‌کند و محصولات آن بر اساس بارندگی هر فصل منطبق و کاشت می‌شود بسیار در اقتصاد مردم منطقه نقش مهمی دارد. و بروز نابهنجاری‌ها چه در فصل خشک و چه در فصل تر موجب زیان‌های احتمالی بر محصولات منطقه و تغییر در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی شرق ایران می‌شود، لذا درک سازوکار حاکم بر وقوع دوره‌های خشک در منطقه، اهمیت قابل توجهی دارد و شناخت این الگوهای جوی در هر فصل می‌تواند از پیش این درک را به برنامه‌ریزان سطوح مختلف داده و به‌عنوان مثال برای بخش کشاورزی از پیش این مسئله که

2. Agrawala et al
3. Barlow et al
4. Saji and Yamagata
5. Ruple and Halpert
6. Cotel and Paz

1. Vicente Serrano

تحقیقی با عنوان تحلیل هم‌دید الگوهای پرفشار سیبری و کم‌فشار سودانی در زمان وقوع پدیده انسو و ارتباط آن با ناهنجاری بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران به این نتیجه رسیدند که در سال‌های همراه با لائینا، شرایط مناسب‌تری برای ایجاد بارش نسبت به سال ال نینو داشته است. عربی یزدی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی خود تحت عنوان برآورد آنومالی بارش و دمای سالانه در شمال شرق ایران و تأثیر آن بر عملکرد محصول گندم دیم از شاخص درصد آنومالی بارندگی (PAP) استفاده کردند. نتایج نشان داد که در سرخس، قوچان و مشهد آنومالی بارش و عملکرد گندم، دارای ضرایب همبستگی بالایی بوده در بقیه مناطق روابط معنی‌داری دیده نشده است. حیدری و خوش‌اخلاق (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای با عنوان واکاوی و مدل‌سازی ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب ایران در ارتباط با عملکرد مراکز فشار دریای مدیترانه به بررسی، تأثیر و ارتباط تنگاتنگ دریای مدیترانه در بارش‌های منطقه پرداختند. نتایج نشان داد مدل ارائه‌شده جهت برآورد ناهنجاری بارش در سطح ۹۵٪ معنی‌دار است. طولانی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی اثرات نوسان اطلس شمالی بر ناهنجاری تراز میانی جو و بارش ایران نشان دادند که در زمان الگوی نابهنجار منفی نوسان اطلس شمالی رخداد دوره‌های خشک شدید می‌باشد. حلبیان و کیخسروی (۱۳۹۹) با بررسی تغییرات نمایه‌های فرین بارش در ایران به این نتیجه رسیدند که تداوم روزهای بارانی در اغلب مناطق با روندی کاهش همراه شده است. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۹) نیز با بررسی با بررسی تغییرات زمانی-مکانی بارش‌های بحرانی و فرین نشان دادند که این نوع بارش‌ها از روند منفی در مناطق غربی ایران برخوردار هستند.

مواد و روش‌ها

روش کار: به منظور بررسی هم‌دید دوره‌های خشک در شرق ایران داده‌های بارش روزانه تعداد ۳۰ ایستگاه هواشناسی واقع در منطقه برای یک دوره ۳۱ ساله (۲۰۲۰-۱۹۹۰) از سازمان هواشناسی کشور دریافت

زمستان و پاییز نیمکره شمالی تعیین کرده‌اند. تغییرات در مقدار احتمال وقوع این آستانه‌ها پیوسته با فازهای گرم و سرداند که با مقایسه کردن دوره‌های طبیعی مشخص شده‌اند. جیان هواکوان و همکاران^۱ (۲۰۰۶) با استفاده از مدل RegCM3 تغییرپذیری اقلیم جاوای اندونزی را مطالعه کردند. نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که علاوه بر ناهنجاری شناخته‌شده در شرایط خشک که با فصول انتقالی در یک سال ال نینو همراه است، یک ساختار دو قطبی ناهنجاری بارش در جاوا در طول فصل مرطوب که با ال نینو در ارتباط است نیز وجود دارد. کانن و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش نشان دادند مناطقی که در اواخر قرن بیستم همراه با ناهنجاری در شرایط خشک و مرطوب بودند، در طول مه‌دوره‌های ال نینو احتمالاً هر دو شرایط حدی مرطوب و خشک را تجربه کردند، در حالیکه در دوره‌های لائینا احتمالاً فقط شرایط حدی خشک به وقوع پیوسته است. الحروش^۲ (۲۰۰۹) در بررسی ناهنجاری‌های بارشی کشور عمان با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده جهانی تغییرات ناوه مدیترانه را به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه مؤثر بر ناهنجاری‌های بارشی ماهانه این کشور معرفی کردند. در ایران صادقی حسینی و همکاران (۱۳۸۷) نابهنجاری‌های بارشی-دمایی و ارتباط آن با الگوهای هم‌دید در منطقه خراسان جنوبی را مورد قرار دادند. نتایج نشان داد از شرایط حاکم بر نابهنجاری منفی در منطقه می‌توان به تقویت و نفوذ کم‌فشارهای سرد شمالی و مهاجرت پرفشارهای گرم تابستانی به سمت شمال و ساکن شدن در فلات ایران اشاره کرد. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی تأثیر پدیده دو قطبی دمایی اقیانوس هند بر تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان‌های جنوبی کشور نتایج نشان داد بررسی نقش شاخص دو قطبی اقیانوس هند در تغییرات بارش‌های فصل پاییز ایستگاه‌های جنوبی کشور حاکی از وجود رابطه مثبت در نوسان‌های بارش منطقه است. نجف پور و همکاران (۱۳۹۱) در

1. Jian Huaquan et al

2. Al-Hatrush et al

شدند. از آنجایی که قسمت اعظم بارش‌های منطقه در محدوده زمانی اکتبر تا مارس فرومی‌ریزد، به همین جهت در این تحقیق فقط از دوره‌های همراه با بارندگی استفاده شد. در مرحله بعد ویژگی‌های همدیدی و الگوی منطقه‌ای گردش جو برای شناسایی شدیدترین و فراگیرترین ناهنجاری بررسی گردید. برای این منظور با بهره‌گیری از داده‌های تحلیل مجدد مراکز ملی پیش‌بینی محیطی/مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCEP/NCAR) با تفکیک افقی 2.5×2.5 درجه، شرایط جوی حاکم در مقیاس ماهانه تحلیل شد. داده‌ها شامل فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد و سرعت قائم (انگا) می‌باشد. در ادامه یکی از شدیدترین دوره‌های همراه با شدیدترین ناهنجاری بارشی برای شرق کشور شناسایی شد. این دوره مربوط به دسامبر سال ۲۰۱۰ بود که مقادیر شاخص به‌صورت کلی منفی و مقدار بارش در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها نسبت به بلندمدت خود مثبت اعلام نشده بود. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، نحوه پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی و یک تحلیل فضایی از ناهنجاری بارشی از منطقه در ماه دسامبر ۲۰۱۰ به نمایش درآمده‌است. لازم به ذکر است پس از اعمال شاخص ناهنجاری بارشی (RAI) و شناسایی دوره مورد نظر، برای تهیه نقشه میانگین بلندمدت ایستگاه‌ها محاسبه و از بارش آن‌ها در منطقه کسر گردید. در نهایت نقش متغیرهای جوی بر وقوع بارش در شرق ایران در مقیاس منطقه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین‌منظور میزان همبستگی فضایی بین برخی از مهم‌ترین متغیرهای جوی در وقوع دوره مرطوب و بلعکس وقوع دوره‌های خشک محاسبه شد. در واقع هدف اصلی از این بخش، شناسایی مهم‌ترین مؤلفه جوی مؤثر بر وقوع بارش در منطقه است. در همین راستا ارتباط بین متغیرهای جوی با یکدیگر مورد آزمون قرار گرفت تا در نهایت امکان عرضه یک «شاخص منطقه‌ای» برای وضعیت سیستم‌های حاکم در زمان رخداد شدیدترین ناهنجاری بارشی میسر گردد. شکل ۲ محدوده‌های جغرافیایی شاخص را به

شد. در نخستین مرحله از تحقیق برای شناسایی شدیدترین دوره خشک که آن را به‌عنوان ناهنجاری شدید بارشی یاد می‌کنیم، از شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI) استفاده شد. اساس شاخص ناهنجاری بارندگی، محاسبه انحراف مقادیر بارندگی از نرمال می‌باشد. مراحل محاسبه این شاخص به‌صورت زیر است:

۱- محاسبه میانگین درازمدت بارندگی در ایستگاه‌های مورد نظر (\bar{P})

۲- استخراج میانگین ۱۰ مورد از بزرگ‌ترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (\bar{M})

۳- استخراج میانگین ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی (\bar{x})

۴- مقایسه داده‌های بارندگی (P) با میانگین درازمدت بارندگی. چنانچه $P > \bar{P}$ یا ناهنجاری، مثبت باشد شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{رابطه ۱: } RAI = 3[(P - \bar{P}) / (M - \bar{P})]$$

۵- و اگر $P < \bar{P}$ یا ناهنجاری منفی باشد شاخص ناهنجاری بارندگی به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\text{رابطه ۲: } RAI = -3[(P - \bar{P}) / (M - \bar{P})]$$

۶- نسبت دادن آستانه‌های +۳ و -۳ به ترتیب به میانگین ۱۰ مورد از شدیدترین ناهنجاری‌های مثبت و منفی به‌دست‌آمده از شاخص ناهنجاری بارندگی.

۷- در نهایت، با مقیاس‌گذاری روی مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاری بارندگی، نه طبقه ناهنجاری با دامنه‌ای از شرایط تر بسیار شدید تا خشک‌سالی بسیار شدید تعیین می‌شود.

از آنجا که موضوع اصلی تحقیق حاضر بررسی وضعیت سیستم‌های سینوپتیک در زمان رخداد شدیدترین ناهنجاری‌های بارشی در شرق کشور است، به همین جهت با بهره‌گیری از مقادیر شاخص ناهنجاری بارندگی، متوسط منطقه‌ای انحراف‌های بارش ماهانه برای شرق ایران محاسبه شد. بدین‌ترتیب با منظور کردن انحراف‌های منطقه‌ای بارش، همه ماهه‌ایی که نمره استاندارد کوچک‌تر از ۲- را تجربه کرده‌اند به‌منزله ماه‌های خیلی خشک در منطقه تعیین

(b) و سرعت قائم (امگا) در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (محدوده c) نشان می‌دهد.

ترتیب برای فشار در تراز دریا (محدوده a)، مؤلفه نصف‌النهاری باد در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (محدوده

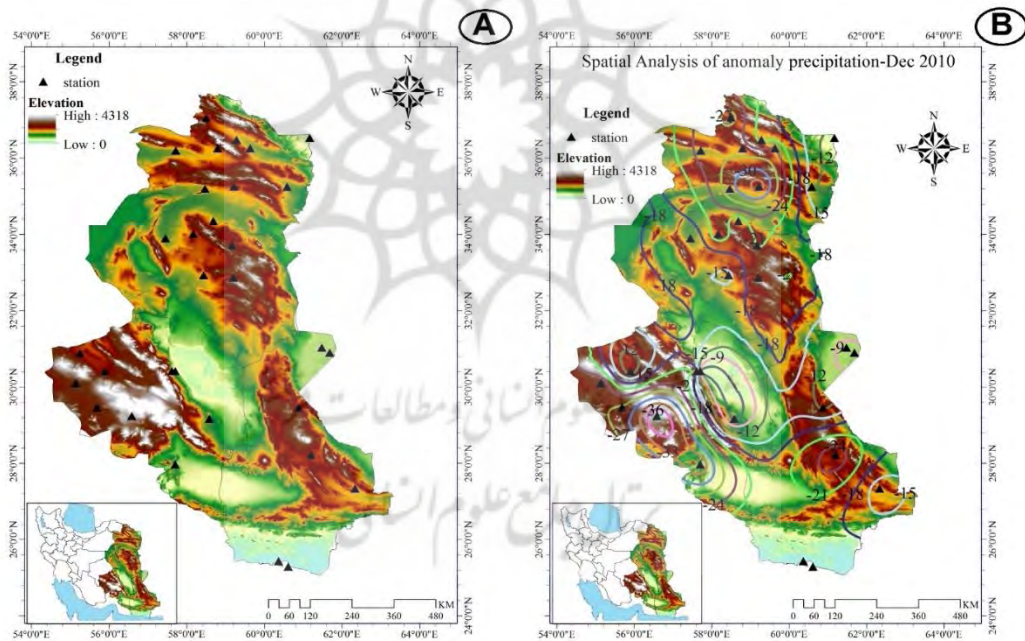
| | | | | | |
|--|-------------------------------|---------------------------|---|---|--|
| دریافت داده های بارش ایستگاه های همدید | دریافت داده های شبکه بندی شده | محاسبه شاخص ناهنجاری بارش | شناسایی دوره های شدید ناهنجاری شدید بارشی | بررسی گردش جو در دوره ناهنجاری بارشی شدید | شناسایی ماهیت ساختاری جو در زمان رخداد ناهنجاری های شدید بارشی |
|--|-------------------------------|---------------------------|---|---|--|

شکل ۱- فلوجارت مراحل تحقیق حاضر

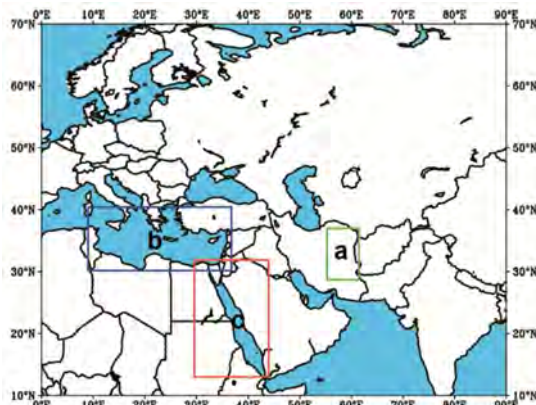
فراگیر ناهنجاری بارشی در این منطقه از الگوهای جوی نسبتا یکسانی تبعیت می‌کند. لذا سعی بر آن شد تا محدوده مورد مطالعه بین عرض‌های ۲۵ تا ۳۸ درجه شمالی و ۵۴ تا ۶۴ درجه شرقی در نظر گرفته شود.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر محدوده شرق ایران از شمال استان خراسان رضوی تا جنوبی‌ترین مناطق استان سیستان و بلوچستان در نظر گرفته شده است. انتخاب این محدوده نشان از آن داشته که طی بررسی‌های موردی اولیه مشاهده شد که وقوع دوره‌های شدید و



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی و نحوه پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه (A)، تحلیل فضایی از شدیدترین ناهنجاری بارشی در منطقه (B).

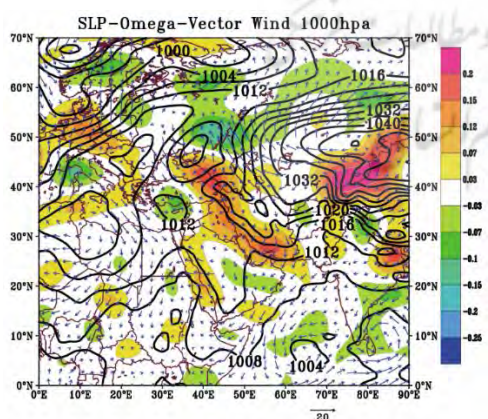


شکل ۳- محدوده‌های جغرافیایی شاخص برای محاسبه همبستگی. (a) منطقه مورد مطالعه. (b) کریدور دریا مدیترانه. (c) کریدور دریای سرخ.

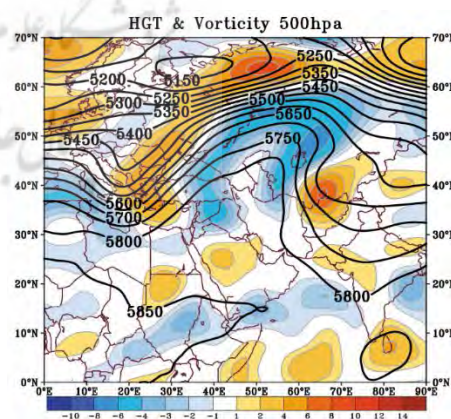
داشته، به‌گونه‌ای که با وارد شدن پربند ۱۰۲۰ هکتوپاسکال به منطقه، هوای سرد و پایدار برای منطقه به وجود آورده است. تشکیل یک سلول فشار بالا با هسته مرکزی ۱۰۲۴ هکتوپاسکال در جنوب البرز که با واگرایی شدید همراه بوده با ورود پربندی از پرفشار سیبری ادغام و شرایط را تشدید نموده‌اند. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد اکثر نواحی ایران به‌خصوص نیمه غربی و جنوب و جنوب شرق کشور با جریانات پایین‌سو همراه بوده‌اند که در مناطق یادشده مقادیر سرعت قائم به بیش از ۰٫۲ پاسکال بر ثانیه رسیده و در قسمت‌های شرق و شمال شرق نیز جوی پایدار حاکم است (شکل ۴).

بحث و نتایج

استقرار یک پشته/ پر ارتفاع قوی در ترازهای میانی جو به همراه شکل‌گیری و تداوم واچرخندی قوی در ترازهای زیرین بر روی کشور و قرارگیری منطقه در شرق محور فراسبب شده تا شرایط دینامیکی برای صعود هوا در منطقه به کمترین مقدار خود برسد. تشکیل و تداوم این سیستم مانع در منطقه باعث شده تا جریانات غربی، جهتی شمال سو به خود گیرند. همگرایی فوقانی با واگرایی سطحی در منطقه همراه شده و فرونشست هوا را در منطقه به همراه داشته است (شکل ۳). در سطح زمین نیز گسترش غرب سوی پرفشار سیبری در تشدید شرایط نقش به‌سزایی



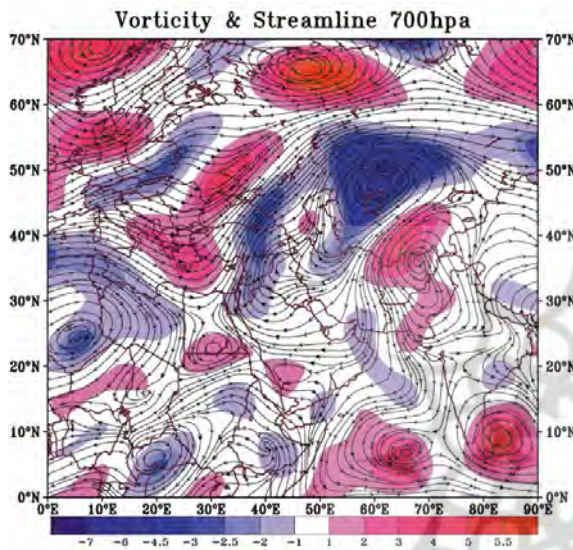
شکل ۳- نقشه وضعیت تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال



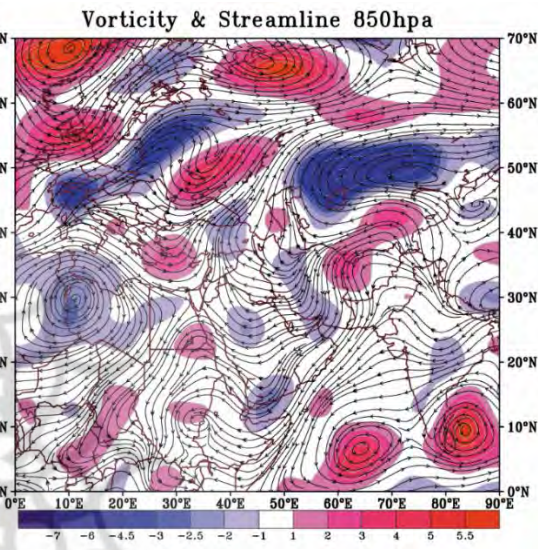
شکل ۴- نقشه وضعیت فشار تراز دریا، سرعت قائم (امگا) و بردار باد در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

جنوب ایران به سمت عرض‌های بالاتر بازگشته و در شمال شرق خزر یک واچرخند بسیار قوی را تشکیل داده است. با توجه به شکل ۶، یک الگوی زوجی چرخندی-واچرخندی در شرق فلات ایران تشکیل شده که منطقه مورد مطالعه در زیر محور غربی سامانه چرخندی و شرق واچرخند قرار گرفته که یک نزول شدید هوا را سبب شده‌اند.

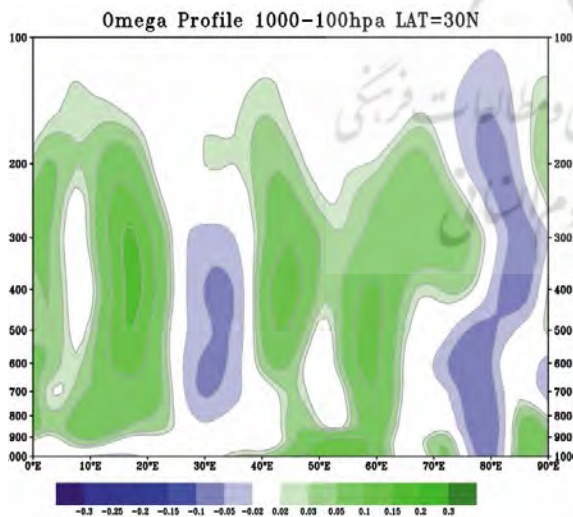
در تراز ۸۵۰ یک الگوی با جهتی شرقی بر روی منطقه حاکم است. به صورتی که یک جریان از شمال هند به سمت شرق ایران حرکت کرده که پس از رسیدن به افغانستان با یک خیزش به سمت شمال، به سمت عرض‌های پایین‌تر حرکت کرده است. این جریانات در جنوب شرق ایران دو دسته شده، اولی مستقیماً با عبور از روی دریا عمان و شرق عربستان به شرق آفریقا رسیده و در آنجا همگرا شده و دیگری در



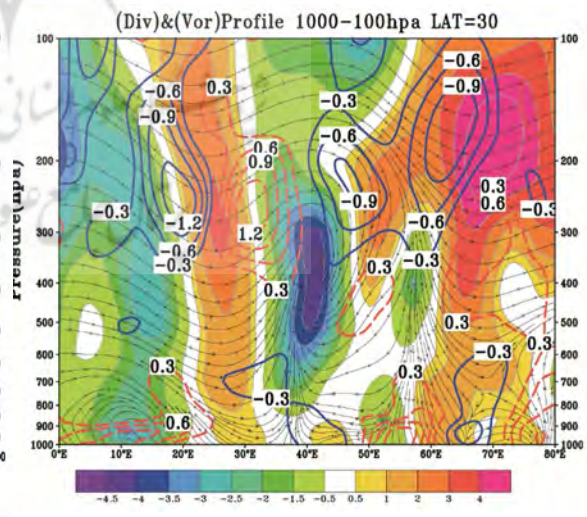
شکل ۵- نقشه وضعیت تاوایی و جریان هوا در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال



شکل ۶- نقشه وضعیت تاوایی و جریان هوا در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

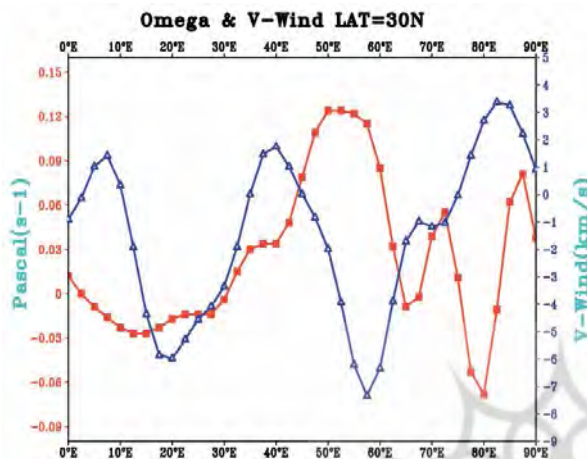


شکل ۷- نقشه هافمولر تاوایی و واگرایی جو برای عرض ۳۰ درجه شمال و ۰ تا ۹۰ درجه شرقی



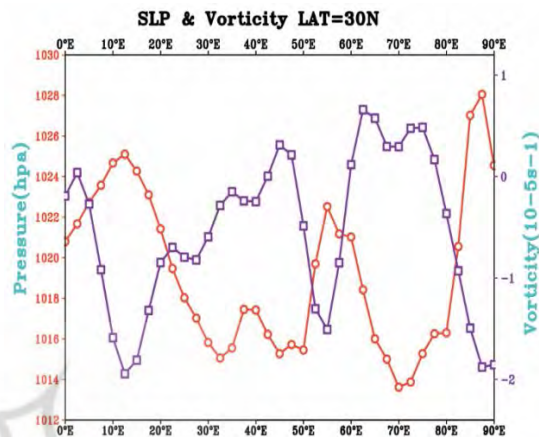
شکل ۸- نقشه هافمولر سرعت قائم برای عرض ۳۰ درجه شمال و ۰ تا ۹۰ درجه شرقی

به همراه داشته است. از طرفی با توجه به شکل ۸ مقادیر سرعت قائم مابین طول‌های ۴۰ تا ۶۲ درجه شرقی و از سطح ۱۰۰۰ تا ۱۵۰ هکتوپاسکال مثبت بوده که نشان از پایین‌سو بودن جریان هوا را نمایش می‌دهد. این شرایط دست ب دست هم داده و مانع از ریزش‌های جوی در منطقه شده‌اند.



شکل ۹- مقادیر متوسط فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای عرض ۳۰ درجه شمال و ۰ تا ۹۰ درجه شرقی

با توجه به نمودارهای هافمولر تهیه شده برای زمان موردنظر مشخص شد که یک جریان قوی همگرایی فوقانی مابین ترازهای ۴۰۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال بین طول‌های ۴۰ تا ۶۵ درجه شرقی به وجود آمده که این فرآیند با واگرایی قوی سطحی بین طول‌های ۵۰ تا ۶۰ درجه شرقی همراه بوده و نزول دینامیکی هوا را



شکل ۱۰- مقادیر متوسط سرعت قائم و مؤلفه نصف‌النهاری باد سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای عرض ۳۰ درجه شمال و ۰ تا ۹۰ درجه شرقی

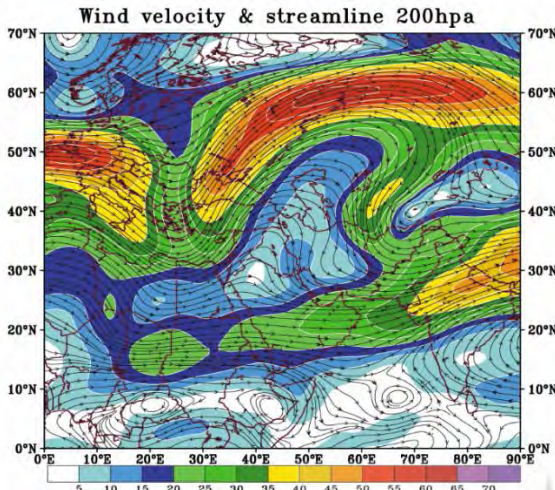
۱۱ برای محدوده ۵۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی، ۵ عرض نماینده به ترتیب ۲۸، ۳۰، ۳۲، ۳۴ و ۳۸ درجه شمالی انتخاب شد تا تغییرات و نوسانات دمای نقطه شبنم مورد به صورت متوسط گیری شده برای دوره ۳۰ روزه مورد رصد قرار گیرد. نتایج نشان داد بیشترین تغییرات مربوط به عرض‌های ۲۸ و ۳۰ درجه بوده، از طرفی در سایر عرض‌های نماینده یک روند کاهشی از غرب به شرق مشاهده می‌گردد. محدوده تغییرات دمای نقطه شبنم در این ۳۰ روز بین ۱۳،۷ تا ۱۴،۸ درجه سانتی گراد بود که این شرایط برای رخداد بارندگی مناسب نیست. در شکل ۱۲ وضعیت جریان و سرعت باد در سطوح فوقانی جو بررسی گردید. نتایج نشان داد به دلیل سیستم مانع تشکیل شده بر روی کشور رود باد دوشاخه شده به عرض‌های بالاتر مهاجرت کرده و منطقه در زیر واگرایی هسته رود باد قرار گرفته است. این شرایط باعث شده تا در شرق بلاک تشکیل شده جریانات

با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌گردد که یک الگوی سینوسی در عرض ۳۰ درجه شمالی برقرار است. به صورتی که در برخی مناطق کاهش و در مناطق دیگر افزایش فشار و تاوایی را ملاحظه می‌کنیم. این شرایط مابین طول‌های ۵۰ تا ۶۰ درجه طول شرقی به گونه‌ای است که فشار و تاوایی به ترتیب با نرخی افزایشی و کاهشی روبرو هستند. در شکل ۱۰ نیز حاکمیت جریانات شمالی و نزول شدید هوا مشاهده می‌گردد. در این شکل مقادیر باد نصف‌النهاری مابین طول‌های ۵۰ تا ۶۰ درجه شرقی به شدت کاهش یافته و یورش هوای سرد عرض‌های بالاتر را نشان می‌دهد. از طرفی مقادیر سرعت قائم نشان از فرونشست هوا در منطقه بوده که مقدار متوسط آن در دوره یادشده نزدیک به ۰،۱۲ پاسکال بر ثانیه رسیده است.

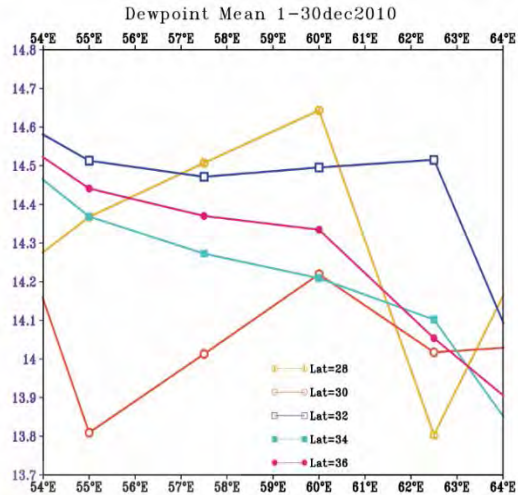
یکی دیگر از شرایط نامساعد جهت نزولات جوی پایین بودن نوسان دمای نقطه شبنم است. در شکل

حاکم در سطح زمین، تراز میانی جو و سطوح فوقانی اتمسفر به گونه‌ای استقرار یافته‌اند که موجبات دوره‌ای خشک را برای منطقه بود جود آورند.

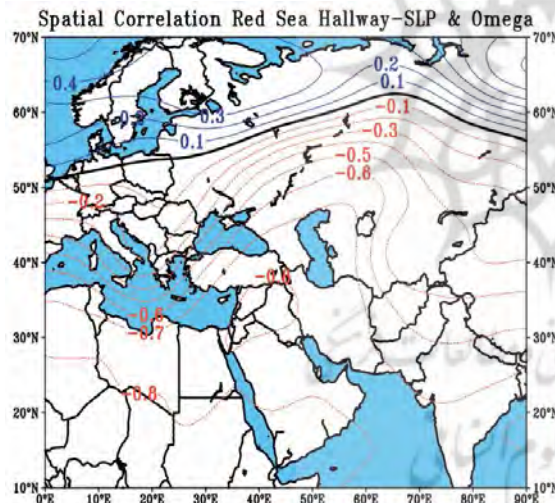
پایین سو و به سرعت آن نیز افزوده شده است. پس ملاحظه می‌گردد که در زمان رخداد ناهنجاری‌های شده بارشی در شرق ایران سیستم‌های سینوپتیک



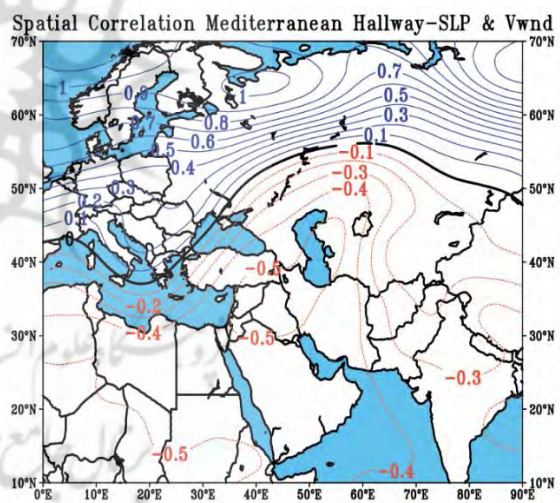
شکل ۱۱- نقشه میانگین دمای نقطه شبنم برای عرض‌های منتخب جغرافیایی و مابین طول‌های ۵۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی



شکل ۱۲- نقشه سرعت باد و خطوط جریان در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال



شکل ۱۳- میزان همبستگی بین مقادیر متوسط روزانه مؤلفه نصف‌النهاری باد در منطقه دریای مدیترانه با فشار تراز دریا در شرق کشور



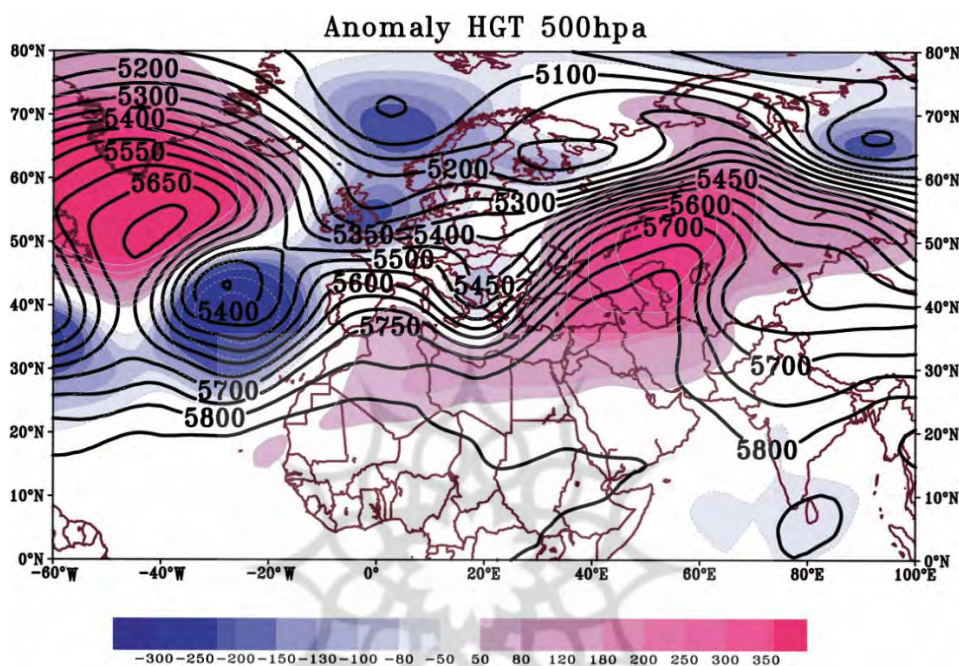
شکل ۱۴- میزان همبستگی بین مقادیر متوسط روزانه مؤلفه سرعت قائم (امگا) در منطقه دریای سرخ با فشار تراز دریا در شرق کشور

قائم در محدوده دریای سرخ محاسبه شد. در ادامه میزان همبستگی دو پارامتر با فشار تراز دریا در محدوده مورد مطالعه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که تغییرات فشار در منطقه ارتباط بالایی با جریانات صعودی بر روی دو منبع رطوبتی در منطقه دارد. بنابراین همبستگی منفی بین مؤلفه نصف‌النهاری باد،

بررسی شرایط همدیدی در مقیاس ماهانه، بیانگر نقش کلیدی مؤلفه‌های مقیاس منطقه‌ای گردش جو در ترازهای زیرین بر وقوع ناهنجاری‌های شدید بارشی در شرق ایران است. در همین راستا متوسط منطقه‌ای فشار تراز دریا در منطقه مورد مطالعه و مؤلفه نصف‌النهاری باد در محدوده دریای مدیترانه و سرعت

هم‌زمان افزایش شدت باد شمالی در این منطقه را نیز به همراه خواهد داشت. به عبارتی، استقرار یک واچرخند تراز فوقانی در منطقه دریای مدیترانه و سرخ سبب نزول هوا و از طرفی افزایش فشار در شرق کشور می‌شود (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

سرعت قائم و فشار تراز دریا بدین معنی است که تداوم باد شمالی (مقادیر منفی)، نزول هوا و تغییرات شدت آن روی دریای مدیترانه و سرخ با افزایش فشار در منطقه در ارتباط است. به علت برداری بودن میدان باد، افزایش میزان فشار هوا روی منطقه دریای مدیترانه و سرخ، علاوه بر ایجاد بادهای شمالی، به‌طور

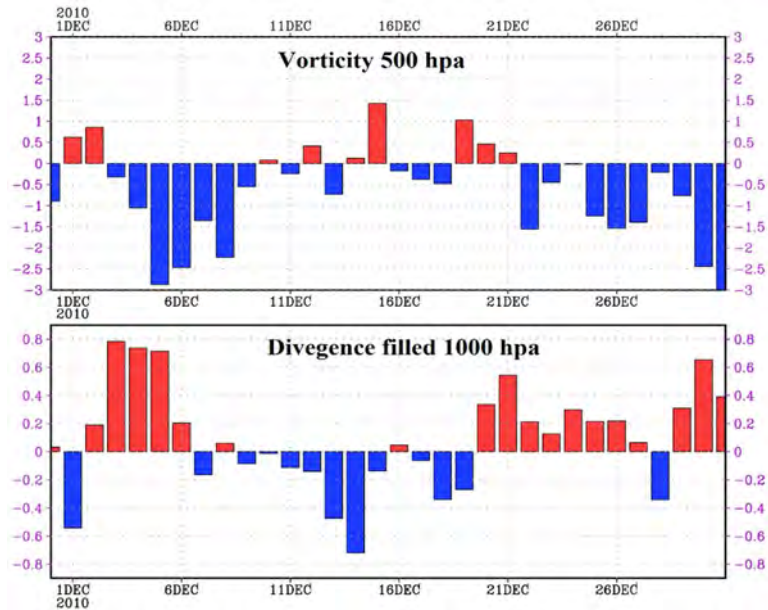


شکل ۱۵- نقشه وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و ناهنجاری آن در مقیاس کلان.

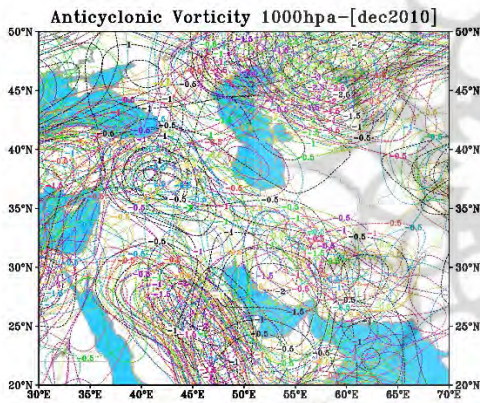
آن به بیش از ۳۵۰ ژئوپتانسیل متر بر روی کشور رسیده است.

با بررسی سری زمانی تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای دسامبر ۲۰۱۰ مشاهده شد که بیش از ۸۰ درصد روزها مقادیر تاوایی بر روی منطقه منفی بوده و همین امر سبب شده تا جریان نزولی و همگرایی فوقانی برای منطقه به وجود آید. از طرفی با بررسی سری زمانی واگرایی سطحی نیز مشاهده شد که واگرایی‌های شدیدی در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مخصوصاً در ۱۰ روز نخست این ماه و ۱۰ روز سوم اتفاق افتاده که نشان از دینامیکی بودن این دوره خشک‌سالی می‌باشد (شکل ۱۷).

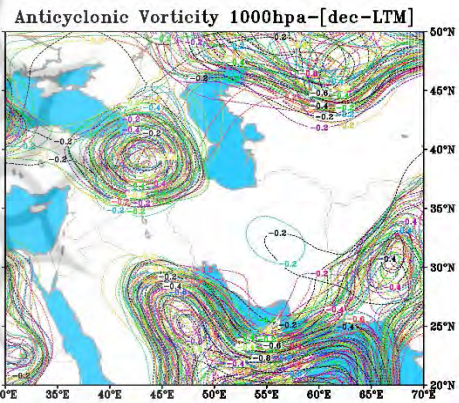
در شکل ۱۵ نقشه وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل و ناهنجاری آن در مقیاس کلان به نمایش درآمده است. نحوه محاسبه ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل بدین صورت بود که مقادیر بلندمدت دوره موردنظر محاسبه شد و در ادامه مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل دوره موردنظر میانگین بلندمدت آن کسر گردید. نتایج نشان داد که به دلیل پیشروی شمال سوی پر ارتفاع جنب‌حاره‌ای بر روی ایران و جنوب غرب آسیا یک الگوی نابهنجار بر روی منطقه به وجود آمده که نتایج آن به حداقل رسیدن شرایط صعود و ریزش‌های جوی در منطقه شده است. این الگو به‌قدری قوی بوده که ناهنجاری



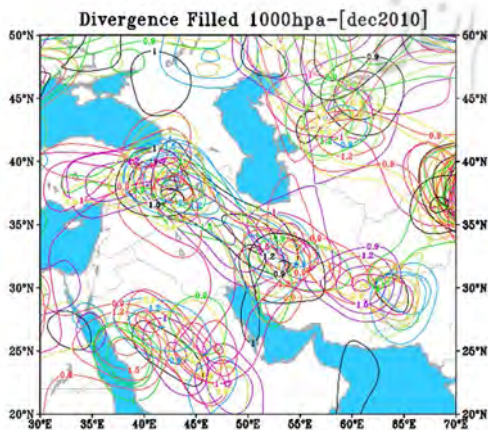
شکل ۱۶- فراوانی رخداد مقادیر تاوایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل بالا) و مقادیر واگرایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل پایین)



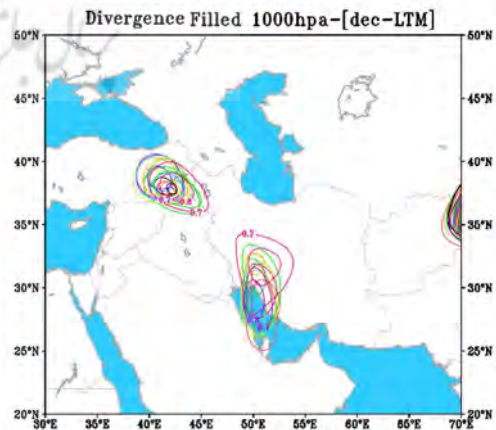
شکل ۱۷- مقادیر بلندمدت تاوایی منفی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای ماه دسامبر



شکل ۱۸- مقادیر منفی تاوایی نسبی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای دسامبر ۲۰۱۰



شکل ۱۹- مقادیر بلندمدت واگرایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای ماه دسامبر



شکل ۲۰- مقادیر واگرایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای دسامبر

برای درک بهتر سازوکار دینامیکی جریان نزولی بر روی منطقه سعی شد تا مقادیر بلندمدت تاوایی منفی و مقادیر آن برای دسامبر ۲۰۱۰ و به همین شکل برای واگرایی سطحی برای بلندمدت و دوره مورد مطالعه تهیه گردد. نتایج حاکی از آن بود که جریان واچرخندی در دوره بلندمدت در قسمت‌های شمال غرب ایران و جنوب ایران به خصوص بر روی دریای عمان و خلیج فارس مشاهده می‌شود. اما در دسامبر ۲۰۱۰ هسته‌های مختلفی بر روی ایران مرکزی و شرق ایران شکل گرفته که از شدت جریان منفی بالایی برخوردار هستند (شکل‌های ۱۷ و ۱۸). از طرفی با بررسی مقادیر واگرایی سطحی در بازه بلندمدت مشاهده شد که دو هسته واگرایی با کمترین جابجایی مکانی یکی بر روی شرق ترکیه و دیگری بر روی جنوب غرب ایران بوده است. اما در دوره مورد بررسی مشاهده می‌شود که الگوی نابهنجار جوی سبب شده تا فراوانی رخداد هسته‌های واگرایی سطحی بر روی ایران بیش از پیش افزایش یافته و تمرکز اصلی آن در سه بخش به ترتیب شمال غرب، ایران مرکزی و شرق و جنوب شرق ایران می‌باشد. لازم به توضیح است که حاکمیت این سیستم بزرگ مقیاس سبب شده تا مناطق دیگر خاورمیانه نیز از نابهنجاری منفی برخوردار گردند. از جمله می‌توان به شبه جزیره عربستان و ترکمنستان اشاره نمود (شکل ۱۹ و ۲۰).

نتیجه‌گیری

طی سال‌های اخیر تغییرات آب و هوایی بصورت کلان سبب شده تا نابهنجاری‌های شدید در سیستم جوی بوقوع بپیوندد که حاصل بازخورد این نابهنجاری‌ها در بخش بارش سبب شده تا با تغییر الگوی جریان‌ات جوی با کاهش دوره‌ای نسبت به بلندمدت خود همراه گردد. از طرفی درک سازوکار جوی و شناسایی مکانیسم آن سبب شده تا چگونگی و نحوه شکل‌گیری نابهنجاری‌های جوی مشخص گردد. نابهنجاری‌های شدید بارش در مناطق مختلف جغرافیایی با تغییرات الگوها و مؤلفه‌های جوی مرتبط بوده و در این راستا پیچیدگی‌های زیادی وجود دارد

که کشف و شناسایی ماهیت عملکرد الگوها و مؤلفه‌های جو، کمک شایانی به فهم چگونگی تغییرات و پیش‌بینی آن می‌نماید (حیدری و همکاران، ۱۳۹۴). در همین راستا سعی شد تا به شناسایی مکانیسم جوی حاکم بر رخداد نابهنجاری‌های شدید بارشی شرق ایران پرداخته شود. الگوهای فشار و نحوه آرایش خطوط جریان نقشه‌های سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال معرف انتقال توده‌های ویژه‌ای به سوی منطقه مورد مطالعه است. برای مثال، بارش زمانی به وقوع می‌پیوندد که هوای مرطوب و عامل صعود فراهم باشد و این شرایط به وسیله الگوهای گردشی جوی فراهم می‌شود. اما گاهی با نابهنجاری‌های رخ داده در سامانه‌های هواشناختی شرایط عکس رخ داده و کاهش چشمگیری در بارش مناطق تحت تأثیر ایجاد می‌گردد. در این راستا و برای بررسی رخداد نابهنجاری‌های شدید بارشی در شرق ایران، از آمار ۳۰ ایستگاه هواشناسی واقع در منطقه استفاده شد. برای محاسبه دوره‌های خشک از شاخص نابهنجاری بارش (RAI) استفاده گردید. نتایج نشان داد که تشکیل پشته‌ای قوی بر روی غرب خاورمیانه و قرارگیری منطقه در زیر محور شرق فراز، سبب شده تا با استمرار این وضعیت شرایط صعود به حداقل خود در شرق ایران برسد. از طرفی فرونشست هوا در داخل این سامانه سبب شده تا یک‌لایه وارونگی از نوع دینامیکی بر روی منطقه به وجود آید که این امر مانع از خروج هوا و رخداد بارش شده است. در سطح زمین با یورش پرفشار سیبری به منطقه و حاکمیت وضعیت واچرخندی بر منطقه شرایط در سطح زمین نیز برای صعود به حداقل ممکن رسیده است. بررسی وضعیت رود باد در دوره مورد نظر نشان داد که به دلیل قرارگیری منطقه در زیر هسته همگرایی فوقانی جریان جت، هرگونه اغتشاش جوی به حداقل خود رسیده و مانع از صعود بسته‌ها در منطقه شده است. در این دوره نابهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل بر روی خاورمیانه و جنوب روسیه به بیش از ۳۵۰ ژئوپتانسیل متر رسیده که نشان از استقرار یک نابهنجاری مثبت قوی در مناطق یادشده است. همگرایی باد مابین لایه‌های

اشاره کرد. در تحقیق دیگری کیانیان و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که چرخندگی منفی و نزول هوا و از طرفی حاکمیت جریان شمالی و کاهش یافتن جریان صعودی از عوامل اصلی رخداد دوره‌های خشک می‌باشد.

پیشنهاد می‌گردد که بر اساس نتایج بدست آمده سازمان‌ها و هواشناسی وزارتخانه‌هایی چون وزرات نیرو برای مدیریت بهتر در دوره‌های کم‌بارش به کمک شناسایی الگوهای گردشی و درک عمیق از سازوکار لازم جو بپردازند و به یک نوع مدیریت پیش از وقوع بحران بپردازند. چرا که بر این اساس می‌توان برنامه‌ریزی لازم برای مقدار آب دریافتی از جو مشخص گردد. شناخت این الگوهای جوی در هر فصل می‌تواند از پیش این درک را به برنامه‌ریزان سطوح مختلف داده و به‌عنوان مثال برای بخش کشاورزی از پیش این مسئله که فصل پربارش یا کم بارش در پیش رو می‌باشد را به کشاورزان این آگاهی را برساند تا کشاورز بر اساس آن کشت داشته باشد. یا اگر قرار است فصل خشکی در پیش‌رو باشد برنامه‌ریزان حوزه‌ی منابع آب در جیره‌بندی آن اقدامات لازم را داشته باشند.

۴۵۰ تا ۱۰۰ هکتوپاسکال و واگرایی آن مابین طول‌های ۴۹ تا ۶۱ درجه طول شرقی نشان می‌دهد که استقرار این پرفشار دینامیکی عامل اصلی رخداد دوره خشک بر منطقه است. نتایج حاصل از همبستگی بین فشار تراز دریا در شرق کشور و مؤلفه‌های نصف‌النهاری باد و شاخص جریان لاسو (امگا) نشان داد که در دوره یادشده همبستگی بین پارامترهای مذکور منفی بوده، بدین‌صورت که با به حداقل رسیدن جریانات صعودی در مناطق رطوبتی (دریای سرخ و مدیترانه) یک وضعیت واچرخندی شدید بر روی منطقه ایجاد می‌گردد که نتیجه آن وقوع دوره‌های خشک شدید است. فراوانی‌های ناهنجار منفی نسبت به دوره بلندمدت تاوایی منفی در تراز میانی تروپوسفر و سطح زمین و واگرایی سطحی سبب شده تا ستون قائم جو به شدت متأثر شود. فرارفت قائم منفی سبب شده تا انتقال جرم پایین‌سو در ستون جو به وقوع بپیوندد و همین امر با تکرار و استمرار در منطقه سبب شده تا دوره ناهنجاری بر منطقه حاکم گردد.

از جمله تحقیقاتی که نشان داد شرایط دینامیکی در رخداد دوره‌های خشک و ناهنجار منفی در ایران تأثیرگذار است می‌توان به کیانیان و همکاران (۱۳۹۷)

منابع

۱. آذرخشی مریم، فرزاد مهر جلیل، اصلاح مهدی. (۱۳۹۲). صحابی حسین. بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران. مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران). [cited 2022July24];66(1):1-16. Available from: <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=258899>
۲. روح بخش سیگارودی، کرمپور، قائمی، هوشنگ؛ مرادی، محمد. آزادی، مجید. (۱۳۹۸). تحلیل آماره‌ها و بی‌هنجاری‌های بارش‌های ایران در دوره گرم سال (۱۹۵۱-۲۰۱۰). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی.
۳. جهانیش، سعید؛ ساری صراف، بهروز؛ قائمی، هوشنگ؛ پوراصغر، فرناز. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر پدیده دو قطبی دمایی اقیانوس هند بر تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان‌های جنوبی کشور، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره چهارم، سال ۲۶.
۴. حیدری، محمدامین؛ خوش اخلاق، فرامرز. (۱۳۹۴). واكوی و مدل سازی ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب ایران در ارتباط با عملکرد مراکز فشار دریای مدیترانه، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۳۷، سال پانزدهم.
۵. رضیعی، طیب. (۱۳۸۶). بررسی ارتباط الگوهای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و دوره‌های خشک و تر در غرب ایران، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران.
۶. صادقی حسینی، علیرضا؛ اسماعیل‌زاده، امیر. (۱۳۸۷). بررسی ناهنجاری‌های بارشی- دمایی و ارتباط آن با الگوهای همدیدی در منطقه خراسان جنوبی (بیرجند)، سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.
۷. عربی یزدی، اعظم؛ نثایی نژاد، حسین؛ بنایان، محمد. (۱۳۹۲). برآورد آنومالی بارش و دمای سالانه در شمال

- and Indian Ocean precipitation. *J. Climate*, 15, 697-700.
16. Kutiel, H., and Paz, S. 1998. Sea level pressure departure in the Mediterranean and their relation ship with monthly rainfall coditions in Israil . *Theor. Alpert. Appl. Climatol.*, 90, 93-109.
 17. Nazemosadat, M.J. and Ghasemi, A.R. (2003). Quantify the ENSO – Related shifts in the Intensity and Probability of Drought And Wet periods in Iran .
 18. Ropelewski, C.F. and Halpert, M.S. (1996). Quantifying Southern Osillation-Precipitation relationship. *J. Climate*, 9, 1043-1059.
 19. Saji N.H., and Yamagata T. (2003). Possible impact of Indian Ocean dipole mode events on global Climate, 15:151-169.
 20. Vicente- Serrano S.M. 2004. "Drought patterns in the Mediterranean area the Valencia region (eastern Spain), climate research, 26, 5-15.
 21. Al-Hatrushi, S., and Yassine, C. (2009). Synoptic aspects of winter rainfall variability in Oman, *Atmospheric Research* 95, 470–486.
 22. Canon, J. and et al. (2007). Precipitation in the Colorado River Basin and its low frequency associations with PDO and ENSO signals, *Journal of Hydrology*, 333, 252– 264.
 23. Latif, M., Dommengot, D., Dima, M. and Grotzner, A. (1999). The Role of Indian Ocean Sea Surface Temperature in Forcing East African Rainfall Anomalies During December-January 1997/98, *Journal of Climate*, 12: 3497-3509.
 24. Qian, J., and et al. (2006). A Dipolar Pattern of Precipitation Anomaly in the Wet Season over Java Indonesia Associated with El Nino, *Geophysical Research Letters*, pp 1-16.
 - شرق ایران و تأثیر آن بر عملکرد محصول گندم دیم، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴، جلد ۷.
 ۸. علیجانی، بهلول. (۱۳۹۸). کتاب آب و هوای ایران. دانشگاه پیام نور، چاپ پنجم. تهران
 ۹. کیانیان، محمدکیا؛ حاجی محمدی، حسن؛ کابلی، سیدحسن؛ مشکی، علیرضا؛ عسگری، حمیدرضا. (۱۳۹۷). مطالعه و شناسایی الگوهای دینامیکی همدیدی مؤثر بر رخداد خشک‌سالی‌های استان سمنان. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، شماره مسلسل بیست و هشتم/ سال هشتم.
 ۱۰. کیانیان، محمدکیا؛ صالح پور جم، امین؛ حاجی محمدی، حسن؛ رسولی، فهیمه. (۱۳۹۵). بررسی و ارتباط خشک‌سالی و ترسالی‌های غرب ایران با الگوهای سینوپتیکی جو. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، شماره مسلسل بیست و دوم/ سال ششم.
 ۱۱. مدرس‌پور، آزاده. (۱۳۷۳). ناهنجاری اقلیمی ایران و انسو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال تهران.
 ۱۲. مسعودیان، ابوالفضل. (۱۳۹۰). کتاب آب و هوای ایران. دانشگاه اصفهان. چاپ پنجم. اصفهان
 ۱۳. نجف پور، بهرام؛ کیانی پور، منیژه. (۱۳۹۱). تحلیل همدید الگوهای پرفشار سیبری و کم‌فشار سودانی در زمان وقوع پدیده انسو و ارتباط آن با ناهنجاری بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران، نشریه اندیشه جغرافیایی، شماره دوازدهم، سال ششم.
 14. Agrawala S., Barlow, M., Cullen, H. and Lyon, B. (2001). The drought and humanitarian crisis in central and southwest Asia: A climate perspective, *International Research Institute for climate change and society (IRI)*:20 pages.
 15. Barlow, M., Cullen, H., and Lyon, B. (2002). Drought in central and southwest Asia: La Nino, warm pool,