

بررسی طغیان‌های زمستانه پیش از چهار روز (اکتبر-مارس) طی سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۲۱ در ایران

مژگان شهریاری^۱، مصطفی کریمپور^{۲*}، هوشنگ قائمی^۳، داریوش یاراحمدی^۴، محمد مرادی^۵

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم آباد

۲- دانشیار و عضو هیات علمی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم آباد

۳- استاد پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران

۴- دانشیار و عضو هیات علمی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم آباد

۵- دانشیار و عضو هیات علمی، پژوهشگاه هواشناسی، تهران

چکیده

در این پژوهش به منظور تحلیل سامانه‌های همدیدی موثر بر طغیان‌های زمستانه در بارش‌های بیش از چهار روز ایران، ابتدا مجموع بارش‌های چهار روزه ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مطالعاتی در ماه‌های اکتبر تا مارس، محاسبه شد. سپس بر اساس شاخص آندرسن-دارلینگ، بهترین تابع توزیع احتمال بر داده‌های بدست آمده، برازش شد و در ادامه بارش‌های حدی ایستگاه‌های تحت بررسی برآورد شد و تعدادی تاریخ توفان چهار روزه در دوره آماری سی ساله بدست آمد. با استفاده از روش خوشه بندی سلسله مراتبی ارتفاع تراز میانی جو، پنج خوشه مختلف آشکار شد که از هر خوشه یک سامانه بارشی برای تحلیل همدیدی انتخاب گردید. از بررسی ناوه‌های آشکار شده، دیده شد که در دو مورد، در بخش شرقی ناوه، پشته قوی ارتفاع قرار گرفته است که مانع حرکت شرق سوی ناوه ارتفاع و سبب ماندگاری آن شده است. در این موردها هر چه عمق ناوه بیشتر شده است، پشته نیز عمیق‌تر شده و حرکت ناوه کندتر شده است. سامانه‌های همدیدی عرض‌های میانی هنگام عبور از روی آب‌های گرم دریای مدیترانه به سبب گردش چرخندی، حرکت صعودی ایجاد کرده و مقدار زیادی از رطوبت روی دریا را به ارتفاعات بالاتر منتقل کرده‌اند. بعلاوه بادهای شرقی بخش جنوبی پرفشار روی دریای عمان، مقدار زیادی نم ویژه به جنوب دریای سرخ انتقال داده است که با بادهای جنوبی بخش شرقی ناوه فشاری دریای سرخ به مناطق جنوب، جنوب‌غرب و غرب ایران منتقل شده است. این مقادیر نیز در اثر حرکت صعودی توانسته‌اند در فرایند بارش شرکت کرده و مقدار بارش و تداوم آنرا در نیمه غربی ایران افزایش دهند.

کلید واژه‌ها: خوشه‌بندی، سامانه‌های همدیدی، شاخص آندرسن-دارلینگ، شار افقی نم ویژه.

مقدمه

پدیده بارش محصول نهایی تعدادی از فرآیندهای پیچیده جوی است که از نظر زمان و مکان متفاوت هستند و می‌توان آنرا یکی از ویژگی‌های اقلیمی هر منطقه برشمرد (Telesca, 2007). تنوع منشاء در بارش‌های نقاط مختلف و تغییرات زمانی- مکانی سیستم‌های باران‌زا در ارتباط با گردش کلی جو (Frei, 1998) و شرایط زمینی مانند ارتفاع و توپوگرافی (Sevruk, 1997)، دوری و نزدیکی به منابع رطوبت (Prudhomme & Reed, 1998)، سبب می‌گردد تا رفتارهای بارش از جمله، تداوم نیز دارای تغییرات زمانی- مکانی باشند. از دیدگاه اقلیم شناسی شدت، مدت و فراوانی بارش به اندازه مجموع میزان بارش مورد توجه است زیرا این عوامل تعیین کننده وضعیت بارش پس از خروج از زمین و میزان رواناب هستند (Trenberth, 2003). بارش‌های شدید و مداوم همچون شمشیری دو لبه عمل می‌کنند. چنانچه شرایط آبخیزداری در حوضه آبخیز مدیریت گردد، پوشش گیاهی مناسب و دیگر عوامل و شرایط می‌تواند منجر به تأمین آب، تغذیه سفره آب‌های زیر زمینی و ذخیره در خاک گردد و در غیر اینصورت سبب بحران‌های آب و هوایی، زمین لغزش‌ها (Komolvilas, 2021)، تخریب پوشش گیاهی، جنگل‌ها و مراتع (برنا، ۱۳۹۲) فرسایش شدید خاک (Han, 2020)، سیل (Changnon, 2001) تخریب سازه‌های آبی، کاهش عمر مفید آنها و همچنین هدر رفتن حجم بالای منابع آب سطحی در کوتاه مدت، بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، از جمله ایران است (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج مطالعات نشانگر این واقعیت هستند که چگونه وقوع یک رویداد بارش سنگین با تداوم کوتاه می‌تواند دستاوردهای بلند مدت جامعه بشری را تنها در اندک زمانی ویران کند و تأثیرات منفی به مراتب بیشتری را نسبت به تغییرات بلند مدت اقلیمی بر سیستم‌های طبیعی و انسانی بگذارند. پژوهش‌های گوناگونی در ایران و جهان بر روی تداوم بارش انجام شده است. (کریمپ و ماهسون، ۱۹۹۱) با بررسی بارش شدید ۱۱ فوریه ۱۹۹۶ در آفریقای جنوبی با مجموع بارش ۱۵۰ تا ۲۰۰ درصد بالاتر از میانگین بلندمدت (یانگ و همکاران، ۲۰۰۹) با شناسایی بارش‌های با تداوم ۱۰ روز و مجموع بارش بیش از ۱۰۰ میلی‌متر بعنوان بارش متداوم و سنگین در جنوب غرب چین، (هوسون و همکاران، ۲۰۰۸) با تحلیل شرایط سینوپتیک ۳۶۹ مورد از مقادیر بارش سنگین یونان در ۹ خوشه همگن

و مجزا، بررسی الگوهای جوی را گامی مهم در شناخت سازوکار بارش‌های سنگین می‌دانند. (فدریکو و همکاران، ۲۰۰۸) برای درک بهتر فرایندهای دینامیکی مرتبط با بارش‌های سنگین کالابریا در جنوب ایتالیا، با انجام تحلیل خوشه‌ای، ۱۱ الگوی هم‌دید شناسایی و ارتباط بین هر تیپ از بارش‌ها را با الگوهای گردشی شناسایی کردند. (سیسوانتو و همکاران، ۲۰۱۷) معتقدند الگوهای گردشی بیانگر تقویت بادهای موسمی، رطوبت بالا و افزایش فعالیت همرفتی طی زمان رخداد بارش حدی دو روزه با ۴۵۵ میلی‌متر بارش در جاکارتا بوده است. در پژوهش (چن و همکاران، ۲۰۱۸) ارتباط بین بارش سنگین ۴۳۵ میلی‌متری در جنوب شرق آسیا، با الگوی امگا شکل تراز میانی جو در عرض‌های جغرافیایی میانی آشکار شد. در ایران بارش‌های سنگین و حدی از دیدگاه‌های مختلفی بررسی شده است. برخی پژوهشگران در مناطق مختلف کشور، بارش‌های سنگین منجر به سیل را بررسی کرده‌اند. (بیرانوند و همکاران، ۲۰۱۹) بارش‌های سنگین منجر به سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در حوضه آبریز درود، (کیخسروی و همکاران، ۲۰۲۲) بارش‌های ابرسنگین حوضه کرخه (قاسمی‌فر و همکاران، ۱۳۹۶) بارش‌های فراگیر ناحیه خزری (ثقفی و همکاران، ۱۴۰۱) بارش‌های سنگین پاییزه و زمستانه جنوب غرب ایران را بررسی کرده‌اند و نشان دادند که در هر مورد سامانه‌های هم‌دید به روش‌های مختلفی منطقه مطالعاتی را تحت تأثیر قرار داده است و منبع رطوبتی این سامانه‌ها عموماً آب‌های گرم مناطق اطراف کشور بوده است. برخی دیگر از پژوهشگران با استفاده از روش خوشه بندی بارش‌های با تداوم چند روزه را در ایران پهنه‌بندی کرده‌اند. (مفاخری و همکاران، ۱۳۹۶) و (ثقفی و همکاران، ۱۴۰۲) با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای ایران را به ۷ ناحیه بارشی تقسیم کردند و در هر ناحیه آشکار شده سامانه‌های بارشی موثر بر بارش‌های با تداوم چند روزه را بررسی نمودند. هدف از این پژوهش، شناسایی الگوهای هم‌دید بارش‌های با تداوم بیش از ۴ روز و بررسی شار افقی نم و ویژه است تا با شناسایی رفتار این متغیر و نوسانات مربوط به آن بتوان برنامه ریزی‌های دقیق و جامعی در جهت مدیریت منابع آبی کشور به عمل آورد. آنچه این پژوهش را از سایر پژوهش‌های انجام شده متمایز می‌کند، نحوه برآورد بارش‌های حدی ایستگاه‌های مطالعاتی است که در پژوهش‌های پیشین مغفول مانده است.

برای تحلیل انتخاب شد. با در نظر گرفتن سه معیار شدت، تداوم و فراگیری بارش، تعدادی تاریخ رخداد بارش با تداوم چهار روزه آشکار شد که در جدول ۱ نشان داده شده است. شایان ذکر است که بارش فراگیر در این پژوهش به بارشی گفته می‌شود که بیش از ۵۰ درصد ایستگاه‌های مطالعاتی تحت تاثیر سامانه بارشی قرار گرفته باشند.

سری دوم داده‌های مورد استفاده این پژوهش در تحلیل سامانه‌های انتخابی بکار برده شد. برای بررسی موردی سامانه‌های هم‌مدیدی، از داده‌های فشار سطح متوسط دریا، ارتفاع، دما و نم نسبی سطح فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال، میدان باد و نم ویژه ترازهای فشاری ۹۲۵ و ۷۰۰ هکتوپاسکال به عنوان سطح زیرین و پایین جو، ارتفاع و مولفه قائم باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و میدان باد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال استفاده شد. این کمیت‌ها و این سطوح فشاری برای تحلیل سامانه‌های انتخابی متداول می‌باشد. داده‌های استفاده شده از بایگانی NCEP/NCAR گرفته شده است. برای انتخاب حالت‌های موردی با استفاده از نرم افزار SPSS، از شیوه خوشه‌بندی استفاده شد (برومند و عالی‌جهان، ۱۳۹۴:۴۰۳؛ راشدی و همکاران، ۲۰۱۵:۴۸۷). برای اینکار از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل سطح فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال استفاده شد. ابتدا میانگین ارتفاع این کمیت در بازه‌های جدول ۱ در موردهای بدست آمده محاسبه شد و سپس در فاصله کمتر از ۵ واحد، پنج خوشه متفاوت آشکار شد. در ادامه از هر خوشه یک مورد که در سال‌های اخیر و در ماه‌های مختلف رخ داده است، برای تحلیل هم‌مدیدی انتخاب شد.

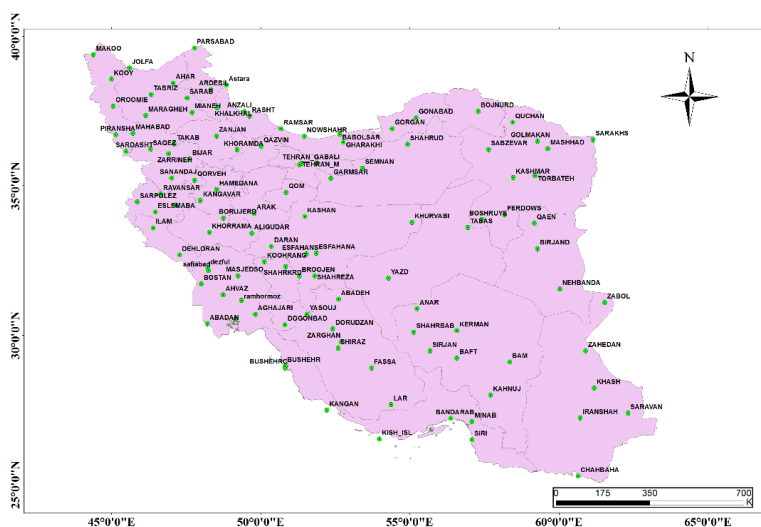
افزون بر آن افزایش دوره آماری منتهی به سال ۲۰۲۲ نیز می‌تواند مسائل مربوط به روند بارش‌ها را پوشش دهد.

داده و روش کار

موقعیت منطقه

منطقه مورد مطالعه این تحقیق کل پهنه ایران می‌باشد. ایران در جنوب‌غربی آسیا و در منطقه خاورمیانه واقع گردیده، با وسعت حدود ۱/۶ میلیون کیلومتر مربع و با جمعیت حدود ۸۰ میلیون نفر (سرشماری سال ۱۳۹۵، درگاه ملی آمار ایران) یکی از بزرگترین کشورهای منطقه می‌باشد در شکل ۱ نقشه موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود.

در این پژوهش برای دستیابی به هدف مطالعه از دو سری داده استفاده شد. سری اول، داده‌های بارش روزانه ۱۲۰ ایستگاه سینوپتیک کشور است که از سازمان هواشناسی کشور گرفته شد که پس از کنترل کیفی آن از نظر مقدار و هماهنگی با ایستگاه‌های مجاور، مجموع بارش‌های چهار روزه محاسبه شد و براساس شدت بارش، مرتب گردید. از آنجایی که سامانه‌های بارشی زمستانه موثر بر ایران از نوار غربی وارد ایران می‌شوند، از این رو تعدادی ایستگاه هواشناسی در مناطق مختلف نیمه غربی که از نظر طول دوره آماری و داده برداری از کیفیت مناسبی برخوردار بودند، به عنوان ایستگاه معرف انتخاب شدند. با استفاده از نرم افزار آماری مینی‌تب و بر اساس شاخص آندرسن-دارلینگ، در هر ایستگاه مطالعاتی، بهترین تابع احتمال بر داده‌های بارش چهار روزه برازش داده شد و مقادیر بارش بیش از ۹۹٪ درصد بالای منحنی برازش داده شده



شکل ۱- نقشه موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

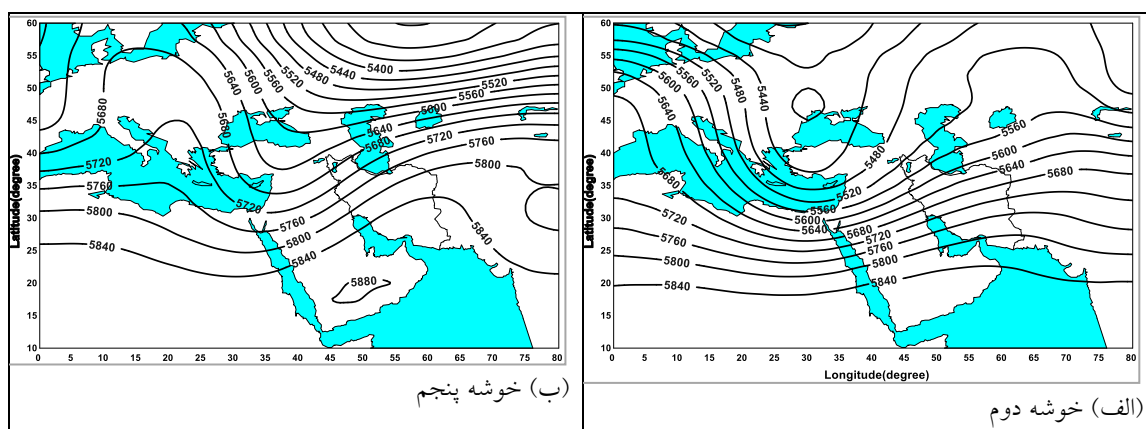
جدول ۱ - تاریخ اثر سامانه‌های بارشی موثر بر نیمه غربی ایران

ردیف	تاریخ رخداد	ردیف	تاریخ رخداد	ردیف	تاریخ رخداد
۱	۹ تا ۱۴ مارس ۲۰۰۵	۶	۱۶ تا ۲۰ فوریه ۱۹۹۶	۱۱	۱۴ تا ۱۸ مارس ۱۹۹۲
۲	۱۱ تا ۱۵ دسامبر ۱۹۹۱	۷	۱۱ تا ۱۹ فوریه ۲۰۱۷	۱۲	۱۳ تا ۱۴ ژانویه ۲۰۰۴
۳	۱ تا ۴ فوریه ۲۰۰۶	۸	۳ تا ۶ ژانویه ۱۹۹۸	۱۳	۶ تا ۱۲ فوریه ۱۹۹۸
۴	۱۵ تا ۲۰ مارس ۱۹۹۸	۹	۲۷ تا ۳۰ اکتبر ۲۰۱۵	-	-
۵	۴ تا ۸ نوامبر ۱۹۹۴	۱۰	۱۳ تا ۱۷ دسامبر ۱۹۹۲	-	-

شرح و تفسیر نتایج

در خوشه بندی سلسله مراتبی ارتفاع تراز میانی، الگوهای مشخصی بدست آمد. در این دسته بندی سه الگوی ناوه ارتفاع تراز میانی و یک الگوی کم فشار بریده آشکار شد. در این دسته بندی ناوه کم عمق شرق دریای مدیترانه که مرکز آن در شمال اروپا قرار دارد، کم فشار بریده با هسته سرد در شمال دریای سیاه و ناوه عمیق آن در شرق دریای مدیترانه (شکل ۱- الف)، ناوه کم عمق که مرکز آن در شمال دریای سیاه است، ناوه کم عمق با محور شمال شرقی جنوب غربی در شرق دریای مدیترانه و ناوه عمیق با محور کج در شرق دریای مدیترانه و

شمال دریای سرخ (شکل ۱-ب) در خوشه‌های مختلف ظاهر شدند. چنین به نظر می‌رسد که الگوی ارتفاع تراز میانی جو در خوشه‌های ۱ و ۳ و نیز در خوشه‌های ۴ و ۵ با هم مشابه باشند. در حالیکه در خوشه اول نسبت به خوشه سوم و نیز در خوشه ۵ نسبت به خوشه ۴ گرادیان ارتفاع کمتر است. بعلاوه کجی محور ناوه نیز در خوشه اول و چهارم نسبت به خوشه سوم و پنجم کمتر می‌باشد. در تحلیل الگوهای همدیدی حالت‌های موردی، بررسی از چند روز قبل از شروع بارش تا دو روز بعد از آن با فاصله زمانی یک روزه انجام شده است که برای کاستن از حجم مطالب فقط به چند شکل کلیدی اشاره می‌شود.



شکل ۲ - الگوی میانگین ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر حسب متر در دو خوشه متمایز. محورهای مختصات طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه است.

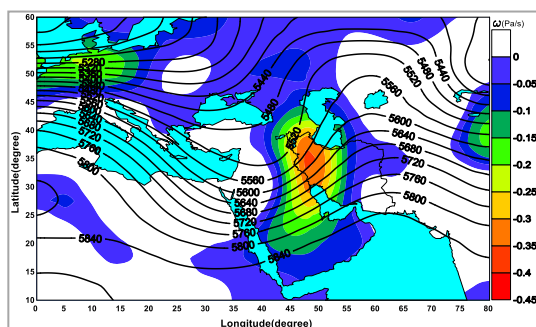
سرد در شرق دریای مدیترانه است و امگای منفی این تراز فشاری که معرف حرکت بالا سو است، در شرق ناوه ارتفاع جای گرفته است. به تدریج کم فشار بریده باز می‌شود و یک ناوه با عمق بیشتر در شرق دریای مدیترانه تشکیل می‌شود. هماهنگ با تحول مرکز کم ارتفاع این تراز، مرکز کم فشار روی شرق دریای مدیترانه به سوی شرق حرکت می‌کند و مرکز

مورد اول ۱۱ تا ۱۵ ژانویه ۲۰۰۴

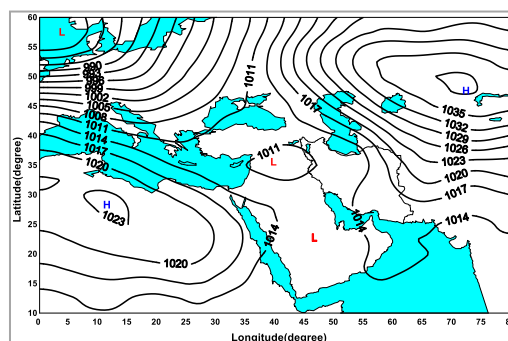
در روزهای دهم و یازدهم ژانویه ۲۰۰۴، یک سامانه کم فشار در شرق دریای مدیترانه و یک مرکز پرفشار در روی دریای خزر قرار گرفته است. ناوه فشاری وارون دریای سرخ نیز در جنوب غرب دریای سرخ به سوی شرق آن دریا امتداد یافته است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، یک کم فشار بریده با هسته

هکتوپاسکال دیده شد که از نظر کیفی، جریان‌های شرقی روی اقیانوس هند، هوای گرم و مرطوب را با خود همراه کرده و با جهت واچرخندی، آنرا به مناطق مختلف نیمه غربی ایران منتقل نموده است. این سازوکار با حرکت بالاسوی سامانه، نم ویژه را به سطوح زیرین و میانی انتقال داده است (شکل ۳-الف). مقادیر عددی مثبت شار نم ویژه در ترازهای فوق نشان داد که در این حالت موردی در ترازهای زیرین فشاری (شکل ۳-ب)، از جنوب غرب دریای سرخ تا نیمه غربی ایران تحت تاثیر مقادیر مثبت شار نم ویژه است. در نتیجه در اثر شار نم ویژه، نم ویژه مناطق اطراف را به منطقه گفته شده منتقل کرده است. این الگوها با الگوهای فرارفت نم ویژه در ترازهای ۹۲۵ و ۸۵۰ هکتوپاسکال هماهنگ است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، مقادیر شار نم ویژه در شمال شرق و شرق ایران مثبت است.

پرفشار روی دریای خزر را به سوی دریاچه اورال جابجا می‌کند. در شرق دریای مدیترانه، امگای منفی شدیدی قرار گرفته است که می‌تواند شرایط را برای بارش‌های همرفتی مهیا کند. در روز سیزدهم ژانویه، پرفشار روی دریاچه اورال به شرق حرکت می‌کند و با پرفشار سرد سیبری ترکیب می‌شود و یک منطقه وسیع را تحت تاثیر قرار می‌دهد (شکل ۲-الف). مرکز کم فشار شرق دریای مدیترانه به مرزهای غربی ایران نزدیک می‌شود و ناوه ارتفاع و امگای منفی تراز میانی جو، نیمه غربی ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهد (شکل ۲-ب). در این حالت موردی، در اثر وجود رشته کوه زاگرس، حرکت بالاسوی تراز میانی تقویت شده است و شرایط برای همگرایی نم نسبی و در نتیجه بارش همرفتی شدید، بهتر شده است. از بررسی میدان باد و نم ویژه در ترازهای ۹۲۵، ۸۵۰ و ۷۰۰

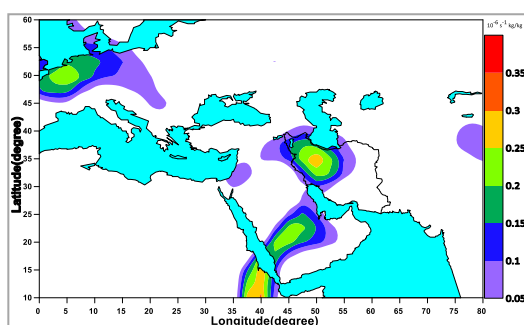


(ب) ارتفاع و امگای سطح فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال

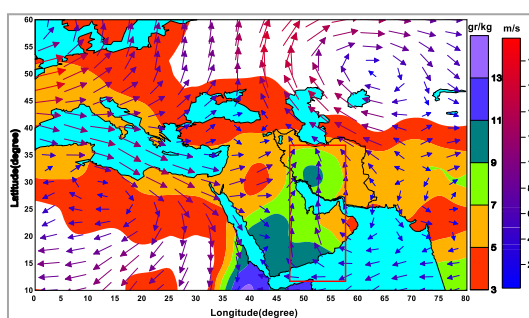


(الف) فشار سطح متوسط دریا

شکل ۳ - گرته فشار سطح متوسط دریا (هکتوپاسکال) و ارتفاع (متر) و مقادیر منفی مولفه قائم سرعت باد یا امگا (پاسکال بر ثانیه) در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز سیزدهم ژانویه ۲۰۰۴.



(ب) مقادیر شار افقی نم ویژه



(الف) میدان باد افقی و نم ویژه

شکل ۴ - میدان باد افقی بر حسب متر بر ثانیه و نم ویژه بر حسب گرم بر کیلوگرم و الگوی مقادیر مثبت شار افقی نم ویژه در سطوح فشاری ۹۲۵ هکتوپاسکال در روز سیزدهم ژانویه ۲۰۰۴ ($10^{-6} \text{ kg kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)

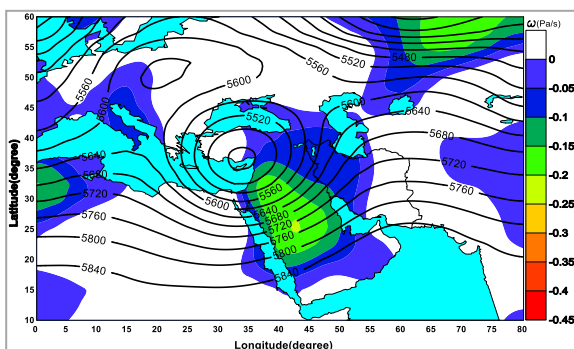
به سوی دریای سرخ امتداد یافته است و با ناوه فشاری وارون دریای سرخ ترکیب شده است. این مرکز با ناوه عمیق ارتفاع تراز میانی در شرق دریای مدیترانه همراه است و یک سامانه

مورد دوم ۱۳ تا ۱۷ دسامبر ۱۹۹۲

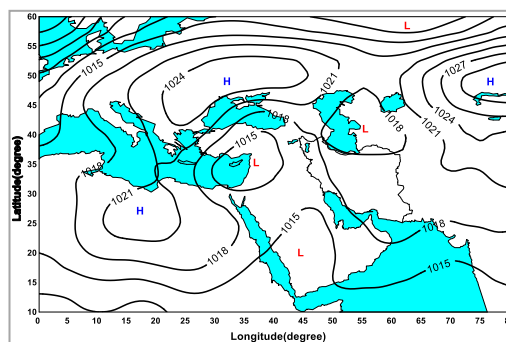
در روزهای سیزدهم و چهاردهم دسامبر سال ۱۹۹۲، یک مرکز کم فشار در شرق دریای مدیترانه قرار گرفته است که ناوه آن

قائم نم ویژه در ترازهای فشاری مختلف نشان داد که در ترازهای ۹۲۵ (شکل ۵-الف)، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نم ویژه با باد از مناطق جنوبی خلیج فارس به مناطق غربی ایران منتقل می‌شود. افزون بر آن از شرق دریای مدیترانه نیز جریان‌های بخش شرقی کم‌فشار، نم ویژه را به شمال غرب ایران انتقال داده است. در نقشه‌های شار نم ویژه مشاهده شد که در روز پانزدهم در ترازهای ۹۲۵ (شکل ۵-ب) و ۸۵۰ هکتوپاسکال دو هسته شار مثبت نم ویژه در شرق دریای مدیترانه و شرق دریای سرخ قرار گرفته است که در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال این دو هسته در حین تضعیف بهم پیوسته و در شمال شرق و شرق ایران جای گرفته است. چنین بر می‌آید که در این حالت موردی دو منبع رطوبتی مجزا بر سامانه بارشی موثر بوده‌اند که یکی در شرق دریای مدیترانه و دیگری در شرق و جنوب غرب دریای سرخ می‌باشد.

بارشی در آن منطقه ایجاد کرده است (شکل ۴-الف). دو هسته امگای منفی در شرق دریای مدیترانه و شرق دریای سرخ وجود دارد که اولی به سبب حرکت چرخندی ناوه شرق دریای مدیترانه و دومی به سبب عبور امواج کژفشاری عبوری به جنوب غرب ایران آشکار شده است. به تدریج در روزهای پانزدهم و شانزدهم ناوه عمیق ارتفاع تراز میانی در شرق دریای مدیترانه به یک کم فشار بریده با هسته سرد تبدیل شده است و هسته آن در شرق دریای مدیترانه به کندی به سوی شرق حرکت می‌کند. امواج ناشی از این سامانه به طور مجزا از بخش‌های شمالی و جنوبی ایران عبور می‌کنند و در روز شانزدهم دسامبر نیمه غربی ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهند (شکل ۴-ب). در شکل ۵ میدان باد و نم ویژه و نیز شار نم ویژه در تراز فشاری ۹۲۵ هکتوپاسکال در روز پانزدهم دسامبر نشان داده شده است. بررسی میدان باد و نم ویژه و نیز شار

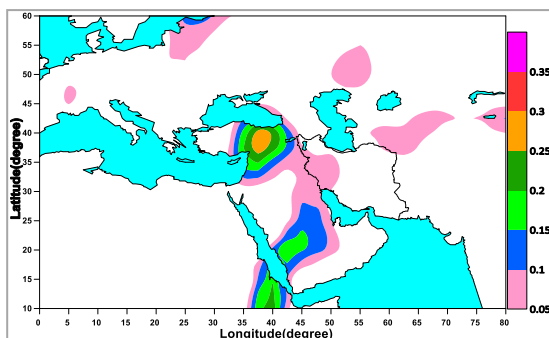


ب) ارتفاع و امگای سطح فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال

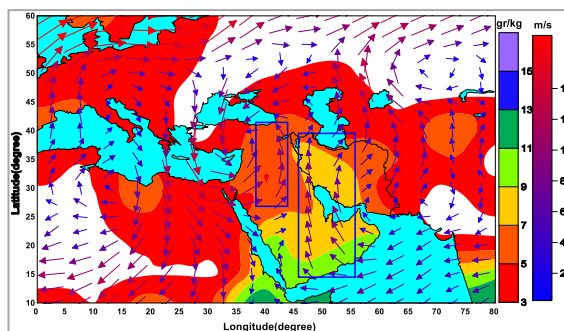


الف) فشار سطح متوسط دریا

شکل ۵ - گرته فشار سطح متوسط دریا (هکتوپاسکال) و ارتفاع (متر) و مقادیر منفی مولفه قائم سرعت باد یا امگا (پاسکال بر ثانیه) در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز شانزدهم دسامبر ۱۹۹۲.



ب) مقادیر شار افقی نم ویژه



الف) میدان باد افقی و نم ویژه

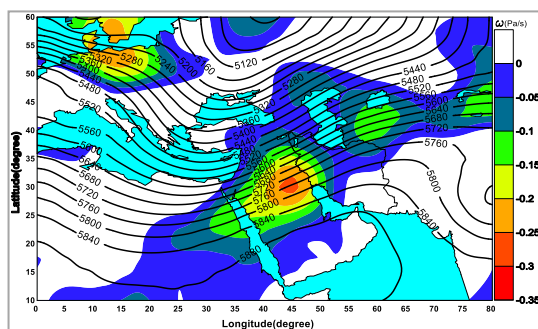
شکل ۶ - میدان باد افقی بر حسب متر بر ثانیه و نم ویژه بر حسب گرم بر کیلوگرم و الگوی مقادیر مثبت شار افقی نم ویژه در سطح فشاری ۹۲۵ هکتوپاسکال در روز پانزدهم دسامبر ۱۹۹۲ ($10^{-6} \text{ s}^{-1} \text{ kg kg}^{-1}$)

مورد سوم ۹ تا ۱۲ مارس ۲۰۰۵

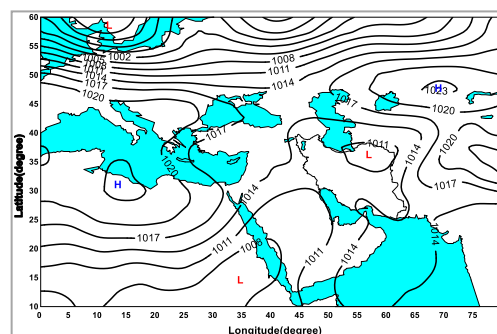
این حالت موردی دیده شد که بادهای جنوبی بخش غربی و اچرخند جنوب ایران با عبور از روی آبهای گرم دریای عمان، هوای گرم و غنی از نم ویژه عرض‌های جغرافیایی جنوبی را به تدریج به مناطق جنوب‌غرب و غرب ایران منتقل می‌کنند و بادهای غربی شمال دریای مدیترانه و دریای سیاه، نیز توانائی انتقال رطوبت موجود در جو را به مناطق شمال‌غرب ایران را دارا می‌باشند. این شرایط در سطح فشاری ۹۲۵ هکتوپاسکال در شکل ۷-الف نشان داده شده است. بررسی مقادیر مثبت شار افقی نم ویژه در ترازهای ۹۲۵، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که در سطوح فشاری زیرین، (شکل ۷-ب) مقادیر مثبت بیشینه در جنوب‌غرب و شمال‌شرق دریای سرخ و نیز در شمال‌غرب و شمال‌شرق ایران قرار گرفته است و در سطح فشاری ۷۰۰ هکتوپاسکال این مقادیر از غرب تا شمال‌شرق ایران را تحت تاثیر قرار داده است. از این تحلیل می‌توان گفت که در این حالت موردی نوار شمالی ایران از شمال‌غرب تا شمال‌شرق تحت تاثیر جریانهای غربی روی دریای مدیترانه و غرب، جنوب‌غرب و مرکز ایران نیز تحت تاثیر جریانهای شرقی بخش جنوبی و اچرخند روی جنوب ایران هستند که از روی آبهای گرم دریای عمان عبور می‌کنند و سپس با حالت و اچرخندی به جریانهای جنوبی تبدیل می‌شوند.

بررسی میدان فشار سطح زمین در این موردی نشان می‌دهد که یک مرکز پرفشار در روی اروپا است و پشته آن در راستای نصف‌النهاری به سوی شمال و جنوب توسعه پیدا کرده است و سبب شده است تا ناوه مرکز کم فشار جنب قطبی به سوی دریای خزر امتداد یابد. در غرب دریای سرخ نیز کمفشار دیگری است که ناوه آن در راستای شمال شرق به سوی شرق دریای سرخ امتداد یافته است (شکل ۶-الف). در تراز میانی جو نیز یک مرکز کم ارتفاع در شمال اروپای شرقی قرار گرفته است و ناوه آن به سوی جنوب دریای مدیترانه امتداد یافته است. یکی از ناوه‌های این کم ارتفاع به سوی شرق دریای خزر گسترش یافته است و در کشورهای شرقی ایران به سوی جنوب امتداد یافته است. مقادیر امگای منفی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در مناطق جنوب دریا مدیترانه، شرق دریای مدیترانه، شمال دریای خزر و در شرق پاکستان به کمینه مقدار خود رسیده است. به تدریج که ناوه ارتفاع تراز میانی به سوی شرق جابجا می‌شود و هسته‌های کمینه امگای منفی در غرب ایران با هم ترکیب می‌شوند و سبب کاهش فشار منطقه و تشکیل یک مرکز کم فشار در روی ایران می‌شوند که به تدریج از سمت شمال‌شرق از ایران خارج می‌شود (شکل ۶-ب). از بررسی میدان باد و نم ویژه ترازهای زیرین فشار در

جدول ۲: مقاله‌های دارای بیشترین میزان استناد در هر یک از رسانه‌های اجتماعی آلمتریک

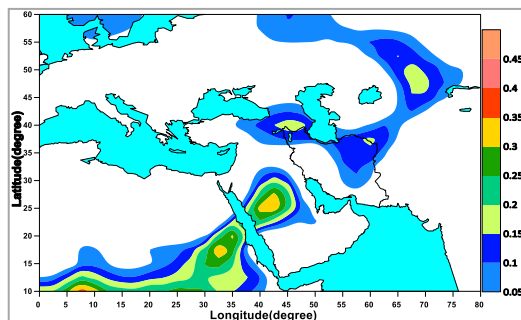


(ب) ارتفاع و امگای سطح فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال

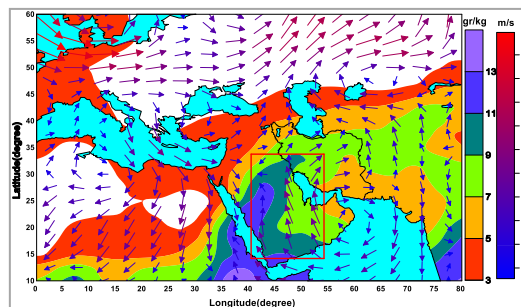


(الف) فشار سطح متوسط دریا

شکل ۷ - گرته فشار سطح متوسط دریا (هکتوپاسکال) و ارتفاع (متر) و مقادیر منفی مولفه قائم سرعت باد یا امگا (پاسکال بر ثانیه) در تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز یازدهم مارس ۲۰۰۵.



(ب) مقادیر شار افقی نم ویژه



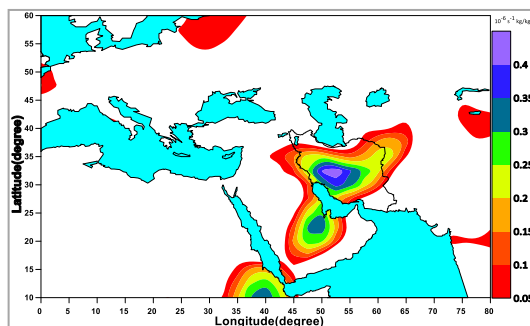
(الف) میدان باد افقی و نم ویژه

شکل ۸ - میدان باد افقی بر حسب متر بر ثانیه و نم ویژه بر حسب گرم بر کیلوگرم و الگوی مقادیر مثبت شار افقی نم ویژه در سطح فشاری ۹۲۵ هکتوپاسکال در روز یازدهم مارس ۲۰۰۵ ($10^{-6} \text{ s}^{-1} \text{ kg kg}^{-1}$)

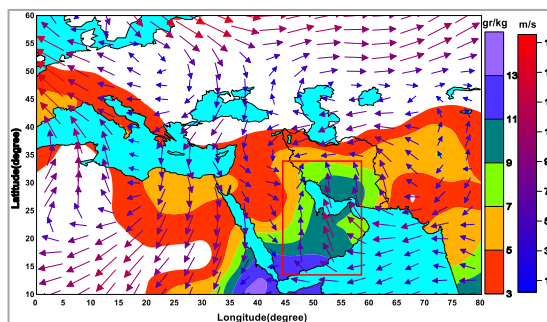
ارتفاعی عمیق قرار گرفته است که محور آن از شمالغرب به جنوب شرق از شمال روسیه تا شرق دریای مدیترانه را تحت تاثیر قرار داده است. این ناوه به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم شده است. بخش شمالی ناوه با مقادیر امگای منفی در از روی روسیه قرار گرفته است. مادامیکه هسته امگای بلاکینگ تغییر نکرده است، بخش جنوبی سامانه به شکل ناوه عمیق و مورب همراه حرکت بالاسوی شدید، مناطق مختلف شرق دریای مدیترانه و ایران را تحت تاثیر فعالیت خود قرار می‌دهد. از بررسی میدان باد و نم ویژه و شار افقی نم ویژه در ترازهای فشاری ۹۲۵، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال دیده می‌شود که در سطوح زیرین جو (شکل‌های ۸-الف و ۸-ب)، بادهای شرقی روی دریای عمان به صورت واچرخندی تغییر جهت می‌دهند و به جریان‌های جنوبی تبدیل می‌گردند. این عامل سبب انتقال نم ویژه به مناطق مختلف اطراف دریای سرخ و سپس جنوبغرب و جنوب ایران می‌باشد.

مورد چهارم ۱۱ تا ۱۹ فوریه ۲۰۱۷

بررسی میدان فشار نشان می‌دهد که در اطراف مدار ۴۲ درجه شمالی یک منطقه پرفشار وسیع قرار دارد که از دو مرکز پرفشار تشکیل شده است. یکی از این مراکز در روی اروپا و دیگری در شمال دریاچه بالخاش قرار گرفته است. در دو سوی این منطقه پرفشار دو مرکز کم‌فشار ایجاد شده است که اولی در شمال روسیه و دومی در روی دریای سرخ قرار دارند. در اثر حرکت چرخندی کم فشار شمال روسیه و توسعه آن به سوی جنوب و نیز توسعه شرق سوی پرفشار روی اروپا، یک منطقه وسیع کم‌فشار در اطراف نصف‌النهار ۴۵ درجه شرقی ایجاد شده است که به تدریج ایران را تحت تاثیر فعالیت چرخندی قرار داده و سپس از شمال شرق ایران خارج می‌شود. در تراز میانی جو نیز یک سامانه بلاکینگ امگا شکل در روی اروپا است که در بخش شرقی آن یک ناوه



(ب) مقادیر شار افقی نم ویژه



(الف) میدان باد افقی و نم ویژه

شکل ۹ - میدان باد افقی بر حسب متر بر ثانیه و نم ویژه بر حسب گرم بر کیلوگرم و الگوی مقادیر مثبت شار افقی نم ویژه در سطح فشاری ۹۲۵ هکتوپاسکال در روز سیزدهم فوریه ۲۰۱۷ ($10^{-6} \text{ s}^{-1} \text{ kg kg}^{-1}$)

مورد پنجم ۲۷ تا ۳۰ اکتبر ۲۰۱۵

نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از داده‌های بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های هواشناسی در ماه‌های اکتبر تا مارس، مجموع بارش چهار روزه محاسبه شد و بر اساس شاخص آندرسن-دارلینگ، بهترین تابع توزیع احتمال بر سری زمانی داده‌های بدست آمده، برازش شد. برای تحلیل سامانه‌های همدیدی موثر بر این بارش‌ها، بارش‌های حدی ایستگاه‌های تحت بررسی که بیشتر از مقادیر یک درصد بالای منحنی برازش شده بودند، برآورد شد و تعدادی تاریخ توفان چهار روزه در دوره آماری سی ساله انتخابی بدست آمد. با بکارگیری داده‌های تراز فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال در یک محدوده جغرافیائی محدود و استفاده از روش خوشه‌بندی، پنج خوشه مختلف آشکار شد و از هر خوشه یک سامانه بارشی برای تحلیل همدیدی انتخاب گردید. خوشه‌های آشکار شده این پژوهش با پژوهش (صلاحی و عالی جهان، ۱۳۹۴) مقایسه شد. نتایج نشان داد که دو خوشه ناوه کم عمق شرق دریای مدیترانه و ناوه عمیق شرق دریای مدیترانه و شمال دریای سرخ در هر دو پژوهش یکسان است ولی در دو خوشه دیگر تفاوت قابل توجهی وجود داشت. این تفاوت به سبب اختلاف در منطقه مطالعاتی رخ داده است. در پژوهش (صلاحی و عالی جهان، ۱۳۹۴)، سامانه‌های موثر بر توفان‌های تندری در شمال غرب ایران و اردبیل بررسی شده است. بررسی همدیدی حالت‌های موردی نشان داد که سامانه‌های همدیدی عرض‌های میانی در حین عبور از روی آب‌های گرم دریای مدیترانه به سبب گردش چرخندی، حرکت صعودی ایجاد کرده و مقدار قابل توجهی از رطوبت روی دریا را به ارتفاعات بالاتر منتقل می‌کنند. افزون بر این به سبب وجود بادهای شرقی بخش جنوبی پرفشار روی دریای عمان، مقدار زیادی نم ویژه به جنوب دریای سرخ انتقال یافته که با بادهای جنوبی بخش شرقی ناوه فشاری دریای سرخ به مناطق جنوب، جنوب غرب و غرب ایران منتقل شده است. این مقادیر نیز در اثر حرکت صعودی توانسته‌اند در فرایند بارش شرکت کرده و مقدار بارش و تداوم آن در نیمه غربی ایران افزایش دهند. از مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با بخشی از نتایج پژوهش (ثقفی و همکاران، ۱۴۰۱) مشاهده شد که بارش حدی یازدهم تا سیزدهم ژانویه ۲۰۰۴ در هر دو پژوهش به

از بررسی میدان فشار این حالت موردی دیده می‌شود که یک مرکز پرفشار گسترده در روی دریای مدیترانه است که پشته‌های آن در راستای مداری تا روی دریای سیاه و در راستای نصف‌النهاری تا روی آفریقا گسترده شده است. در جنوب غرب دریای سرخ نیز یک مرکز کم فشار قرار گرفته است که ناوه آن بطور وارون تا شرق دریای مدیترانه امتداد یافته است. در شمال دریای خزر نیز یک مرکز کم فشار قرار دارد. به تدریج مرکز کم فشار روی دریای خزر تقویت می‌شود و ناوه فشاری روی دریای سرخ نیز به مناطق غرب و جنوب غرب ایران نزدیک می‌شود. با گسترش شرق سوی مرکز پرفشار روی اروپا، بیشتر مناطق کشور به جز غرب و جنوب غرب، تحت تاثیر پشته این سامانه قرار می‌گیرد و غرب و جنوب غرب ایران نیز تحت تاثیر ناوه فشاری قرار دارد. در تراز میانی دیده می‌شود که ناوه ارتفاع یک مرکز کم ارتفاع که در شمال دریای سیاه قرار دارد، به سوی جنوب دریای مدیترانه گسترش یافته است و پشته ارتفاع همه مناطق ایران را به جز شمال غرب ایران، تحت تاثیر قرار داده است. به تدریج این ناوه با شکل‌های مختلفی که به خود می‌گیرد، به نوار غربی ایران نزدیک می‌شود و با حرکت چرخندی، حرکات بالاسوی مناسبی را در این مناطق ایجاد می‌کند. از بررسی میدان باد و نم ویژه و شار افقی نم ویژه در ترازهای فشاری ۹۲۵، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال دیده شد که در سطوح زیرین که بادهای شرقی روی دریای عمان به صورت واچرخندی تغییر جهت می‌دهند و به جریان‌های جنوبی تبدیل می‌گردند، می‌توانند مشابه مورد چهارم، نم ویژه روی دریای عمان را به مناطق مختلف اطراف دریای سرخ و سپس جنوب غرب و غرب ایران منتقل کنند. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز دیده می‌شود که افزون بر جریان‌های جنوب غربی ناوه ارتفاعی که می‌تواند سبب انتقال رطوبت به غرب ایران شود، بادهای جنوب غربی مقادیر نم ویژه را از جنوب غرب دریای سرخ به شرق آن دریا و سپس جنوب غرب و جنوب ایران منتقل کنند.

- the Geographic Sciences of the Littoral, Vol. 3, No. 1, Gilan.
- 5- Mofakher et al., 2017. Centralization of rainfall in Iran: Causes and impacts, *Geography and Environmental Management*, Vol. 23, No. 6, p. 143-162.
 - 6- SaQafy et al., 2021. comparative study of the mechanisms of rainy weather conditions leading to heavy rainfall in the south-western part of Iran, *Iranian Journal of Earth Sciences*, Vol. 50, No. 58.
 - 7- saQafy et al., 2022. zone mapping and analysis of rainfall distributions in different regions of Iran in a 30-year period (1987-2016), *Iranian Journal of Geography*, Vol. 23, No. 71, p. 103-121.
 - 8- Farj-Zadeh et al., 2016. Analysis of the weather conditions leading to heavy rain in the Kouh-Rokh area) Case study: Nov. 29, 92 rain), *The Journal of Physical Geography and Urban Planning*, Vol. 45, No. 162-143.
 - 9- Changnon, Stanley A, 2001, Damaging Thunderstorm Activity in the United States *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(4): 597-608. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2001\)082<0597:DTAITU>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2001)082<0597:DTAITU>2.3.CO;2)
 - 10- Chen, Chu, Chen, Tu, Teng, Lin, Yi-Leng, Yen-Ju, Ching-Sen, Chuan-Chi, Jen-Hsin, Pay-Liam, 2018, Analysis and simulations of a heavy rainfall event over northern Taiwan during 11–12 June 2012, *Monthly Weather Review*, 146(9): 2697-2715. DOI: <https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0001.1>
 - 11- Crimp, Mason, Steven, Simon, 1999, The Extreme Precipitation Event of 11 to 16 February (1996) over South of Africa, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 70(5):29-42. DOI <https://doi.org/10.1007/s007030050023>
 - 12- Federico, Avolio, Pasqualoni, Bellecci, Stafano, Elinio, L, C, 2008, Atmospheric patterns for heavy rain events in Calabria, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8(5): 1173-1186. <https://doi.org/10.5194/nhess-8-1173-2008>
 - 13- Frei, Schä, Christoph, Christoph, 1998, A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations, *International journal of climatology*, 18(8):873-900. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19980630\)18:8<873::AID-JOC255>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19980630)18:8<873::AID-JOC255>3.0.CO;2-9)
 - 14- Han, Ge, Hei, Cong, Ma, Xie, Jiao, Jianqiao, Wenyan, Zhe, Chenyu, Chunling, Mengxia, Baoyuan, Wei, Fei, Juying, 2020, Agricultural land use and management
- عنوان بارش حدی سنگین زمستانه آشکار شده است. بررسی عوامل همدیدی موثر بر بارش زمستانه این حالت موردی، نتایج تحلیل (ثقفی و همکاران، ۱۴۰۱) را تایید نمود. از تحلیل همدیدی حالت‌های موردی دیده شد که دو سامانه بارشی مربوط به ژانویه ۲۰۰۴، و دسامبر ۱۹۹۲، از غرب وارد ایران شده‌اند ولی سامانه‌های بارشی مربوط به مارس ۲۰۰۵، فوریه ۲۰۱۷ و اکتبر ۲۰۱۵ از جنوب غرب ایران را تحت تاثیر قرار داده‌اند. بیشترین مجموع بارش ۴ روزه سامانه‌های مورد اول تا چهارم در ایستگاه‌های مرتفع واقع در جنوب غرب ایران برآورد شده است ولی در حالت موردی اکتبر ۲۰۱۵ بیشترین مجموع بارش چهار روزه در ایستگاه ایلام به مقدار ۳۲۶ میلیمتر ثبت شده است. اختلاف فعالیت بارشی سامانه‌های یاد شده به خرد اقلیم محل، گرمایش سطوح زیرین و منبع رطوبتی بستگی دارد و تداوم آن به موقعیت جغرافیایی، نحوه گسترش نصف‌النهاری سامانه و ماندگاری آن در منطقه وابسته است. در این تحقیق دیده شد که فعالیت بارشی سامانه‌ها با تداوم چهار روز متوالی بطور همزمان نمی‌تواند سراسر ایران را تحت تاثیر قرار دهد. ابتدا بیشتر نقاط نیمه غربی تحت تاثیر قرار می‌گیرند و سپس با اختلاف چند روز، در حالی که از فعالیت سامانه بارشی در نیمه غربی کاسته می‌شود، بارش با شدت کمتر در بیشتر مناطق نیمه شرقی آغاز می‌گردد.
- ### منابع
- 1- Borna, R., 2016. Analysis of heavy rainfall patterns in the Maroon Basin) Case study: Nov. 29, 92 rain), *Journal of Geophysical Research - Physical Oceanography*, Vol. 121, No. 63.
 - 2- Biranvand et al., 2020. Statistical-Cinoptically-based analysis of heavy rainfall leading to flooding incidents in the Dorood Basin in March 2018, *Journal of Natural Hazards*, Vol. 18.
 - 3- Salehi and Ali-Asghar, 2014. Extraction and analysis of thunderstorms leading to thunderstorms on the Tabriz plain, *Iranian Journal of Natural Sciences*, Vol. 47, No. 3, p. 399-419.
 - 4- Kihrowi et al., 2022. Analysis of the joint patterns of weather systems and thermodynamics leading to heavy and intense rainfall and estimation of the drainage area of the rainfall in the Kur River basin, *Journal of*

- 19- Yanbing, Jingjing, Lu, Kun, Tang, Gan, Zhao, Gao, 2006. On the climatology of persistent heavy rainfall events in China. *Advances in Atmospheric Sciences*, 23: 678-692.
- 20- Telesca, Lapenna, Scalcione, Summa, Luciano, Vincenzo, Emanuele, Donato, 2007. Searching for time-scaling features in rainfall sequences, *Chaos, Solitons & Fractals*, 32(1): 35-41. DOI:10.1016/j.chaos.2005.10.078
- 21- Trenberth, Dai, Rasmussen, Parsons, Kevin, Aiguo, Roy, David, 2003, The changing character of precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84(9): 1205-1218. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-84-9-1205>
- 22- Zhi-yang, Y.; C. Yunlong, Z. Xinyi, and C. Xiaoling, Yin, Cai, Zhao, Chen, 2009, An Analysis of the Spatial Pattern of Summer Persistent moderate-to-heavy rainfall regime in Guizho province of southwest China and the control factors, *Theor appl Climatol*, 97(3): 205-218. DOI:10.1007/s00704-008-0060-2.
- weaken the soil erosion induced by extreme rainstorms, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 301: 107047. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107047>
- 15- Hossos, Lolis, Bartzokas, Elias, Christos, Aristides, 2008, Atmospheric Circulation Patterns associated with extreme precipitation amounts in Greece, *Advances in Geosciences*, 17: 5-11. <https://doi.org/10.5194/adgeo-17-5-2008>
- 16- Komolvilas, Tanapalungkorn, Latcharote, Likitlersuang, Veerayut, Weeradetch, Panon, Suched, 2021, Failure analysis on a heavy rainfall-induced landslide in Huay Khab Mountain in Northern Thailand, *Journal of Mountain Science*, 18(10): 2580-2596. DOI:10.1007/s11629-021-6720-8
- 17- Prudhomme, Reed, Christel, Duncan, 1998. Relationships between extreme daily precipitation and topography in a mountainous region: a case study in Scotland, *International journal of climatology*, 18(13): 1439-1453. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19981115\)18:13<1439::AIDJOC320>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19981115)18:13<1439::AIDJOC320>3.0.CO;2-7)
- 18- Sevruck, BORIS, 1997, Regional dependency of precipitation-altitude relationship in the Swiss Alps, *Climatic Chang*, 80(2/3):355-369.