

واکاوی ارتباط بارش‌های سنگین با بادهای حدی در استان اردبیل^۱

مهدی فروتن^۱، برومند صلاحی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری رشته اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران،

۲- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران،

ایمیل نویسنده مسئول: bromand416@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲

چکیده

وقوع بارش سنگین ناشی از عوامل مختلف جوی است و بادهای حدی نقش مهمی در تأمین رطوبت و تشدید سرعت و مدت بارش دارند. هدف از ارائه این کار پژوهشی واکاوی ارتباط این دو پدیده در استان اردبیل و سازگاری زندگی جوامع بشری با آن بوده به گونه‌ای که هم در مقابل حوادث پسین آن آماده بود و هم با شناخت رفتار این دو پدیده یک دید اقتصادی نسبت به این موضوع داشت. در جهت اجرای این تحقیق از داده‌های پارامتر بارش و سرعت باد روزانه و سرعت و جهت باد سه ساعته برای دوره زمانی ۱۳ ساله (۲۰۰۹-۲۰۲۱) برای ۱۱ ایستگاه سینوپتیکی اردبیل استفاده گشت. بر حسب صدک ۹۵٪ روزهای فرین برای هر ایستگاه به دست آمد. برای تحلیل آماری و همدیدی شرط انتخاب روز نماینده برای هر ایستگاه وقوع همزمانی بارش و باد حدی ملاک قرار گرفت و به علت رعایت اختصار به تحلیل یک واقعه در ایستگاه مشکین شهر پرداخته شد. با استفاده از داده NETCDF ماهواره TRMM تراکم بارش در نرم‌افزار GIS نمایش داده شد و با نرم‌افزار گلباد جهت باد حداکثر نشان داده شد هم‌چنین با استفاده از داده‌های NCEP_NCAR نقشه‌های فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، جبهه‌زایی، سرعت و جهت باد، وزش رطوبتی، آب قابل بارش، شار رطوبت و هاف‌مولر نم‌ویژه نوع سوم در محیط نرم‌افزار گردس ترسیم گردید. نتایج آماری برای ایستگاه مشکین شهر نشان داد بیشینه فراوانی باد با ۵۶٪ در فصل زمستان رخ داده و از بین ماه‌های سال، ماه اسفند از این حیث رکورددار بوده که اغلب از سمت جنوب وارد شهر شده است اما بیش‌تر بارش (۴۱٪) در فصل بهار رخ داده و ماه اردیبهشت پربارش‌ترین ماه بوده است. نتایج تحلیل سینوپتیکی نیز نشان داد سیستم حاکم بر روی منطقه مورد مطالعه کم‌فشار روی دریاچه آرال بوده و شرایط چرخندی صعود هوا را در پی داشته است. در شرق دریای مدیترانه و شمال دریای سیاه سامانه‌های پرفشاری تشکیل یافته و با حرکت برونگرد خود باعث هدایت جریانات غربی به سمت منطقه شده است. در بین این سامانه‌ها مراکز جبهه‌زایی پدید آمده و نزدیکی منطقه مطالعاتی به این مراکز آن را از اغتشاشات جوی بی‌نصیب نگذاشته است. هم‌چنین منطقه مورد مطالعه در جلوی محور فرود غرب ایران قرار گرفته و چرخندگی مثبت هوا منجر به تقویت واگرایی در ورود سپهر شده است. سرعت حرکت افقی هوا به سرعت رودباد رسیده و با در بر داشتن رطوبت دریای مدیترانه مقدار ۱/۲ گرم در کیلوگرم رطوبت را بر آتمسفر منطقه تزریق نموده است. پیامد آن تشکیل هسته‌هایی از آب قابل بارش به میزان ۸ کیلوگرم در یک مترمربع و هسته‌ای از همگرایی رطوبت در شمال غرب ایران بوده و وزش شرق‌سوی بادهای غربی باعث شار آن به سمت منطقه مطالعاتی شده است.

واژه‌های کلیدی: Trmm، گلباد، تحلیل آماری و همدیدی، اردبیل

^۱ مقاله با کد GAHR-2301-1799 تحت عنوان "واکاوی ارتباط بارش‌های سنگین با بادهای حدی در استان اردبیل" مستخرج از طرح نوع ۳ (ویژه دانشجویان تحصیلی) به شماره قرارداد ۱۰۵/۴۰۱ با نظارت دکتر برومند صلاحی و با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی و مجری طرح مهدی فروتن انجام گرفته است

مقدمه

تغییرات آب و هوایی بر میزان بارش تأثیر مستقیمی دارد از جمله آن با افزایش حرارت مقدار تبخیر نیز زیاد شده و خشک شدن سطح زمین را به ارمغان می‌آورد که نتیجه آن افزایش شدت و مدت خشکسالی است با این حال به ازای گرم شدن ۱ درجه سانتی‌گراد ظرفیت نگهداری آب در هوا حدود ۷ درصد افزایش می‌یابد و منجر به افزایش بخار آب در جو می‌شود. از این رو، طوفان‌ها، خواه رعد و برق، باران یا طوفان‌های برف برون‌حاره‌ای، طوفان‌های استوایی، با افزایش رطوبت رویدادهای بارشی شدیدتری ایجاد می‌کنند. اما در خصوص تغییرات ملایم بادها، الگوی بارش تغییر چندانی نمی‌کند، اما منجر به خشک شدن مناطق خشک (به طور کلی در سراسر نیمه‌گرمسیری) و مرطوب‌تر شدن مناطق مرطوب، به ویژه در عرض‌های جغرافیایی متوسط تا بالا می‌شود. با بارندگی بیش‌تر به ازای هر واحد حرکت رو به بالا در اتمسفر، گردش اتمسفر ضعیف می‌شود و باعث تزلزل بادهای موسمی می‌شود (ترنبرث، ۲۰۱۱: ۱۲۳).

بارش زمانی به وقوع می‌پیوندد که هوای مرطوب و عامل صعود هر دو با هم در منطقه‌ای وجود داشته باشند صعود هوای مرطوب برای ایجاد بارش به عوامل مختلفی نظیر چرخندگی، همرفت و ناهمواری بستگی دارد و بر اساس این عوامل صعود، بارش را به انواع جداگانه‌ای تقسیم‌بندی می‌کنند که این عوامل عبارتند از: بارش جبهه‌ای یا سیکلونی، بارش همرفتی و بارش کوهستانی (کاویانی و علیجانی، ۱۳۹۳: ۲۵۴). به هرگونه رطوبت متراکم‌شده‌ای که به صورت نزولات جوی به سطح زمین وارد می‌شود بارش اطلاق می‌شود اگر همه آب موجود در جو هم‌زمان و به صورت بارش نازل شود پوششی از آب به میزان متوسط حدود ۲۷ میلی‌متر سطح کره زمین را در بر خواهد گرفت این مقدار آب حدود ۰/۰۰۱ درصد یا بعبارتی ۱۲۹۰۰ کیلومتر مکعب را از کل آب موجود در کره زمین را تشکیل می‌دهد که به صورت ابر در آسمان قابل مشاهده هستند (وحدانی، ۱۳۹۲: ۲۲۳). بنابراین الگوهای جوی برهم‌زننده می‌تواند بخش اعظمی از این منابع آبی را در قالب ریزش‌های بارش شدید و سیلاب روانه کند. یکی از مواردی که می‌تواند این نقش را انجام دهد باد است که هر گاه سرعت آن به بیش از ۳۰ متر بر ثانیه برسد رودبادهایی را ایجاد می‌کند که در اقلیم سطح زمین نقش مؤثری ایفا می‌کنند. از جمله آن می‌توان به رودباد جنب حاره‌ای و جبهه قطبی اشاره کرد که تفاوت‌هایی از نظر ارتفاع و مدار جغرافیایی باهم دارند آنها عمدتاً در تشکیل چرخندهای برون حاره و هدایت آن‌ها و همچنین ایجاد ناپایداری در جو زیرین نقش دارند و باعث صعود هوا و در صورت وجود هوای گرم و مرطوب موجب بارش می‌شوند. رودبادهای جبهه قطبی در طول فصل سرد سال هم‌زمان با

افزایش بارش‌های ایران بر قسمت‌هایی از ایران مسلط می‌شود و یک ارتباطی باهم دارند (سلیقه، ۱۳۹۶: ۳۲). در همه رودبادها مقدار بارش در سمت شمالی رودباد، یعنی در زیر منطقه خروجی سمت چپ هسته سرعت، بیش‌تر از جاهای دیگر است احتمال بارش در جنوب رودبادهای همراه با فرودبادهای غربی بیش‌تر از رودبادهای نسبتاً مستقیم است اگرچه در هر دو حالت، گسترش منطقه بارش به طرف شمال رودباد بیش‌تر است (کاوایانی و علیجانی، ۱۳۹۳: ۲۵۶).

مطالعاتی در این زمینه در داخل و خارج از کشور ایران انجام گرفته از جمله: فرج‌زاده و همکاران (۱۳۸۶)، موقعیت رودباد را در رابطه با سامانه‌های بارشی غرب کشور مورد تحلیل قرار دادند. با بررسی نقشه‌های سینوپتیکی آن‌ها دریافتند که مسیرهای رودباد در روزهای آغاز و حداکثر بارش، انحنای سیکلونی پیدا نموده و متمرکز می‌شوند و زمانی که رودباد سطوح ۳۰۰ هکتوپاسکال به مناطق مورد مطالعه نزدیک بوده بیش‌ترین اعمال اثر را داشته است. قائدی و همکاران (۱۳۹۰)، تأثیر فرود دریای سرخ بر بارش ایران را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها با روش تحلیل خوشه‌ای فرود دریای سرخ سه الگوی میانی، باختری و خاوری را شناسایی نمودند و نتیجه گرفتند بیش‌ترین پهنه و درصد افزایش بارش در زمان وقوع الگوی میانی فرود دریای سرخ، مربوط به اردیبهشت و خردادماه، در زمان الگوی باختری مربوط به بهمن و اسفندماه، و در زمان الگوی خاوری مربوط به اردیبهشت و مهر ماه بوده است. آروین و همکاران (۱۳۹۴)، تأثیر رودباد جنب‌حاره‌ای بر بارش‌های بیش از ده میلی‌متر را در حوضه زاینده‌رود مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها الگوهای بارش را با استفاده از روش تحلیل عاملی و خوشه‌ای سلسله‌مراتبی به ۵ الگو طبقه‌بندی نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد الگوی غالب در وقوع بارش‌های بیش از ده میلی‌متر قرارگیری چپ خروجی رودباد جنب حاره‌ای بر روی دامنه فرازش موج کوتاه باد غربی است و زمانی که هسته رودباد جنب‌حاره‌ای بر روی ناوه بادهای غربی و بر روی دریای سرخ قرار بگیرد بارش‌ها شدت می‌یابد.

سعیدآبادی و همکاران (۱۳۹۴)، موقعیت رودباد جبهه قطبی را در ارتباط با بارش‌های سنگین و شار رطوبت ترازهای پایین غرب ایران مورد بررسی قرار دادند و چهار الگو را در این زمینه شناسایی نمودند در همه الگوها در روز رخداد بارش، ناحیه چپ خروجی هسته رودباد جبهه قطبی بر فراز آسمان غرب ایران قرار گرفته است. نتایج کار آن‌ها همچنین نشان داد در روز رخداد بارش، محور هسته رودباد در منطقه مورد مطالعه دچار انحنای نصف‌النهاری شده است که از دو جنبه به صعود شدید هوا کمک نموده است. منابع تغذیه‌کننده رطوبتی این بارش‌ها دریای عرب سپس دریای سرخ، خلیج فارس و دریای عمان بوده است. دارند (۱۳۹۴)، به بررسی بسامد رخداد رودبادها هنگام بارش‌های سیل آسای استان کردستان پرداخت. ایشان برای شناسایی رخداد بارش‌های سنگین دو شرط گذاشتند: ۱- حداقل نیمی از ایستگاه‌ها بارش دریافت کرده باشند ۲- میانگین بارش ایستگاه‌ها بیش از میانگین صدک ۹۸ام بارش طی دوره مورد پژوهش باشد. نتایج فراوانی رخداد رودبادها نشان داد به هنگام رخداد

بارش های سنگین استان در فصل مرطوب رودبادها تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال کشیده شده اند و هسته بیشینه این رودبادها در شمال و شمال شرق عربستان قرار می گیرد. در تمام دیده بانی ها استان کردستان در قطاع چپ خروجی رودباد، جایی که واگرایی و ناپایداری در جو رخ می دهد، قرار دارد و محور خروجی به صورت مایل به سمت نیمه غربی کشور کشیده شده است.

ذکی زاده و همکاران (۱۳۹۷)، به تحلیل آماری و سینوپتیکی موثرترین الگوی رودباد ایجاد کننده بارش های سنگین ایران در طی دوره آماری ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۸، پرداختند آن ها با تحلیل عاملی روی داده های سرعت باد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال ۸ مؤلفه اصلی را تبیین نمودند و با روش خوشه ای روی این نمرات این مؤلفه ها هشت الگوی غالب رودباد بر روی ایران را شناسایی نمودند سپس با انتخاب روز نماینده و تحلیل آن ها نشان دادند در الگوی چهارم استقرار رودباد قوی با سرعت ۶۵ متر در ثانیه در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال در جنوب ایران به همراه تشکیل ناوه سردچالی بر روی دریای خزر شرایط را برای همگرایی سطوح پایین تر اتمسفر ایران مهیتر کرده و نفوذ رطوبت از دریای مدیترانه به همراه شرایط ناپایداری حاصل از اتمسفر سطوح بالایی باعث ریزش باران فراگیر در ایران شده است. خوش اخلاق و ماهوتچی (۱۳۹۸)، بارش های تندری مخرب در مشهد را مورد واکاوی همیدی قرار دادند آن ها داده های بارش بیش از ۱۰ میلی متر را به عنوان فرین مشخص کردند و با تحلیل عاملی و خوشه ای بر روی داده های میانگین فشار تراز دریا، دو الگوی کلی را شناسایی نمودند در الگوی اول سامانه های کم فشاری بر فراز ایران واقع گشته و شرایط چرخندی هوا و شار رطوبت از جنوب کشور بارش های تندری را به همراه داشته است. در الگوی دوم سامانه های سودانی با عبور از دریای عمان و خلیج فارس باعث فرافت رطوبت به سمت منطقه مورد مطالعه شده و قرارگیری منطقه در هردو الگو در جلوی ناوه بادهای غربی عوامل دینامیک صعود و بارش شدید را در پی داشته است.

سلیمانی زاده و همکاران (۱۳۹۹)، به مطالعه بارش های فرین در استان تهران پرداختند و روزهایی که مقدار بارش آن ها برابر یا بالاتر از صدک ۹۵م در دوره آماری ۳۰ ساله در شهر تهران بودند را به عنوان بارش فرین انتخاب نمودند و نشان دادند این بارش ها ناشی از دو الگو بوده است. الگوی اول سامانه پرفشار روی دریای خزر بوده که پشته آن مرکز ایران را در بر گرفته و الگوی نوع دوم مراکز پرفشار شمال غرب دریای مدیترانه و آسیای مرکزی همراه با نفوذ شمال سوی ناوه فشاری دریای سرخ در راستای نصف النهاری تا شرق دریای مدیترانه و ترکیب آن با کم فشار دینامیکی شرق مدیترانه بوده است. همچنین جنوب غربی شدن جریانات جت جنب حاره و عبور هسته آن از روی شهر تهران و گسترش نصف النهاری جت قطبی تا روی دریای مدیترانه در ازدیاد بارش ها نقش مؤثری داشته است. پژوه (۱۳۹۹)، به شناسایی الگوهای رودباد موثر در بارش های سیل خیز فصل سرد نیمه جنوبی ایران پرداخت. ایشان با در نظر گرفتن دو شرط فراگیری بیش از ۵۰ درصد و بارش های بیش از صدک ۹۵ درصد هر ایستگاه، ۶۱ روز بارش سنگین و فراگیر جهت بررسی همدید انتخاب کردند سپس با استفاده از روش تحلیل

مؤلفه‌های مبنا بر روی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال طی ۶۱ روز بارش منتخب، ۱۲ عامل که بیش از ۹۰ درصد پراش داده‌ها را تبیین نموده را استخراج نمودند و با اعمال روش تحلیل خوشه‌ای Ward بر روی نمرات عامل‌ها، چهار الگوی مؤثر بر آرایش رودبادهای شناسایی گردید. نتایج نشان داد که رودبادهای جنوب‌غربی با تقویت همگرایی سطحی و میدان واگرایی در سطوح بالای وردسپهر و به تبع آن توسعه کم‌فشار سطحی و ناوه سطوح میانی وردسپهر، نقش مهمی در رخداد بارش‌های سنگین و فراگیر نیمه جنوبی کشور داشته است.

بادنر^۱ و جانسون^۲ (۱۹۵۷)، ارتباط میان رودبادهای بارش‌های سنگین آمریکا در روزهای ۴ تا ۹ ماه فوریه سال ۱۹۵۷ مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که رودبادهای ناپایدار کردن جو و کاهش فشار در منطقه زیرین گردش چرخندی و صعود هوا را به دنبال خواهد داشت. چانگنون^۳ و همکاران (۱۹۹۱)، تغییرات بارش در فصول بهار، پاییز و زمستان را در سنت لوئیس مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند آن‌ها با بررسی ۴۴۳ رویداد بارشی به این نتیجه دست یافتند مقدار بارندگی بهاری در پایین باد تنها ۴ درصد افزایش یافته است در حالی که در فصل پاییز مقدار بارش حدود ۱۷ درصد در پایین باد سنت‌لوئیس افزایش را نشان داده است. در فصل زمستان هم هنگامی که بادهای پیش از رویداد SW وجود داشت افزایش آماری معنی‌داری در بارش زمستانی در بادهای پایین وجود داشته است. جانسون^۴ و چن^۵ (۲۰۰۳)، تأثیر باد و توپوگرافی بر توزیع بارندگی در سوئد را مورد واکاوی قرار دادند آن‌ها از داده‌های بارش ۱۵ سال آماری ۳۷۰ ایستگاه سینوپتیک در سوئد استفاده نمودند و این داده‌ها را به ۴۸ کلاس که جهت‌های باد و سرعت باد مختلف را نشان می‌دهند تقسیم کردند و به این نتیجه دست یافتند که با افزایش سرعت باد بارش افزایش یافته اما در سمت بادگیر کوهستانی این تأثیر به همان میزان قبلی نبوده است.

جانسون^۶ و دانیلز^۷ (۲۰۰۶)، در تحقیق خود با عنوان بارش‌های مرتبط با رودبادهای، به این نتیجه دست یافتند که توزیع میانگین بارش در ۴ ایستگاه انگلستان متأثر از رودبادهاست و تاوایی در قسمت ورودی و خروجی رودبادهای بارش‌های دریافتی متفاوتی را خواهد داشت. یان^۸ و همکاران (۲۰۱۱)، رابطه میان رودبادهای اطلس شمالی و فرارفت حاره‌ای روی هند و اقیانوس آرام غربی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در مقیاس زمانی دهه‌ای افزایش عمده‌ای در فراوانی رخداد بارش طی سال‌های ۱۹۵۸ تا ۱۹۷۹ و ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۱ بر روی اقیانوس

1 - Badner

2 - Johnson

3 - Changnon

4 - Johansson

5 - Chen

6 - Jhonson

7 - Danilas

8 - Yuan

آرام غربی رخ داده است. فیدلر^۱ و بوکوفسکی^۲ (۲۰۱۱)، برای مطالعه اثر یک مزرعه بادی غول پیکر بر بارش فصل گرم در دو سوم شرقی ایالات متحده از مدل تحقیق و پیش بینی آب و هوا (WRF) استفاده کردند آن‌ها بیان داشتند در میانگین بارش فصول گرم ۶۲ سال، افزایش آماری معنی دار ۰/۱ درصدی بارش در منطقه چند ایالتی اطراف و در جنوب شرقی مزرعه بادی وجود دارد.

ویترز^۳ و مارتین^۴ (۲۰۱۴)، نقش برهم نهی جت قطبی نیمه گرمسیری در سیل ماه مه ۲۰۱۰ در نشویل را مورد مطالعه قرار دادند و با استفاده از معادله گردش ساویر-لیاسن، آنالیز نشان دادند که شار رطوبت به سمت قطب متناسب به جت تقریباً ۱۲۰٪ قبل از روز دوم رویداد در پاسخ به گردش ژئوستروفیک جت افزایش یافته است و به تولید بیش تر بارش‌های سنگین کمک نموده است. علاوه بر آن شرایط توپوگرافی زمین نیز باعث صعود توده هوا به لایه‌های میانی تروپوسفر گشته و باعث همرفت عمیق و بارش شده است. هوانگ^۵ و همکاران (۲۰۱۵)، تأثیر جت نیمه گرمسیری شرق آسیا و جت جبهه قطبی بر فراوانی بارندگی مداوم بهاری بر فراز جنوب چین در سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۱۱ را مورد مطالعه قرار دادند و اشاره داشتند یک رابطه نزدیک بین فرکانس بارش بهاری با جت نیمه گرمسیری شرق آسیا وجود دارد بدین‌طور که بخار آب فراوان توسط جریان جنوب غربی به جنوب چین منتقل می‌شود که ممکن است بارش‌های بهاری (SPR) را تحریک کند. علاوه بر این بررسی بیش تر اثر همزمان نشان‌دهنده همبستگی مثبت معنی دار بین فرکانس‌های SPR و پیکربندی جت نیمه گرمسیری جنوب شرق آسیا قوی و جت جبهه قطبی ضعیف است. در ارتباط با این پیکربندی، جریان جنوب غربی در تروپوسفر پایینی تقویت می‌شود در حالی که باد شمالی در تروپوسفر فوقانی ضعیف می‌شود و یک شرایط پویا و مرطوب را فراهم می‌کند که با تشدید همگرایی بخار آب فراوان در جنوب چین منجر به بارش‌های بهاری می‌شود.

مارتیوس^۶ و همکاران (۲۰۱۶)، وقوع همزمان بارش شدید و باد را مورد مطالعه قرار دادند آن‌ها از داده‌های تحلیل مجدد ERA-Interim استفاده نمودند و هم‌چنین برای تعیین تغییرات قابل توجه در بارندگی شدید با توجه به شدت باد از مدل رگرسیون لجستیک استفاده کردند و بیان داشتند درصد بالایی از باد و بارش شدید در نواحی ساحلی و در مناطقی با طوفان‌های استوایی مکرر، با حداکثر بیش از ۵۰ درصد رویدادهای همزمان مشاهده می‌شود. تغییرات شدید مقیاس منطقه‌ای در این درصد مربوط به برهمکنش سیستم‌های آب‌وهوایی با توپوگرافی است که منجر به بادهای فوهن، بادهای شکاف و خشک شدن کوه‌نگاری و ساختار و مسیر طوفان‌های فراگرمسیری و گرمسیری می‌شود.

1 - Fiedler

2 - Bukovsky

3 - Winters

4 - Martin

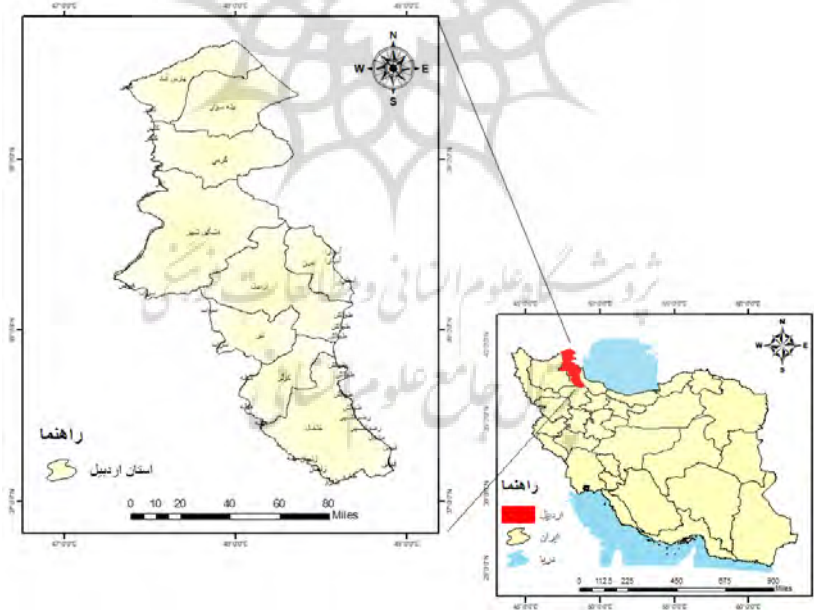
5 - Huang

6 - Martius

با توجه به تحقیقات صورت گرفته نقش باد در وقوع بارش‌های سنگین بسیار پررنگ بوده و به نوعی بادهای حدی پیام‌آور حوادث طبیعی چون رگبار و سیل ناشی از بارش سنگین می‌باشند و اهمیت این موضوع بیش‌تر در مناطقی که اقلیم خشک و نیمه‌خشک و وضعیت توپوگرافی متفاوتی دارد زیادت‌تر بوده و باید با شناخت عوامل جوی آن را پیش‌بینی نمود و حتی با شناسایی رفتار هر پدیده اقلیمی در اجرای برنامه‌های اقتصادی استفاده نمود.

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل بخشی از فلات مثلثی شکل ایران در شرق فلات آذربایجان واقع شده است. حدود دو سوم خاک آن بافت کوهستانی با اختلاف ارتفاع زیاد و بقیه را مناطق هموار و پست تشکیل داده است. این استان مساحتی حدود ۱۷۹۵۳ کیلومترمربع تقریباً ۱/۰۹ درصد از مساحت کل کشور را دارد. ارتفاعاتی همچون سبلان (۴۸۱۱ متر)، کوه‌های طالش و قوشه‌داغ در غرب سبلان، بزغوش در جنوب و جنوب‌غرب آن (۲۲۰۰ متر)، رشته‌کوه پلنگان در حوالی دریاچه نئور و قله آق‌داغ (۳۳۲۲ متر)، اقلیم این استان متأثر از آن‌ها از ویژگی‌های خاصی برخوردار است (عساکره و همکاران، ۱۳۹۷: ۷۰). شکل ۱، موقعیت جغرافیایی استان اردبیل را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان اردبیل (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

در جدول ۱، مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل آورده شده است:

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل

| ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع |
|-----------|---------------|---------------|--------|
| اردبیل | ۳۸/۲۱ | ۴۸/۳۲ | ۱۳۳۵ |
| بیله‌سوار | ۳۹/۳۶ | ۴۸/۳۱ | ۱۰۱/۴ |
| پارس‌آباد | ۳۹/۶۰ | ۴۷/۷۷ | ۷۲/۶ |
| خلخال | ۳۷/۶۰ | ۴۸/۵۳ | ۱۷۹۷/۴ |
| سرعین | ۳۸/۱۴ | ۴۸/۰۸ | ۱۶۵۸/۳ |
| فرودگاه | ۳۸/۳۳ | ۴۸/۴۱ | ۱۳۱۴/۳ |
| فیروزآباد | ۳۷/۵۸ | ۴۸/۲۳ | ۱۱۷۵/۵ |
| گرمی | ۳۹/۰۵ | ۴۸/۰۵ | ۷۴۹ |
| مشکین‌شهر | ۳۸/۳۷ | ۴۷/۶۷ | ۱۵۶۰/۶ |
| نمین | ۳۸/۴۲ | ۴۸/۴۹ | ۱۴۸۰/۲ |
| نیر | ۳۸/۰۳ | ۴۸/۰۲ | ۱۵۹۳ |

مأخذ: اداره هواشناسی کل (۱۴۰۱)

روش تحقیق

در این تحقیق با رویکرد محیطی به گردشی سعی در شناخت ارتباط بارش‌های سنگین با بادهای حدی در استان اردبیل شد. در همین راستا ابتدا داده‌های پارامتر بارش و میانگین سرعت باد روزانه و سرعت و جهت باد ۳ ساعته از اداره هواشناسی کل برای یازده ایستگاه سینوپتیکی واقع در استان اردبیل برای دوره آماری ۱۳ ساله (۲۰۰۹-۲۰۲۱) دریافت گردید. از آنجایی که پدیده‌های جغرافیایی همچون بارش از صدک ۹۵ درصد یک نقطه بزرگ‌تر باشد به عنوان فرین اقلیمی محسوب می‌شود (سلیقه، ۱۳۹۶: ۱۶۵). لذا این معیار در انتخاب روزهای نماینده در نظر گرفته شد و حد آستانه بارش و باد برای هر شهر مشخص گردید. طبق مقادیر به‌دست آمده توزیع مجموع فراوانی هر کدام از فصول و ماه‌های سال‌های آماری مورد مطالعه مشخص گردید و در نرم‌افزار اکسل گلباد تمامی جهات بادهای فرین دوره آماری مذکور ترسیم گردید. در جهت انجام تحلیل سینوپتیکی شرط انتخاب روز نماینده برای هر ایستگاه سینوپتیکی وقوع همزمانی بارش و باد حدی بر حسب صدک ۹۵ درصد در نظر گرفته شد. در جهت نمایش توزیع بارش از داده NETCDF مربوط به ماهواره TRMM استفاده گشت و تراکم بارش در سطح ایران و استان اردبیل در نرم‌افزار GIS ترسیم گشت. به منظور مشخص شدن سرعت و جهت باد مهاجم از نرم‌افزار گلباد استفاده گشت داده مورد استفاده در این نرم‌افزار به صورت دیده‌بانی سه‌ساعته بوده که در طول شبانه روز

مجموعاً هشت بار مقادیر مربوط به سرعت و جهت باد در ایستگاه‌های سینوپتیکی گزارش شده است. در ادامه کار به منظور تحلیل سینوپتیکی از داده‌های NCEP-NCAR مربوط به سایت مرکز ملی پیش‌بینی محیطی آمریکا با شبکه جهانی ۲/۵ در ۲/۵ درجه استفاده گشت و با برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار گرس نقشه‌های ترکیبی فشار تراز دریا با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، سرعت باد تراز ۲۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، آب قابل بارش و وزش رطوبتی، شار رطوبت با استریم باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه جبهه‌زایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و هاف‌مولر نم ویژه نوع سوم که در آن طول و عرض جغرافیایی ثابت و زمان و ارتفاع متغیر در نظر گرفته شد ترسیم گردیدند.

در جدول ۲، روزهای نماینده به همراه مقدار بارش و باد گزارش شده برای هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیکی آورده شده است:

جدول ۲- روزهای نماینده ایستگاه‌های سینوپتیکی استان اردبیل

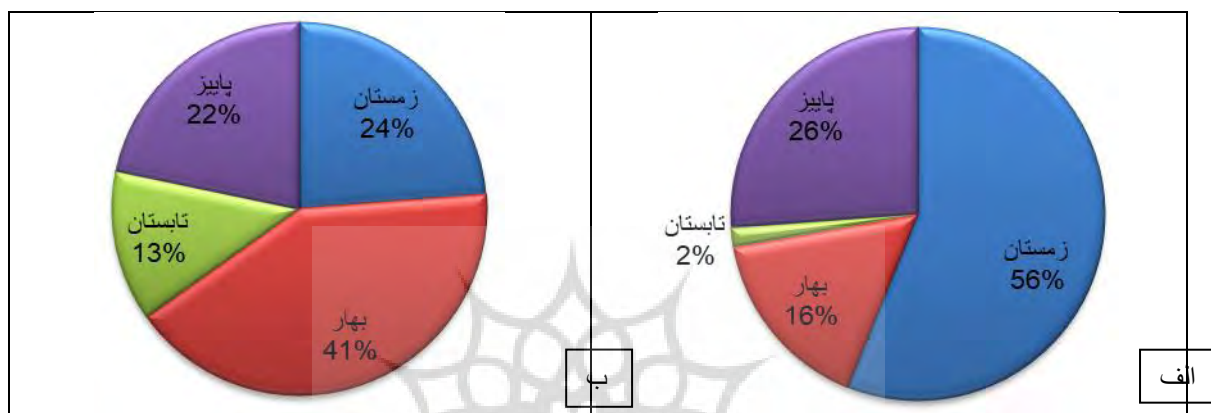
| ایستگاه | بارش (میلی‌متر) | باد (نات بر ثانیه) | تاریخ (میلادی) |
|-----------|-----------------|--------------------|----------------|
| اردبیل | ۱۰ | ۱۰/۲۵ | ۲۰۱۶/۱۲/۲ |
| بيله‌سوار | ۲۵ | ۱۲/۲ | ۲۰۱۰/۲/۵ |
| پارس‌آباد | ۱۷ | ۸/۳۷ | ۲۰۱۵/۱۲/۳ |
| خلخال | ۱۷ | ۸/۱۲ | ۲۰۱۲/۳/۱۷ |
| سرعین | ۷ | ۹/۸ | ۲۰۱۵/۱۱/۱۷ |
| فرودگاه | ۱۵ | ۹/۶۲ | ۲۰۱۴/۱۰/۱۹ |
| فیروزآباد | ۱۹ | ۹ | ۲۰۱۲/۶/۱۸ |
| گرمی | ۳۹ | ۸/۲ | ۲۰۱۲/۹/۱۱ |
| مشکین‌شهر | ۷ | ۱۱/۸۵ | ۲۰۱۸/۳/۲۵ |
| نمین | ۲۰ | ۱۱/۸ | ۲۰۱۹/۸/۲۷ |
| نیر | ۶/۸ | ۱۱/۷۵ | ۲۰۱۷/۱۰/۸ |

مأخذ: اداره هواشناسی کل (۱۴۰۱)

یافته‌های تحقیق

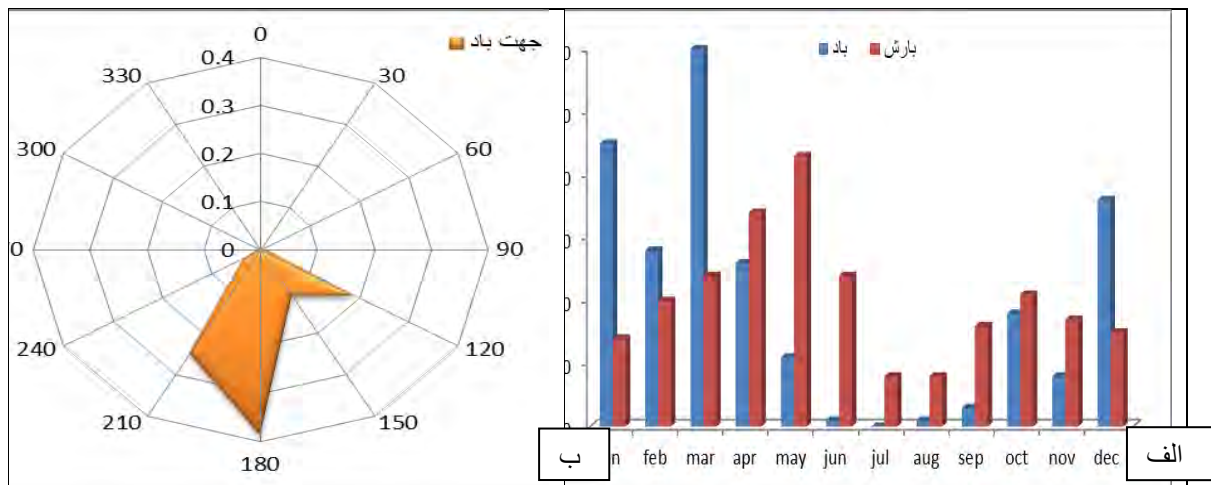
بر اساس آمار هواشناسی ۱۳ ساله (۲۰۰۹-۲۰۲۱) و بر حسب صدک ۹۵ درصد حد آستانه فرین پارامتر بارش برای ایستگاه سینوپتیکی مشکین‌شهر مقدار ۷ میلی‌متر و برای پارامتر باد ۶/۸۱ نات بر ثانیه به‌دست آمد. شکل ۲، توزیع فصلی فراوانی باد حدی (الف) و بارش فرین (ب) را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است فراوانی

پارامتر باد در طی فصول سال به ترتیب در فصل زمستان ۵۶ درصد، پاییز ۲۶ درصد، بهار ۱۶ درصد و تابستان ۲ درصد بوده است. پراکندگی اغلب بادهای حدی در فصل زمستان بیش تر به خاطر نفوذ جبهه قطبی به عرض های پایین در این فصل بوده است. فراوانی بارش حدی نیز نشان می دهد توزیع آن در فصل بهار با ۴۱ درصد بیش ترین تعداد را داشته و بعد از آن زمستان ۲۴ درصد، پاییز ۲۲ درصد و تابستان ۱۳ درصد به ترتیب در رتبه های بعدی قرار گرفته اند.



شکل ۲- توزیع فصلی فراوانی باد (الف) باد حدی و (ب) بارش فرین ایستگاه سینوپتیک مشکین شهر در دوره آماری (۲۰۰۹-۲۰۲۱)

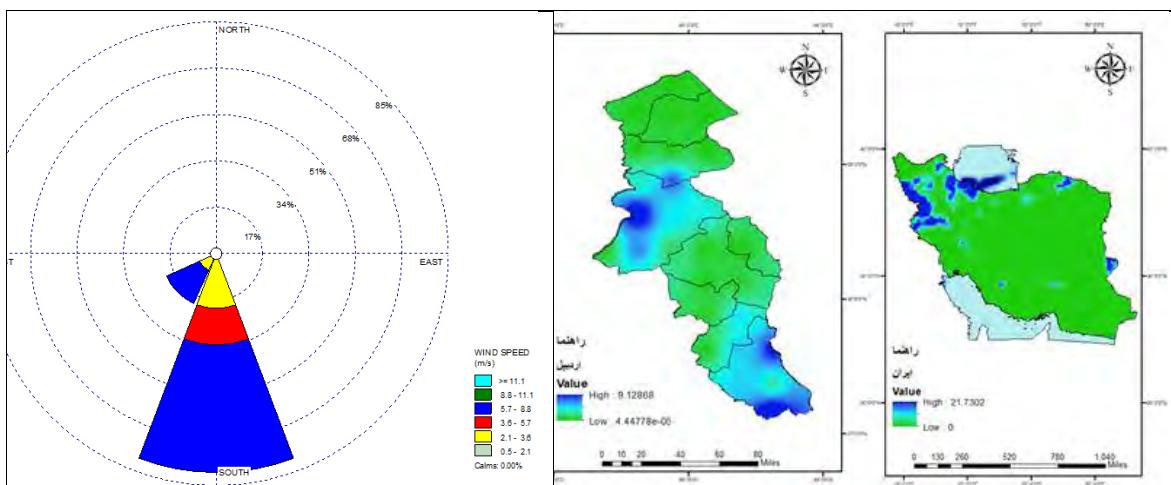
بر اساس آمار هواشناسی ۱۳ ساله (۲۰۰۹-۲۰۲۱) و بر حسب صدک ۹۵ درصد در شکل ۳ قسمت الف، توزیع ماهیانه پارامتر بارش و باد حدی را در طی دوره آماری مورد مطالعه نشان می دهد که مطابق آن بیش ترین فراوانی بارش در ماه می (اردیبهشت) و بیش ترین فراوانی باد در ماه مارس (اسفند) رخ داده و در شکل سمت چپ جهت حداکثر سرعت بادهای فرین را به شهر مشکین شهر نشان می دهد که هجوم این بادهای اغلب از سمت جنوب یعنی زاویه ۱۸۰ درجه بوده است.



شکل ۳- توزیع ماهانه فراوانی الف) بارش فرین و باد حدی و ب) جهت غالب بادهای فرین ایستگاه سینوپتیک

مشکین شهر در دوره آماری (۲۰۲۱-۲۰۰۹)

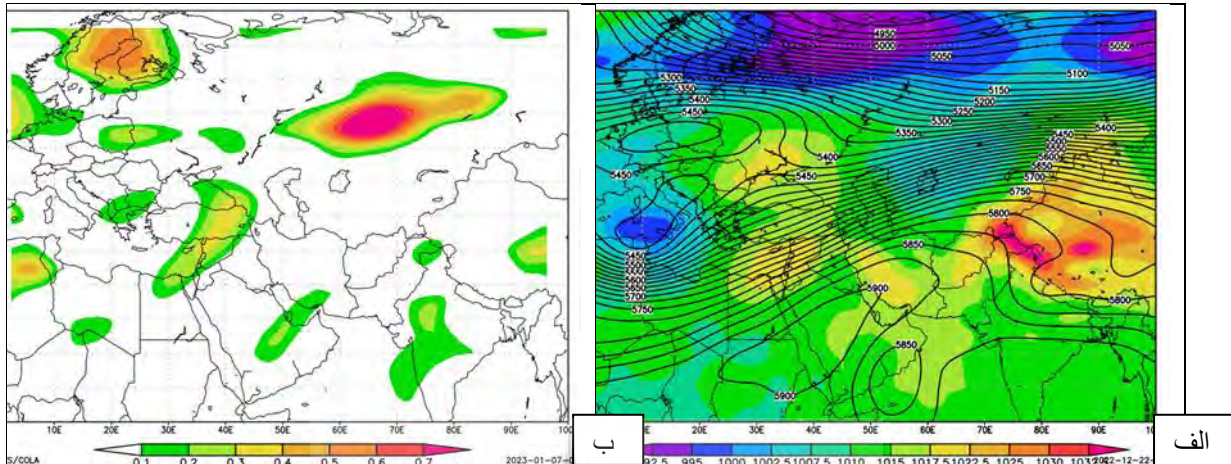
بر اساس داده به دست آمده از ماهواره Trmm تراکم بارش در سطح ایران و استان اردبیل در روز ۲۵ مارس ۲۰۱۸ قسمت الف از شکل ۴، مشاهده می شود. همانطور که نمایان است در این روز در قسمت هایی از شمال و شمال غرب ایران ما شاهد رخداد بارش سنگین بیش از ۲۱ میلی متر بوده ایم توزیع این پدیده در سطح استان اردبیل بیش تر در شهر مشکین شهر و خلخال قابل مشاهده است همانطور که در ایستگاه سینوپتیکی مشکین شهر بارشی به میزان ۷ میلی متر به ثبت رسیده است با توجه به نقشه مربوطه این میزان بارش در بخش هایی از استان از ۹ میلی متر تجاوز کرده است. در شکل سمت چپ سرعت و جهت باد روز مورد بررسی در نرم افزار گلباد به نمایش در آمده و مشخص است که بیش تر هجوم باد از سمت جنوب شهر مشکین شهر بوده که بیشینه سرعت آن بالاتر از ۱۱ متر بر ثانیه بوده است. این در حالی است که در ایستگاه مزبور مقدار سرعت باد ۱۱/۸۵ متر بر ثانیه گزارش شده است.



شکل ۴- الف) نقشه تراکم بارش در سطح ایران و استان، و شکل ب) نقشه جهت باد حداکثر روز ۲۵ مارس ۲۰۱۸

مطابق شکل (۵) الف، نقشه ترکیبی فشار تراز سطح دریا به صورت رنگی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به صورت خطوط کنتوری برای روز ۲۵ مارس ۲۰۱۸ به تصویر در آمده و مشخص است مراکز سامانه‌های کم فشار روی دریای مدیترانه، دریاچه آرال و شمال اروپا فعال بوده و زبانه ۱۰۱۰ هکتوپاسکال کم فشار روی دریاچه آرال بر نیمه شمالی ایران و بخصوص شهر مشکین شهر گسترانده شده است. در اطراف این سامانه مراکز پرفشاری در روی چین، شمال دریای سیاه و شرق دریای مدیترانه وجود دارند که با حرکت ساعت گرد خود باعث هدایت جریان هوا به سمت سیستم کم فشار روی دریاچه آرال شده و مکش این جریانات توسط سامانه یادشده شرایط چرخندی هوا را در پی داشته است. بنابراین عامل صعود مهیا بوده و با اضافه شدن رطوبت شرایط ریزش بارش فراهم گشته است. با توجه به وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در وهله اول در می یابیم یک پدیده بلوکینگ سردچال از نوع کم فشار بریده در روی دریای مدیترانه تشکیل یافته و سبب دوشاخه شدن جریانات غربی گشته است. خطوط ارتفاع هم فشار به صورت یک ناوه بلندی در جنوب این پدیده نمایان گشته که محور آن در شمال آفریقا واقع شده است. با توجه به این که نواحی شمال غرب ایران و بخصوص منطقه مورد مطالعه در قسمت جلوی محور فرود این ناوه قرار گرفته بنابراین چرخندگی هوا مثبت بوده و به تقویت همگرایی در سطح زمین و واگرایی در ووردسپهر منتهی شده است و این عامل به تشدید ناپایداری هوا دامن زده است. با توجه به نقشه جبهه‌زایی شکل (۵) ب، در می یابیم هسته‌های جبهه‌زایی در شمال غرب ایران در مرز بین سامانه‌های کم فشار دریاچه آرال و پرفشارهای روی دریای سیاه و شرق دریای مدیترانه تشکیل یافته و دلیل آن برخورد دو جریان توده‌های

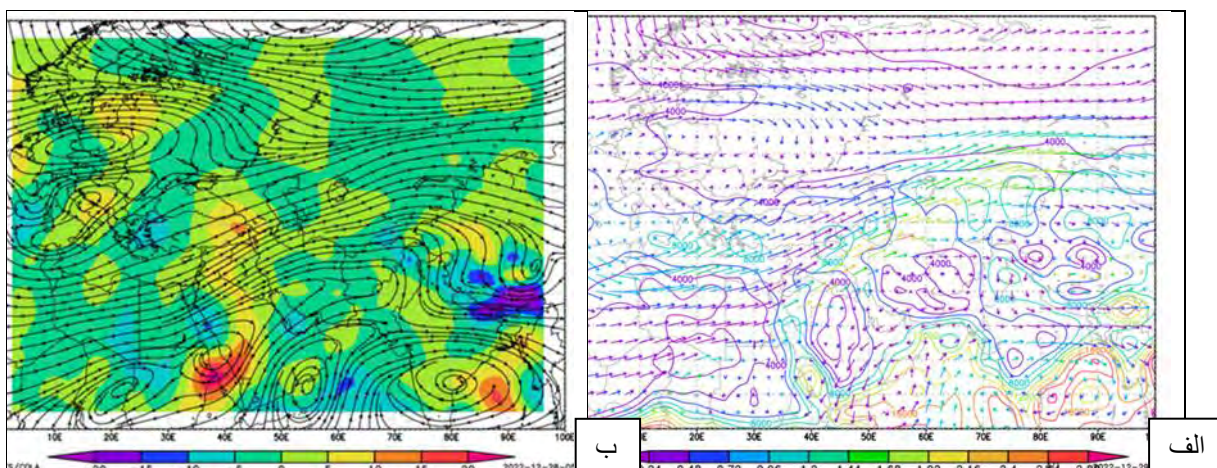
متفاوت سامانه‌های مزبور بوده که باعث فرارفت هوا در شمال غرب ایران شده است. نزدیکی منطقه مطالعاتی به این مراکز جبهه‌زایی تا حدودی از اغتشاشات آن متأثر نموده است.



شکل ۵- الف، نقشه فشار تراز دریا (رنگی)، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ب) جبهه‌زایی تراز ۵۰۰

هکتوپاسکال روز ۲۵ مارس ۲۰۱۸

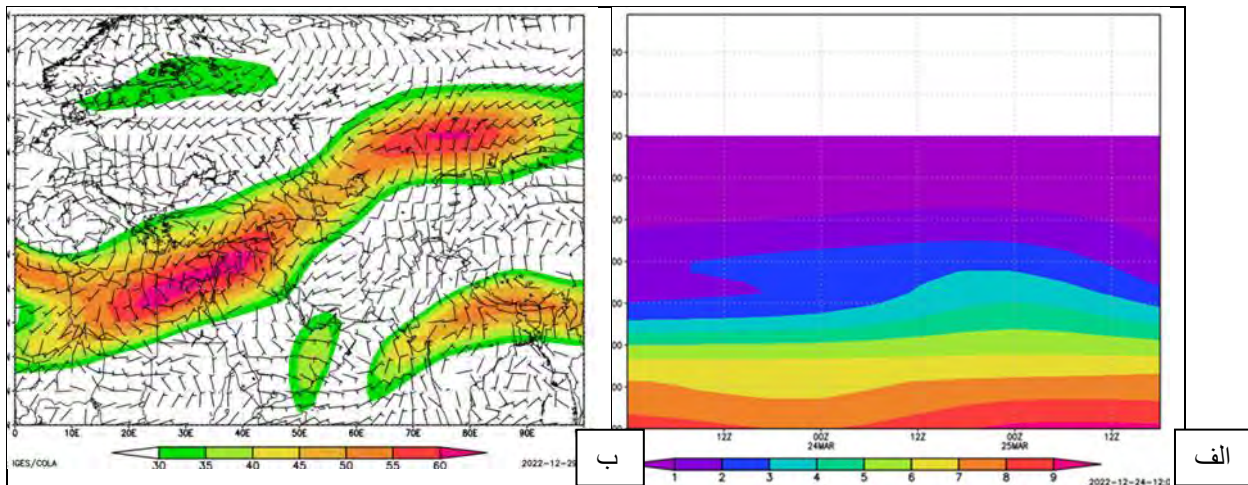
وضعیت وزش رطوبتی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به همراه آب قابل بارش را در شکل (۶) الف، مشاهده می‌کنیم که جریانات غربی طی حرکت سینوسی خود از روی دریای مدیترانه و دریای سرخ گذر نموده و این دو دریاچه تأمین‌کننده منابع آبی بارش محسوب می‌شدند. در ادامه حرکت شمال شرق سوی جریانات غربی مقدار ۱/۲ گرم در کیلوگرم رطوبت بر آتمسفر منطقه مورد مطالعه تزریق شده و هسته‌هایی از آب قابل بارش در شمال غرب ایران به میزان ۸ کیلوگرم در یک مترمربع تشکیل یافته که مقدار قابل توجهی بوده است. نقشه شار رطوبت به همراه جهت وزش باد را در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در شکل (۶) ب، ملاحظه می‌کنیم که مقادیر مثبت در شار رطوبت به معنای همگرایی و مقادیر منفی به معنای واگرایی رطوبت می‌باشد هسته‌های همگرایی رطوبت در شمال غرب ایران تشکیل یافته که بیشینه آن به ۱۵ گرم در کیلوگرم رسیده و حرکت جریان بادهای غربی در کانال ناوه در جهت شمال شرق سو باعث کشیده شدن رطوبت جوی به سمت منطقه مورد مطالعه شده است.



شکل ۶- الف، نقشه ترکیبی وزش رطوبتی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با آب قابل بارش، ب) شار رطوبت (شکل)

رنگی) و استریم باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۵ مارس ۲۰۱۸

در شکل (۷) الف، نقشه هاف مولر نم ویژه را برای ساعت صفر زولو ۲۳ مارس تا ۱۲ زولو ۲۵ مارس که در آن طول و عرض جغرافیایی ثابت در نظر گرفته شده و زمان و ارتفاع متغیر بوده است برای مختصات جغرافیایی شهر مشکین شهر را نشان می دهد. بیشترین تراکم رطوبت ویژه در ترازهای پایین سطح زمین بوده و مقدار آن به ۱۰ گرم در کیلوگرم رسیده است. درست یک روز قبل از ریزش بارش سنگین بر مقدار نم ویژه افزوده شده و به دلیل تراکم زیاد رطوبت و صعود هوا مشاهده می شود یک برآمدگی در تراز ۶۰۰ تا ۸۰۰ هکتوپاسکال در ابتدای روز اوج بارش به وجود آمده است. در نقشه آخر شکل شماره (۷) ب، وضعیت سرعت باد در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال به صورت رنگی و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال به صورت میله خاردار مشاهده می شود همانطور که معلوم است باد در کانال ناوه به مانند یک تونل با سرعت هرچه تمام حرکت کرده و بیشینه سرعت آن در جلوی محور ناوه به ۷۰ متربرثانیه رسیده است. کشیده شدن رودباد در جهت شمال شرقی به صورت یک کمربندی به هم پیوسته باعث شده مراکز غرب، مرکز و شمال غرب ایران زیر هجوم آن قرار بگیرد و منطقه مورد مطالعه سرعت بادی به میزان ۵۵ متربرثانیه را تجربه نماید و این عامل باعث هدایت سریع تر منابع رطوبتی به سمت منطقه گشته و هم چنین به تشدید ناپایداری هوا دامن زده است. مجموع شرایط فوق الذکر منجر به ریزش بارش سنگین در روز مورد بررسی شده است.



شکل ۷- الف) نقشه هاف مولر نم‌ویژه نوع سوم ب) سرعت باد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال (شکل رنگی) و سرعت باد سطح زمین (میله‌های خاردار) شکل) برای روز ۲۵ مارس ۲۰۱۸

نتیجه‌گیری

این کار تحقیقی بر مبنای رویکرد محیطی به گردش درصدد یافتن ارتباط نقش بادهای حدی در ریزش بارش‌های سنگین در استان اردبیل بوده است. نتایج تحلیلی ایستگاه سینوپتیکی مشکین‌شهر به عنوان نمونه کار تحقیقی و رعایت اختصار در این مقاله آورده شد. بر حسب صدک ۹۵ درصد نشان داده شد حد آستانه فرین پارامتر بارش مقدار ۷ میلی‌متر و برای پارامتر باد ۶/۸۱ نات بر ثانیه بوده است. نتایج حاصل از بررسی‌های آماری نشان داد بیش‌ترین فراوانی باد در طی فصول سال به ترتیب در فصل زمستان ۵۶ درصد، پاییز ۲۶ درصد، بهار ۱۶ درصد و تابستان ۲ درصد رخ داده و از بین ماه‌های میلادی ماه مارس (اسفند) از این حیث رکورددار بوده است. جهت حداکثر سرعت باد این‌روزهای فرین نیز نشان داد اغلب از سمت جنوب مشکین‌شهر وارد شهر شده‌اند. فراوانی بارش سنگین نیز نشان داد فصل بهار با ۴۱ درصد بیش‌ترین تعداد بارش را در بر داشته و بعد از آن فصل زمستان ۲۴ درصد، پاییز ۲۲ درصد و تابستان با ۱۳ درصد به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند و از بین ماه‌های میلادی ماه می (اردیبهشت) بیش‌ترین تعداد بارش حدی را به ثبت رسانده است.

نتایج نقشه به‌دست آمده از داده ماهواره TRMM نشان داد تجمع بارش در روز مورد مطالعه بیش‌تر در شهرهای مشکین‌شهر و خلخال متمرکز بوده و بارشی به میزان ۷ تا ۹ میلی‌متر در این مناطق روی داده است. وضعیت فشار تراز دریا بدین‌گونه بوده که یک سامانه کم‌فشاری بر روی دریاچه آرال تشکیل یافته و زبانه ۱۰۱۵ هکتوپاسکال آن

بر فراز منطقه مورد مطالعه کشیده شده و وضعیت چرخندی هوا در منطقه وجود داشته است. حاکمیت سامانه‌های پرفشاری در شمال دریای سیاه و شرق دریای مدیترانه و به تبع حرکت برونگرد آن‌ها باعث هدایت جریانات غربی به سمت شرق شده و مکش این جریانات توسط کم‌فشار مذکور باعث هدایت این جریانات به سمت منطقه مورد مطالعه گشته است. وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد منطقه مورد مطالعه در جلوی محور ناوه بلند شمال آفریقا قرار گرفته و چرخندگی مثبت هوا به تقویت واگرایی در ورود سپهر منجر شده است. این کانال ناوه مسیر جریانات غربی را به خوبی تعیین نموده است. با توجه به نقشه جبهه‌زایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال دریافتیم هسته جبهه‌زایی در روی ترکیه ایجاد شده درست جایی که مرز سامانه کم‌فشار و پرفشار مذکور بوده است. نزدیکی منطقه مورد مطالعه به نواحی جبهه‌زایی باعث شده از اغتشاشات جوی بی‌بهره نباشد و جوی ناآرام را در پی داشته باشد. در نقشه‌های مربوط به وزش رطوبتی و آب قابل بارش معلوم گشت منبع تغذیه رطوبتی بارش رخ داده از دریای مدیترانه و دریای سرخ بوده که توسط موج بلند بادهای غربی به سمت منطقه مورد مطالعه روانه گشته و مقدار ۱/۲ گرم در کیلوگرم رطوبت بر آتمسفر منطقه تزریق نموده و هسته‌هایی از آب قابل بارش در شمال غرب ایران با مقدار ۸ تا ۱۰ کیلوگرم در یک مترمربع تشکیل یافته است و آسمانی ابرناکی را شاهد بوده‌ایم. حرکت شمال شرق سوی جریان بادهای غربی که در کانال ناوه حرکت داشته‌اند باعث شار رطوبت منابع آبی مذکور و هسته‌های هم‌گرایی رطوبت شمال غرب ایران به منطقه مورد مطالعه شده که این وضعیت در نقشه‌های شار رطوبت و استریم باد آشکار است. وضعیت سرعت باد نیز به گونه‌ای بوده که یک نواری کم‌رندی شکل و به هم پیوسته از هسته‌های رودباد در شمال آفریقا تا مرکز آسیا به وجود آمده و شمال غرب ایران را تحت پوشش خود قرار داده‌اند و منطقه مورد مطالعه سرعت بادی به میزان ۵۵ متربرثانیه را در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال تجربه نموده است. وضعیت هاف‌مولر نم ویژه نوع سوم نیز نشان داد با همکاری عوامل جوی میزان تجمع رطوبت در روز اوج بارش به بیشینه خود رسیده و به عرض‌های بالاتر نیز کشیده شده است. بیشینه آن به مقدار ۱۰ گرم در کیلوگرم در عرض‌های پایین بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده به اهمیت نقش باد در ریزش بارش‌های سنگین پی می‌بریم و این موضوع توسط محققین دیگر اثبات شده نظیر: نتایج کار فرج‌زاده و همکاران (۱۳۸۶)، که بیان نمودند مسیرهای رودباد در روزهای آغاز و حداکثر بارش، انحنای سیکلونی پیدا نموده و متمرکز می‌شوند و زمانی که رودباد سطوح ۳۰۰ هکتوپاسکال به مناطق مورد مطالعه نزدیک بوده بیش‌ترین اعمال اثر را داشته است. پژوه (۱۳۹۹)، در کار تحقیقی خود در این زمینه نشان داد که رودباد جنب‌حاره ای با تقویت همگرایی سطحی و میدان واگرایی

در سطوح بالای وردسپهر و به تبع آن توسعه کم فشار سطحی و ناوه سطوح میانی وردسپهر، نقش مهمی در رخداد بارش های سنگین و فراگیر نیمه جنوبی کشور داشته است. مطابق با این نتایج درمی یابیم که نتیجه به دست آمده در این کار تحقیقی با نتایج دیگر محققین در این زمینه همسویی داشته است. پیشنهادهاتی که درباره این کار تحقیقی می توان ذکر نمود از جمله این که پس از مشخص شدن جهت هجوم اغلب بادهای حدی با نصب توربین های بادی با نظر به شرایط توپوگرافی می توان در امر اقتصادی گام برداشت. هم چنین با توجه به این که بادهای حدی پیام آور بارش های سنگین هستند لذا با پیش بینی زودتر آن و اقدامات پیش گیرانه می توان از خسارات وارده بر بخش ها و زمینه های مختلف مانند اختلال پروازهای هوایی، سوانح جاده ای، طغیان رودخانه های درون شهری جلوگیری به عمل آورد.

منابع

- آروین، عباسعلی. سجادیان، سیدمحمد. قانقرمه، عبدالعظیم. حیدری، جلال. (۱۳۹۴). تأثیر رودباد جنب حاره ای بر بارش های روزانه بیش از ده میلی متر در حوضه زاینده رود، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱، ص ۱۲۵-۱۴۲.
- پژوه، فرشاد. (۱۳۹۹). شناسایی الگوهای رودباد موثر در بارش های سیل خیز فصل سرد نیمه جنوبی ایران، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۷، شماره ۱، ص ۱۷۷-۱۹۶.
- خوش اخلاق، فرامرز. ماهوتچی، محمدحسن. (۱۳۹۸). واکاوی همیدی بارش های تندری مخرب مشهد، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۲۱، شماره ۱۲، ص ۲۳۵-۲۴۸.
- دارند، محمد. (۱۳۹۴). واکاوی بسامد رخداد رودبادها هنگام بارش های سیل آسای استان کردستان، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۴، شماره ۱۳، ص ۹۵-۱۱۳.
- ذکی زاده، میربهروز. سلیقه، محمد. ناصرزاده، محمدحسین. اکبری، مهری. (۱۳۹۷). تحلیل آماری و سینوپتیکی موثرترین الگوی رودباد ایجاد کننده بارش های سنگین ایران، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۷، شماره ۱۵، ص ۳۱-۴۸.
- سعیدآبادی، رشید. آب خرابات، شعیب. نجفی، محمدسعید. (۱۳۹۴). موقعیت رودباد جبهه قطبی در ارتباط با بارش های سنگین و شار رطوبت ترازهای پایین غرب ایران، محیط شناسی، دوره ۴۱، شماره ۴، ص ۷۸۳-۷۹۸.
- سلیقه، محمد. (۱۳۹۶). آب و هواشناسی سینوپتیک ایران. چاپ دوم، انتشارات سمت.

- سلیمانی زاده، محمدجواد. مرادی، محمد. (۱۳۹۹). بررسی همبندی بارش‌های فرین در شهر تهران، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۳، شماره ۳، ص ۶۴-۷۹.
- عساکره، حسین. بیرانوند، آذر. دوستکامیان، سیدمهدی. (۱۳۹۷). ارزیابی انرژی باد در ایستگاه سینوپتیک اردبیل، فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، سال ۸، شماره ۳، ص ۶۵-۸۲.
- فرج‌زاده، منوچهر. لشکری، حسن. خورانی، اسدالله. (۱۳۸۶). تحلیل موقعیت رودباد در رابطه با سامانه های بارشی غرب کشور (استانهای ایلام و کرمانشاه)، مدرس علوم انسانی، دوره ۱۱، شماره ۵۳، ص ۲۳۹-۲۵۶.
- قانعی، سهراب. موحدی، سعید. مسعودیان، سیدابوالفضل. رحیمی، داریوش. (۱۳۹۰). تأثیر فرود دریای سرخ بر بارش ایران، پژوهش‌نامه جغرافیایی، شماره ۱، ص ۶۳-۷۸.
- کاویانی، محمدرضا. علیجانی، بهلول. (۱۳۹۳). مبانی آب‌وهوا شناسی، چاپ هجدهم، انتشارات سمت.
- وحدانی، اقبال. (۱۳۹۲). هوا و اقلیم‌شناسی چاپ اول، انتشارات آبیژ.
- Badner, J., Johnson, M.A. (1957). Relationship of tropopause and jet streams torainfall in southeastern United States. *Monthly Weather Review*, 62, 62-28.
- Changnon, S.A., Shealy, R.T., Scott, R.W. (1991). Precipitation Changes in Fall, Winter, and Spring Caused by St. Louis, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Volume 30: Issue 1, 126-134.
- Fiedler, B.H., Bukovsky, M.S. (2011). The effect of a giant wind farm on precipitation in a regional climate model, *Environmental Research Letters*, Volume 6, Number 4, 1-7.
- Huang, D.Q., Jian Zhu, J., Zhang, Y.C., Wang, J., Kuang, X.Y. (2015). The Impact of the East Asian Subtropical Jet and Polar Front Jet on the Frequency of Spring Persistent Rainfall over Southern China in 1997-2011, *Journal of Climate*, Volume 28: Issue 15: 6054-6066.
- Jhonson, D.H., Danilas, S.M. (2006). Rainfall in Relation to the Jet Stream, *Journal of the Royal meteorological*, Vol 80, Issue 344, 212-217.
- Johansson, B., Chen, D. (2003). The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: statistical analysis and modeling, *International Journal of climatology*, Volume23, Issue12, 1523-1535.
- Martius, O., Pfahl, S., Chevalier, C. (2016). A global quantification of compound precipitation and wind extremes, *Geophysical Research Letters*, Volume43, Issue14, 7709-7717.
- Trenberth, K.E. (2011). Changes in precipitation with climate change, *Climate Research*, vol 47, 123-138.
- Winters, A.C., Martin, J.E. (2014). The Role of a Polar/Subtropical Jet Superposition in the May 2010 Nashville Flood, *Weather and Forecasting*, Volume 29: Issue 4, 954-974.

- Yuan, J., Feldstein, S.B., Lee, S., Tan, B. (2011). The Relationship between the North Atlantic Jet and Tropical Convection over the Indian and Western Pacific Oceans, J. Climate, 24: 6100-6113.

