

تعیین نقاط حادثه‌خیز سیل و تحلیل آماری-همدیدی بارش‌های سیل آسا در استان آذربایجان شرقی

مهدی اصلاحی*^۱، فرناز پوراصغر^۲، یونس اکبرزاده^۳، محمدامیدفر^۴، ناصر منصوری^۵، عباس شاهماری^۶

۱- ۲، ۴ و ۵- دکتری آب و هواشناسی، اداره کل هواشناسی آذربایجان شرقی، تبریز.

۳- کارشناس ارشد، آب و هواشناسی، اداره کل هواشناسی آذربایجان شرقی، تبریز.

۶- کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، اداره کل هواشناسی آذربایجان شرقی، تبریز.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۴)

چکیده

در این تحقیق نقاط سیل‌خیز استان آذربایجان شرقی با استفاده از اطلاعات خسارات ناشی از سیل مدیریت بحران و آب منطقه‌ای برای بازه ۱۳۷۸-۱۳۹۷ شناسایی شده و نقشه توزیع مکانی و فراوانی رخداد سیل ترسیم شد. بیشترین فراوانی وقوع سیل در نیمه غربی استان به ویژه شهرستانهای مرند، شبستر و تبریز رخ داده است که در این میان سیل‌های با فراوانی بیش از ۱۰ روز مربوط به شهرستانهای تبریز، شبستر، مرند، جلفا و سراب می‌باشد. به منظور تعیین الگوهای همدیدی برای هر روز بارش سیل آسا و شدید در استان نقشه‌های سطوح فوقانی جو و همچنین شاخص‌های ناپایداری جو به همراه نقشه skew-T مورد بررسی قرار گرفت. سامانه‌ها براساس منشأ سامانه طبقه‌بندی و ۷ سامانه که عبارتند از پرفشار سبیری، دریای سیاه، مدیترانه و دریای سرخ و همچنین ترکیبی از این سامانه‌ها شناسایی شد. بیشترین فراوانی سامانه‌ها مربوط به سامانه‌ی مدیترانه با ۷۸ مورد و سامانه مدیترانه و دریای سیاه با ۵۴ مورد در رتبه دوم است. سامانه بارشی از نظر عامل صعود هوا به دو دسته دینامیکی و حرارتی تقسیم می‌شوند و فراوانی سامانه‌های منجر به سیل به طور کلی ۵۸ درصد مربوط به سامانه‌های دینامیکی و ۴۲ درصد آنها مربوط به سامانه‌های حرارتی ناشی از تشکیل ابرهای همرفتی محلی می‌باشند.

کلمات کلیدی: سیل، نقاط حادثه‌خیز سیل، سامانه همدیدی.

مقدمه

سطح کیفی پیش‌بینی‌ها می‌شود. استفاده از روش‌های پیشرفته پیش‌بینی وضع هوا در سال‌های اخیر نقش فزاینده‌ای در هدایت و شناسایی پارامترهای موثر در تشخیص پتانسیل ایجاد بارش‌های سنگین و طوفانی داشته است. سامانه‌های جوی دارای مولفه‌های هواشناختی مختلفی بوده و تغییر این مولفه‌ها بر شدت و تداوم آن‌ها نقش دارد. بنابراین بررسی سینوپتیکی عوامل تشکیل و تقویت سامانه‌های جوی مخاطره‌آمیز قابل چشم‌پوشی نیست.

بررسی سینوپتیکی یکی از ابزارها و روش‌های مطرح برای پیش‌بینی بارش‌های سنگین می‌باشد چرا که شناخت دقیق سازوکار و نحوه عمل الگوی گردش جوی و عناصر موثر در وقوع بارش‌های سنگین بسیار حائز اهمیت است به ویژه آنکه رواناب این نوع بارش می‌تواند به سیل منتهی شود و خسارات جانی و مالی فراوانی به بار آورند (خوزانی پرنده و لشکری، ۱۳۹۰). بدون در نظر گرفتن عوامل موثر بر رخداد بارش‌های سنگین که سهم کمی از تعداد روزهای بارشی کشور را شامل

سیل از جمله مخاطرات جوی است که همه ساله خسارات زیادی برای جوامع بشری به بار می‌آورد. یکی از اثرات مهم تغییر اقلیم در سال‌های اخیر که توسط دانشمندان به اثبات رسیده است، افزایش فراوانی پدیده سیل و خشکسالی است و شدت و ضعف مخاطرات تابع نوع اقلیم منطقه است. پیش‌بینی سیلاب‌ها از دقت کافی برخوردار نیست و معمولاً وقت کافی برای عملیاتی کردن تدابیر از پیش اندیشیده شده فراهم نمی‌شود و لذا تحت چنین شرایطی نمی‌توان خسارات ناشی از سیل را کاهش داد در حالی که با شناسایی الگوهای جوی می‌توان از چند روز قبل با تشخیص الگوهای مستعد ایجاد سیل، وقوع سیلاب را پیش‌بینی کرد.

پیش‌بینی پدیده‌های حدی هواشناختی و بارش‌های شدید از سخت‌ترین موارد از منظر پیش‌بینی‌های عملیاتی محسوب می‌شوند و ارزیابی پارامترها، تشخیص الگوها و آگاهی از اقلیم‌شناسی این رویدادها را طلب می‌کند که باعث ارتقاء

رخداد‌های حادی اقلیمی بارش‌های سنگین استان را تعیین و پهنه‌بندی کردند. نتایج نشان داد که وسعت بارش‌های سنگین طی ۵ سال اخیر بیشتر شده است.

بکارگیری داده‌های ماهواره و رادار هواشناسی برای مطالعه و پیش‌بینی سیل، از راهکارهایی است که در مطالعات مختلف بکار گرفته شده است (مارتینز و همکاران، ۲۰۰۹؛ پلونتک و همکاران، ۲۰۱۰؛ باجا با و همکاران، ۲۰۱۴). برای نمونه کارهایی که با این روش در داخل انجام شده است می‌توان به موعلی و کردوانی، ۱۳۸۸ اشاره کرد. ژاتو و همکاران (۲۰۱۰) روشی برای ترکیب داده‌های بارشی حاصل از رادار و بارانسنج با در نظر گرفتن کیفیت آنها در رشته کوه‌های کم ارتفاع زاکسن ارائه دادند. این روش امکان استفاده از اطلاعات کیفی و ارزیابی بهتر ورودی داده‌ها را با استفاده از یک تابع هزینه فراهم می‌کند. یافته‌های درستی‌سنجی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی دارای مزایا و معایبی است. درستی‌سنجی این روش نشان می‌دهد که بارش ناهمرفتی منطقه بیش از حد تخمین زده می‌شود و همچنین شدت بارش‌های همرفتی کمتر از رخداد برآورد می‌شود. با این حال استفاده از تابع هزینه در این روش از بکارگیری بارندگی کاذب در مناطق جلوگیری می‌کند. و سطح اطمینان را در مناطق دارای داده‌های پرکیفیت، بهبود می‌بخشد.

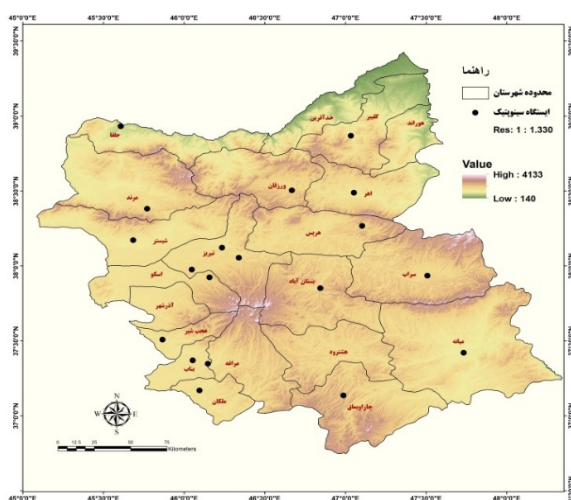
همچنین می‌توان به کارهایی چون استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و دورسنجی در ارزیابی و پهنه‌بندی سیلاب اشاره کرد (هاک و همکاران، ۲۰۱۲؛ ابراهیمی و همکاران، ۲۰۱۳). در داخل نیز کارهایی در این زمینه انجام شده است (حسن‌زاده نفوتی و خواجه بافقی، ۱۳۹۳؛ رضائی و همکاران، ۱۳۹۴ و غریب و همکاران، ۱۳۹۶). ثروتی و همکاران (۱۳۹۰) امکان‌سنجی وقوع سیل در حوضه آبخیز لیلان‌چای (مراغه) را به روش CN بررسی کردند. در این پژوهش به برآورد ضریب رواناب و حداکثر دبی سیل، شناخت عوامل و عناصر موثر در سیل‌خیزی، پهنه‌بندی مناطق براساس شدت پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه آبخیز لیلان‌چای پرداخته شد. برای این منظور ابتدا داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز شامل آمار، وضعیت اقلیم منطقه، تصاویر ماهواره‌ای جمع‌آوری و GIS شدند. با تلفیق این

می‌شوند، مدیریت منبع اصلی تامین آب ایران را مخدوش می‌کند (علیجانی و همکاران، ۲۰۰۷).

مطالعاتی زیادی در رابطه با سیل و بارش‌های سنگین انجام شده است. بررسی سینوپتیکی بارش‌های سنگین با الگوبندی شرایط جوی به کمک روش‌های چند متغیره شامل تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عاملی و خوشه‌بندی از جمله کارهایی هستند که در این زمینه انجام شده است (دیم، ۲۰۰۶؛ لنا و همکاران، ۲۰۰۷؛ و آی و کیان، ۲۰۲۰). از کارهای انجام شده می‌توان به قاسمی‌فر و همکاران، ۱۳۹۶؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۹۸ و کیانی و همکاران، ۱۳۹۸ اشاره کرد. سیبیرت و همکاران (۲۰۰۷، ۱۳۹) الگوهای منطقه‌ای و همدیدی بارش‌های سنگین در اتریش را طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۳ با استفاده از ۱۳۱ ایستگاه اقلیمی مطالعه کردند. آنها هفت الگوی همدیدی برای بارش‌های اتریش را با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای شناسایی و ویژگی بارش‌های سنگین بدست آمده در هر یک از وضعیت‌های همدیدی بدست آمده را بیان کردند. پوراصغر و همکاران (۲۰۱۹) به تحلیل سینوپتیکی علت بارش‌های سنگین شمال‌غرب ایران در فصل گرم سال پرداختند. بارش سنگین بر اساس بارش ۲۴ ساعته‌ای که مقدار آن به بیش از صدک ۹۹ برسد، تعریف شده است. بارش‌های سنگین بر اساس نوع جبهه‌ای یا سامانه کم فشاری تقسیم‌بندی و بررسی شدند. فعالیت جبهه‌ای با حضور پرفشار حاکم بر روی دریای خزر یا زبانه پرفشار سبیری (و یا ترکیب آنها) و گسترش آنها به فلات ایران تشدید می‌شود. زبانه کم‌فشار توسعه یافته از جنوب به شمال و ناهنجاری منفی ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ در شمال‌غرب ایران شناسایی شد. نتایج نشان می‌دهند که بیشتر بارش‌های سنگین ناشی از اینگونه سامانه‌های جبهه‌ای هستند. طی ۱۰ سال اخیر فراوانی رخداد بارش‌های سنگین تابستانه با سامانه جبهه‌ای افزایش یافته است. اصلاحی و همکاران (۱۳۹۹) برای پیش‌بینی سیل، حداکثر بارش محتمل را برای حوضه آبریز دریاچه ارومیه محاسبه و پهنه‌بندی کردند. نتایج نشان داد که جنوب و جنوب‌غرب حوضه دارای بالاترین بیشینه بارش محتمل و کمترین آن مربوط شرق حوضه است. در مقاله دیگری نیز اصلاحی و همکاران (۱۴۰۰) در تعیین

ایران قرار دارد. موقعیت جغرافیایی و ایستگاههای مورد بررسی استان آذربایجان شرقی در شکل ۱ نشان داده شده است.

در این تحقیق داده‌های بارش روزانه از ایستگاه‌های اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی تهیه و بررسی قرار گرفته و روزهای با بارش شدید منجر به سیل شناسایی می‌شوند تا روابط منطقی بین بارش با سیلاب استخراج شود. طبق تعریف بارش‌های سنگین شامل روزهایی است که بارش آن به بیش از صدک ۹۹ مقادیر بیشینه هر ایستگاه برسد (اصلاحی و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و ایستگاههای مورد بررسی استان آذربایجان شرقی

اطلاعات خسارات ناشی از سیل، زمان و مکان وقوع آن از مدیریت بحران استان و آب منطقه ای برای بازه ۱۳۷۸-۱۳۹۷ تهیه شد. در مرحله اول براساس آستانه‌ها و معیارهای فوق، خصوصیات زمانی و مکانی بارش‌های سیل آسا و شدید در استان بررسی و به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS نقاط سیل خیز استان به همراه فراوانی رخداد بارش‌های سنگین در آن نقاط تعیین شد. در مرحله دوم برای تعیین الگوهای همیدی برای روزهای با بارش سیل آسا و شدید در استان نقشه‌های سطوح فوقانی جو در دو روز قبل از بارش شدید تا یک روز بعد؛ بررسی شدند. نقشه‌های مورد مطالعه شامل پارامترهای فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، نم ویژه و جهت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای رهگیری منابع

داده‌ها و اطلاعات، براساس روش SCS، نقشه CN حوضه، نفوذپذیری و مقدار رواناب تهیه شد. در نهایت با استفاده از مدل وزنی و با تلفیق نقشه‌های میزان بارش منطقه، هیدرولوژیک خاک، شیب، کاربری زمین و ... نقشه پهنه-بندی پتانسیل سیل‌خیزی سالانه حوضه تهیه شد. تحلیل همیدی رویدادهای بارش سنگین و سیل با استفاده از تحلیل جریان‌های جتی از جمله مطالعاتی است که در داخل انجام شده است (مسعودیان و محمدی، ۱۳۹۰؛ نوری و ایلدرمی، ۱۳۹۱؛ حلییان و حسینی پورجری، ۱۳۹۱؛ دارند، ۱۳۹۴؛ سعید آبادی و همکاران، ۱۳۹۴ و ندافی و حسینی، ۱۳۹۴).

پروین (۱۳۹۲) ارتباط بین موقعیت مکانی جریان‌های جتی با رخداد سیل در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را بررسی کرد. یافته‌های وی نشان داد که هنگام وقوع سیل‌های فراگیر، موقعیت مکانی جریان‌های جتی بین عرض‌های ۲۵ تا ۳۵ درجه شمالی روی دریای مدیترانه تا شمال شرق ایران قرار دارند و راستای حدود ۷۰ درصد جت‌ها از جنوب غرب به شمال شرق می‌باشد.

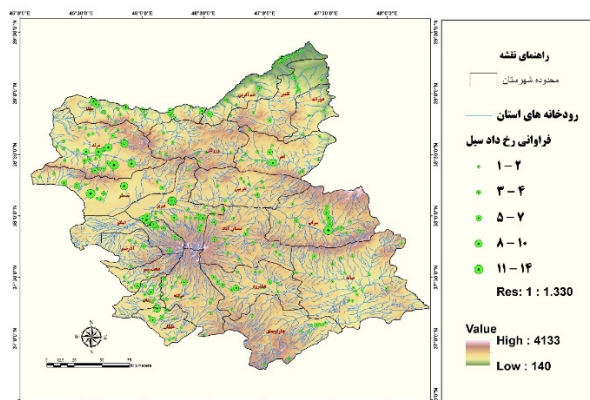
تاکنون برای تعیین نقاط سیل‌خیز استان با دیدگاه هواشناسی و پیش‌بینی مطالعه خاصی انجام نشده است. لذا نتایج این تحقیق می‌تواند اطلاعاتی ارزنده در اختیار کارشناسان پیش‌بینی و نهادهای مربوطه برای شناسایی مناطق سیل خیز استان قرار دهد. مطابق اهداف، این تحقیق در صدد پاسخگویی به پرسش‌های زیر است:

توزیع زمانی و مکانی بارش‌های شدید در استان آذربایجان شرقی چگونه است؟ کدام نقاط جزو مناطق مستعد رخداد سیل هستند؟ بارش‌های شدید و سیل‌آسای دوره‌های گرم، سرد آذربایجان شرقی تحت تأثیر کدام الگوهای همیدی رخ می‌دهند؟

مواد و روش کار

آذربایجان شرقی در شمال غرب ایران بین ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. آذربایجان شرقی با وسعت ۴۵۲۶۱/۴ کیلومتر مربع در گوشه شمال غربی فلات

که اکثر روستاهای حاشیه رودخانه ارس مستعد رخداد سیل هستند.



شکل ۳- نقشه مناطق سیل خیز استان آذربایجان شرقی

تحلیل آماری و سینوپتیکی نقاط مستعد سیل

در این مرحله سیلاب مناطق مختلف استان که در قسمت قبل آورده شده است، از دیدگاه سینوپتیکی بررسی می‌شوند. سامانه‌های هواشناسی برای هر منطقه که سیل رخ داده است شناسایی شده و پارامترهای هواشناسی مؤثر سامانه از قبیل فشار هوا و تغییرات آن، سمت باد، نقشه فشار سطح دریا (slp)، ارتفاع سطح فشاری ۵۰۰، شاخص‌های ناپایداری (SI، TT، KI) و آب قابل بارش (PW) برای همان تاریخ رخداد سیل ثبت شد.

سامانه‌های اصلی و سامانه‌های پشتیبان در منطقه براساس منشأ آنها آشکارسازی و طبقه‌بندی شدند. براین اساس هفت سامانه شناسایی شد که عبارتند از پرفشار سبیری، دریای سیاه، مدیترانه و دریای سرخ و همچنین ترکیبی از این سامانه‌ها که به طور هم‌زمان منطقه را فرا می‌گیرند. شرایط و ویژگی‌های این سامانه‌ها همراه با جدول پارامترهای شان به طور جداگانه بررسی شدند و در نهایت فراوانی آنها با هم مقایسه شد. جدول ۱ فراوانی ورود سامانه‌های هواشناسی منجر به سیل را نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی مربوط به سامانه مدیترانه با ۷۸ مورد است که وارد منطقه شده است. سامانه ترکیبی دریای مدیترانه و سیاه با ۵۴ مورد در رتبه دوم است. سامانه مدیترانه، دریای سیاه، دریای سرخ و مدیترانه، پرفشار سبیری، مدیترانه، دریای

رطوبتی این بارش‌ها و ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال برای بررسی نقش جت جبهه‌ای قطبی در ایجاد بارش‌های شدید می‌باشد. همچنین شاخص‌های ناپایداری جو به همراه نقشه skew-T برای روزهای بارش‌های سنگین بررسی شدند. با بررسی نقشه‌های سطوح فوقانی و داده‌های بارش سطح زمین، در نظر گرفتن پهنه‌بندی مکانی برای هر یک از دوره‌های بارش شدید و مقایسه با شرایط همدیدی حاکم در تمامی دوره‌ها، الگوهای همدیدی اصلی وقوع بارش‌های شدید و سیل آسا برای فصول گرم و سرد شناسایی شد. شناخت و طبقه‌بندی الگوهای همدیدی مرتبط با بارش‌های سنگین و مناطق آسیب‌پذیر در اثر وقوع سیل نقشی مهم در بهبود پیش‌آگاهی‌ها و برنامه‌ریزی مناسب برای کاهش خسارات ناشی از سیل خواهد داشت.

نتایج و بحث

بررسی نقاط حادثه‌خیز استان

با توجه به آمار سیل دریافتی از مدیریت بحران استان آذربایجان شرقی مشخص شد که ۵۲۸ شهر و روستا درگیر سیل بوده‌اند. بیشترین سیلاب استان در روستای اندراب از شهرستان سراب با فراوانی ۱۴ روز و پس از آن تبریز، مرند و کوزه‌کنان با فراوانی ۱۳ روز طی دوره آماری ۲۰ ساله اتفاق افتاده است. مطابق آمار، ۲۵۲ منطقه تنها یک مورد سیلاب را طی دوره آماری ۲۰ ساله تجربه کرده‌اند که ۴۷/۷ درصد وقوع سیل در استان را به خود اختصاص داده است.

نقشه شکل ۳ شاخص رخداد سیلاب تقریباً در کل سطح استان است ولی توزیع فراوانی نشان می‌دهد که بیشترین وقوع سیل در نیمه غربی استان بویژه در شهرهای مرند، شبستر و تبریز بوده که سیل‌های با فراوانی بیش از ۱۰ روز در تبریز، شبستر، مرند، جلفا و سراب رخ داده است. توپوگرافی منطقه نشان می‌دهد که بیشترین وقوع سیل در دامنه شمالی رشته‌کوه‌های سهند، دامنه‌های شمالی و جنوبی میشو و همچنین دامنه شمالی بزقوش رخ داده است. در بین رودخانه‌های جاری در استان، ارس سیل‌خیزترین آنهاست. با توجه به نقشه مشاهده می‌شود

سیاه و دریای سرخ به ترتیب در رتبه‌های بعدی فراوانی وقوع قرار دارند.

برای سامانه مدیترانه‌ای، میانگین سمت باد در نقشه سطح زمین (slp) جنوب‌غربی، دمای تراز ۸۵۰ میلی باری، ۱۹/۰ درجه سلسیوس و ارتفاع تراز ۵۰۰ میلی باری ۵۸۰ است. شاخص‌های ناپایداری نشان می‌دهد مقادیر SI و TT با میانگین ۱/۰۴ و ۴۷ نشان‌دهنده ناپایداری و مقدار شاخص KI با میانگین ۲۸/۶ نزدیک به ناپایداری و همچنین میانگین آب قابل بارش (PW) ۱۹/۸ میلی‌متر است. مسیر حرکت سامانه همواره از جنوب‌غرب به شمال‌شرق بوده است.

سامانه بعدی که به لحاظ فراوانی ورود در رتبه دوم قرار دارد، با منشأ دریای مدیترانه-سیاه است. بناب، عجب‌شیر، مرند، ورزقان، کلپیر، جلفا، تبریز، ملکان، اهر، سراب و بستان‌آباد مناطقی هستند که تحت تأثیر این سامانه قرار گرفته و درگیر سیل شده‌اند. تبریز و کلپیر بیش از دیگر مناطق تحت تأثیر این سامانه قرار گرفتند. سمت وزش باد slp در این سامانه جنوب-شرقی بوده و مسیر سامانه از جنوب‌غرب به شمال‌شرق است. میانگین دمای تراز ۸۵۰ میلی باری ۱۸/۵ درجه و ارتفاع سطح ۵۰۰ میلی باری ۵۷۸/۴ متر است. مقادیر ناپایداری گویای ناپایداری ضعیف‌تر این سامانه نسبت به سامانه مدیترانه‌ای است.

سامانه دریای سیاه در رتبه‌ی سوم فراوانی وقوع سیل در منطقه قرار دارد. آذرشهر، بناب، کلپیر، مرند، تبریز، سراب، هشتروند، شبستر، جلفا و خداآفرین مناطقی هستند که با این سامانه درگیر

سیلاب شده‌اند و کلپیر بیشترین سیل را داشته است. مسیر سامانه جنوب‌غرب به شمال‌شرق است. میانگین دمای تراز ۸۵۰ میلی باری ۱۸/۶ درجه و ارتفاع سطح ۵۰۰ میلی باری ۵۷۷۲ متر است. طبق شاخص‌های ناپایداری، ناپایداری در این سامانه بیش از دو سامانه‌ی دیگر و کمتر از سامانه مدیترانه‌ای است.

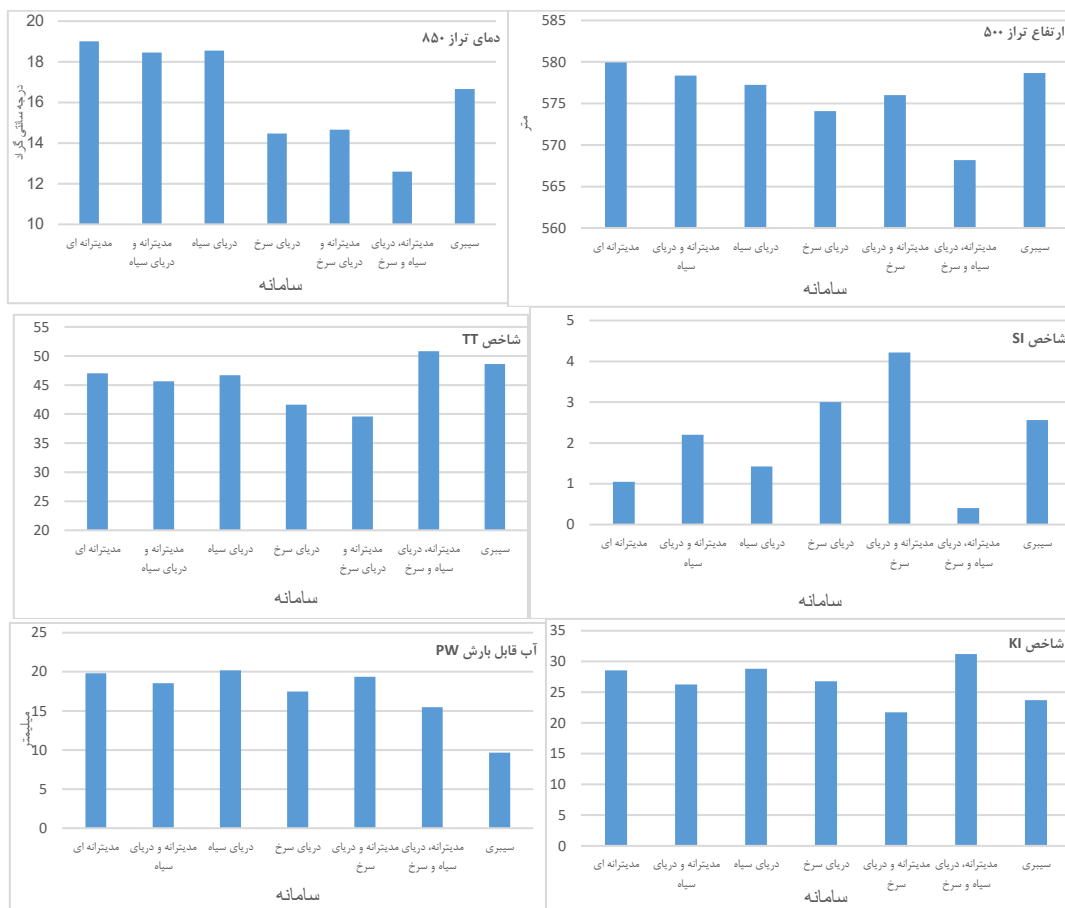
در سامانه دریای سرخ مناطق بناب، مرند، ملکان، سراب، میانه، ورزقان و هشتروند تحت تأثیر رخداد سیل قرار گرفتند. تقرب سامانه از جنوب‌غرب و میانگین دمای تراز ۸۵۰ میلی باری ۱۴/۵ درجه و ارتفاع تراز ۵۰۰ میلی باری ۵۷۴۱ متر است. طبق شاخص‌ها، این سامانه دارای ناپایداری کمتری است.

سامانه بعدی دریای مدیترانه و دریای سرخ است. مسیر سامانه جنوب‌غربی بوده و تبریز، مرند، کلپیر، میانه و هشتروند تحت تأثیر این سامانه درگیر سیلاب شده‌اند. میانگین دمای تراز ۸۵۰ میلی باری ۱۴/۷ درجه و ارتفاع سطح ۵۰۰ میلی باری ۵۷۶۰ متر است.

طبق شکل ۴ کمترین دمای تراز ۸۵۰ مربوط به سامانه ترکیبی مدیترانه، دریای سیاه و دریای سرخ و بیشترین آن متعلق به سامانه‌های مدیترانه است. کمترین ارتفاع تراز ۵۰۰ مربوط به سامانه ترکیبی مدیترانه-سیاه و دریای سرخ است. طبق مقادیر شاخص ناپایداری (SI، TT و KI) در شکل ۴، ناپایداری بیشینه متعلق به سامانه‌ی مدیترانه-سیاه و دریای سرخ می‌باشد. کمترین آب قابل بارش (PW) مربوط به سامانه‌ی سبیری است. ضعیف‌ترین شاخص‌های ناپایداری متعلق به این سامانه می‌باشد.

جدول ۱- تاریخ، مکان و مشخصات سامانه مدیترانه‌ای

میانگین PW	میانگین KI	میانگین TT	میانگین SI	میانگین ارتفاع تراز 500	جهت غالب مسیر سامانه	میانگین دمای 850	فراوانی رخداد	منشا سامانه
۱۹/۸۰	۲۸/۵۵	۴۷/۰۰	۱/۰۴	۵۷۹/۹۶	SW	۱۹/۰۱	۷۸	مدیترانه
۱۸/۵۴	۲۶/۲۸	۴۵/۶۶	۲/۲۰	۵۷۸/۳۶	SW-NE	۱۸/۴۵	۵۴	مدیترانه و دریای سیاه
۲۰/۲۰	۲۸/۷۹	۴۶/۷۰	۱/۴۳	۵۷۷/۲۳	SW	۱۸/۵۶	۲۶	دریای سیاه
۱۷/۴۹	۲۶/۷۷	۴۱/۶۱	۳/۰۰	۵۷۴/۰۷	SW	۱۴/۴۶	۱۴	دریای سرخ
۱۹/۳۶	۲۱/۷۲	۳۹/۵۷	۴/۲۲	۵۷۶/۰۰	SW	۱۴/۶۷	۱۰	مدیترانه و دریای سرخ
۱۵/۴۸	۳۱/۲۰	۵۰/۸۲	۰/۴۰	۵۶۸/۲۰	SW	۱۲/۶۰	۵	مدیترانه، دریای سیاه و سرخ
۹/۶۷	۲۳/۷۰	۴۸/۶۰	۲/۵۶	۵۷۸/۶۷	NE	۱۶/۶۷	۵	اشتراک پرفشار سبیری-خزر



شکل ۴. نمودار ستونی میانگین شاخص‌های سامانه‌های هواشناسی

میانگین‌های دمای سطح ۸۵۰، ارتفاع سطح ۵۰۰، سه شاخص ناپایداری و مقدار آب قابل بارش است. طبق جدول ۱۰ تقریباً اکثر سامانه‌های هواشناسی به منطقه شمال‌غرب ایران از جنوب‌غرب است. در این میان مسیر سامانه‌های متأثر از پرفشار سیبری-خزر، شمال شرقی، دریای سیاه در بعضی مواقع شمال-غربی و دریای سرخ در بعضی مواقع جنوبی است.

سامانه‌های بارشی از نظر عامل صعود هوا به دو دسته دینامیکی و دینامیکی-حرارتی تقسیم می‌شوند. سطوح بالای سامانه‌های دینامیکی کم فشار حاکم بوده و از سطح زمین تا لایه‌های بالا حالت چرخندی (چرخش پادساعتگرد) حاکم بوده و باعث مکش هوا و صعود آن به لایه‌های بالاتر و تشکیل ابر و در نهایت بارش می‌شود. به سبب نفوذ هوای سرد، کم‌فشار در سطوح زیرین سامانه‌های حرارتی-دینامیکی تضعیف می‌شود و عامل صعود هوا ناپایداری محلی و واداشت ترازهای فوقانی است (بر اساس داده‌های ایستگاه جو بالای تبریز).

رتبه‌ی بعدی رخداد وقوع سیل در منطقه مربوط به مخلوطی از سامانه مدیترانه-سیاه و دریای سرخ است. سراب تنها منطقه‌ای است که تحت تأثیر این سامانه رخداد سیل در آن گزارش شده است. مسیر سامانه جنوب‌غربی، میانگین دمای تراز ۸۵۰ میلی-باری ۱۲/۶ درجه و ارتفاع سطح ۵۰۰ میلی‌باری، ۵۶۸/۲ متر می‌باشد. طبق شاخص‌ها، ناپایداری جوی ناشی از این سامانه به نسبت زیاد است. در سامانه‌های متأثر از پرفشارهای سیبری-خزری؛ آذرشهر، بناب، شبستر و مرند مناطقی هستند که سیل در آنجا بوقوع پیوسته است. مسیر سامانه شمال شرقی، میانگین دمای سطح ۸۵۰ میلی‌باری ۱۶/۷ درجه و ارتفاع سطح ۵۰۰ میلی‌باری ۵۷۸۷ متر است. طبق شاخص‌ها، ناپایداری‌ها در این سامانه قابل توجه نیست.

خلاصه نتایج مشخصات هواشناختی سامانه‌ها در نمودارهای ستونی شکل ۴ آمده است. این مشخصات که براساس رتبه فراوانی وقوع سیل سامانه‌ها مرتب شده، شامل مسیر سامانه،

که عبارتند از سامانه‌های متأثر از پرفشار سیبری/خزری، دریای سیاه، مدیترانه، دریای سرخ و همچنین ترکیبی از این سامانه‌ها است. بیشترین فراوانی مربوط به سامانه مدیترانه‌ای با ۷۸ مورد و سامانه مدیترانه- دریای سیاه با ۵۴ مورد در رتبه دوم است. سامانه بارشی از نظر عامل صعود هوا به دو دسته دینامیکی و دینامیکی-حرارتی تقسیم می‌شوند. در سطوح بالای سامانه‌های دینامیکی، کم فشار حاکم بوده و از سطح زمین تا لایه بالا حالت چرخندی (چرخش پادساعتگرد هوا) باعث مکش هوا و صعود آن به لایه‌های بالاتر و تشکیل ابر و بارش می‌شود. اما در سامانه‌های حرارتی-دینامیکی به سبب نفوذ هوای سرد، کم‌فشار در سطوح زیرین سامانه‌های حرارتی-دینامیکی تضعیف می‌شود و عامل صعود هوا ناپایداری محلی و واداشت حضور چرخند قوی در لایه‌های میانی و فوقانی جو است (بر اساس داده‌های ترمودینامیکی جو بالای ایستگاه تبریز). ۵۸ درصد از سامانه‌ها مربوط به نوع دینامیکی و ۴۲ درصد آنها مربوط به سامانه‌های حرارتی-دینامیکی می‌باشد.

جدول ۲ نشانگر فراوانی سامانه‌های هواشناسی منجر به سیل است. ۵۸ درصد از سامانه‌ها دینامیکی و ۴۲ درصد آنها مربوط به سامانه‌های دینامیکی-حرارتی می‌باشد.

جدول ۲- فراوانی سامانه‌های دینامیکی و حرارتی منجر به سیل در

استان

مرکز فشار	حرارتی	دینامیکی
منشا سامانه		
دریای سیاه	٪۵۸	٪۴۲
مدیترانه	٪۱۸	٪۸۲
سیبری	٪۱۰۰	۰
مدیترانه و دریای سیاه	٪۶۱	٪۳۹
مدیترانه و دریای سرخ	٪۸۰	٪۲۰
مدیترانه و دریای سیاه و سرخ	۰	٪۱۰۰
دریای سرخ	٪۳۶	٪۶۴
جمع	٪۴۲	٪۵۸

نتیجه گیری

در این تحقیق نقاط سیل‌خیز استان با استفاده از اطلاعات خسارات سیل دریافتی از مدیریت بحران و آب منطقه‌ای برای بازه ۱۳۹۷-۱۳۷۸ شناسایی شده و نقشه توزیع مکانی و فراوانی رخداد سیل برای دوره مذکور ترسیم شد. بیشترین فراوانی وقوع سیل در نیمه غربی استان به ویژه شهرستان‌های مرند، شبستر و تبریز رخ داده که در این میان سیل‌های با فراوانی بیش از ۱۰ روز در شهرستان‌های تبریز، شبستر، مرند، جلفا و سراب مشاهده می‌شود. با توجه به توپوگرافی منطقه مشخص شد که بیشترین وقوع سیل در دامنه شمالی رشته کوه‌های سه‌سند، دامنه‌های شمالی و جنوبی میشو و همچنین دامنه شمالی بزقوش رخ داده است. برای تعیین الگوهای همدیدی برای هر روز بارش سیل آسا و شدید در استان آذربایجان شرقی، نقشه‌های سطوح فوقانی جو (نقشه‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، نم ویژه و جهت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای رهگیری منابع رطوبتی این بارش‌ها و ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال) و همچنین شاخص‌های ناپایداری جو به همراه نقشه skew-T برای روزهای با بارش‌های سنگین بررسی شدند. سامانه‌ها براساس منشأ سامانه طبقه‌بندی و هفت سامانه شناسایی شدند

منابع

- اصلاحی، مهدی؛ پوراصغر، فرناز؛ منصوره درخشان، ناصر و اکبرزاده، یونس (۱۳۹۹)، تعیین حداکثر بارش محتمل (PMP) با رویکرد پیش‌بینی سیل در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال ۱۳، شمره ۴۹، بهار ۱۴۰۱، ۱۰۳-۱۱۴.
- اصلاحی، مهدی؛ پوراصغر، فرناز و اکبرزاده، یونس (۱۴۰۰)، بررسی رخداد‌های حدی اقلیمی در استان آذربایجان شرقی در دوره آماری ۱۳۹۷-۱۳۸۸، نشریه نیوار، دوره ۴۵، شماره ۱۱۵-۱۱۴، پاییز و زمستان ۱۴۰۰.
- ثروتی، م، رستمی، ا، خدادادی، خ (۱۳۹۰)، امکان سنجی وقوع سیل در حوضه آبخیز لیلان‌چای (مراغه) به

- روش CN، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی- پژوهشی، سال هشتم، شماره ۳۲، زمستان ۱۳۹۰.
۳. پروین، نادر. ۱۳۹۲. بررسی موقعیت مکانی رودبادهای تراز میانی جو جریان‌های جتی و سیل در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. مجله تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۹. ۲۳۵-۲۵۰
۴. حسن‌زاده نفوتی، محمد و خواجه بافقی، حبیب‌ا... (۱۳۹۳)، پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سامانه تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیطان بافق)، پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز سال هفتم، شماره ۱۴، پاییز و زمستان ۱۳۹۵.
۵. حلییان، امیرحسین و فرشته حسینعلی پورجزی. ۱۳۹۳. تحلیل فراوانی رودبادهای با بارش‌های حدی و فراگیر در کرانه‌های غربی خزر. مجله تحویات؟ جغرافیایی، ۱۱۲. ۲۰۵-۲۲۰ دارند، محمد. ۱۳۹۴. واکاوی بسامد رخداد رودبادهای هنگام بارش‌های سیل آسای استان کردستان. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۳. ۱۱۳-۹۵.
۶. سعید آبادی، رشید؛ سعید آب خرابات و محمد سعید نجفی. ۱۳۹۴. موقعیت رودباد در ارتباط با بارش‌های سنگین و شار رطوبت ترازهای پایین غرب ایران. مجله محیط شناسی، ۴۱. ۷۹۸-۷۸۳ رضایی، م. و وفاخواه، م. و قرمزچشمه، ب. (۱۳۹۴). تغییرپذیری مکانی سیل‌خیزی با استفاده از روش عکس‌العمل سیل واحد در حوزه آبخیز خان‌میرزا. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۸ (۱): ۱۵۰-۱۳۹
۷. قاسمی فر، الهام، ناصرپور، سمیه، آرزومندی، لیلی (۱۳۹۶)، شناسایی الگوهای سینوپتیکی بارش‌های سیل‌خیز غرب ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات طبیعی، سال ۴، ۲: ۶۹-۸۶
۸. علیجانی بهلول، میرزایی نبی اله، جاهدی آرمان (۱۳۹۸) واکاوی همدیدی بارش حدی و سیل آسای کشور، مطالعه موردی ۱۶-۱۳ مارس ۲۰۱۹، دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، شماره دوم، ۱۱۴-۷۰
۹. غریب، م؛ معتمدوزیری، ب و احمدی، ح (۱۳۹۶) روشی برای تعیین مناطق مولد سیل بر اساس رابطه بین شاخص سیل‌خیزی و پارامترهای مورفومتری، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال هفتم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۷
۱۰. کیانی مهرداد، لشگری حسن، قائمی هوشنگ (۱۳۹۸) تحلیل آماری-همدیدی رخداد شدیدترین بارش‌های غرب ایران، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۳۳، ۱۷-۳۸
۱۱. مسعودیان، سید ابوالفضل و بختیار محمدی. ۱۳۹۰. تحلیل فراوانی رودبادهای با رخداد بارش‌های ابرسنگین ایران. مجله تحقیقات منابع آب ایران ۲. ۹۱-۸۰.
۱۲. موغلی، م، کردوانی، پ (۱۳۸۸)، کاربرد GIS و RS در پهنه‌بندی نواحی مستعد به سیل‌خیزی با استفاده از مدل SCS در حوضه آبخیز رودخانه وربند لارستان، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی- پژوهشی، سال ششم، شماره ۲۱، بهار ۱۳۸۸.
۱۳. نوری، حمید و علیرضا ایلدرمی. ۱۳۹۱. تحلیل شرایط همدیدی- دینامیکی رویدادهای بارشی سنگین سواحل

- sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: a case study of Sindh province, Pakistan", *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 15(2):135-141.
19. Jatho N., Pluntke T., Kurbjuhn C., and Bernhofer C. (2010), An approach to combine radar and gauge based rainfall data under consideration of their qualities in low mountain ranges of Saxony, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10,429-446.2010.
20. Lana. A, Campins. J, Genov'es. A, and Jans. A, (2007), Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic Islands, *Advances in Geosciences*, 12, 27-32.
21. Pluntke T., Jatho N., Kurbjuhn C., Dietrich J., and Bernhofer C. (2010), Use of past precipitation data for regionalisation of hourly rainfall in the low mountain ranges of Saxony, Germany, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 353-370, 2010.
22. Pourasghar F, Eslahi M, Siyahsarani A, Akbarzadeh Y (2019) Synoptic scale influences on summer time heavy rainfall events in northwest of Iran. *EMS Annual Meeting*, Vol 16, EMS 2019-162.
- جنوبی خزر در موایسه با ایران زمین. *مجله جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۳۶-۱۹۷: ۴۱.
14. Ai Yang, Qian Weihong (2020) Anomaly –based synoptic analysis on heavy rain event of July 2018 in Japan, *Natural Hazards*, 101, 605-668.
- Aliana. B, O'Brien. J, Yarnal. B, (2007), spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran, *Theor. Appl. Climatol.* DOI 10.1007/s-0344-007-00704-y
15. Bajabaa, S., Masoud, M., & Al-Amri, N. (2014). Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia). *Arabian Journal of Geosciences*, 7(6), pp. 2469-2481.
16. Diem J.E. (2006): "Synoptic-scale controls of summer precipitation in the southeastern United States", *Journal of Climate*, 19:613-621.
17. Ebrahimi, P., Soleimani, K., Shahedi, K., (2013), "Investigation of land use change and its Role on flood zones using GIS and RS Neka rood case study", *Journal of watershed management engineering and management*, Issue 2:67-73..
18. Haq, M., Akhtar, M., Muhammad, S., Paras, S., Rahmatullah, J., (2012), *Techniques of remote*

24. Seibert. P, Frank. A, and Formayer. H, (2007), Synoptic and regional patterns of heavy Precipitation in Austria, *Theoretical and Applied Climatology*, 87, 139-153.
23. Martinis S., Twele A., and Voigt S. (2009), Towards operational near real-time flood detection using a split-based automatic thresholding procedure on high resolution TerraSAR-X data, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 303-314, 2009.