

تحلیل رخداد بارشی شدید منجر به سیل ۲۸ تیر ۱۳۹۴ در استان البرز



حمزه احمدی*

دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی،
دانشگاه حکیم سبزواری

محمد باعقیده (mbaaghideh2005@yahoo.com)

استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

سعید اسدی (asadi_s2001@yahoo.com)

کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، اداره تحقیقات هواشناسی استان یزد

فریبرز احمدی (Geoclimatology@yahoo.com)

کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه پیام نور اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۲)

چکیده

سیل‌های ناگهانی ناشی از بارش‌های شدید کوتاه‌مدت از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی محسوب می‌شود. تحقیق حاضر با هدف تحلیل سازوکار همدیدی و ترمودینامیکی بارش شدید منجر به سیل ۲۸ تیر ۱۳۹۴ در استان البرز صورت گرفت. براساس ایستگاه‌های باران‌سنجی سیجان، کندر و ایستگاه همدید کرج، ویژگی‌های بارش و رخداد بارش‌های فصل گرم منطقه مشخص شد. در ادامه، داده‌های آنومالی، ارتفاع ژئوپتانسیل، سرعت قائم (أمگا) و تاوایی در روزهای قبل تا زمان رخداد بارشی در تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال و تراز دریا استخراج و براساس نرم‌افزار گرادس ترسیم شد. شاخص‌های ناپایداری و نمودار ترمودینامیکی اسکيو - تی برمینیای ایستگاه همدید تهران تحلیل شد. وجود هوای سرد در جو بالا، ایجاد ناوه شبه‌پایا، تزریق و تأمین مداوم رطوبت از پهنه آبی خزر، کم‌فشار سطح زمین و جریان‌های شمال غربی، مشخصه‌های عمده همدیدی حاکم بر رخداد بارشی مذکور محسوب می‌شوند. الگوی غالب در تراز دریا در قبل و زمان رخداد بارش، حاکمیت کم‌فشار حرارتی پاکستان است. سرعت قائم (أمگا) در زمان رخداد بارشی تقویت‌شده و در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بیشتر از تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مشاهده شد. در روز رخداد بارشی بر اثر حرکت نصف‌النهاری جریان‌های تراز بالای جو میزان تاوایی مثبت به ۹+ رسیده است. رخداد بارشی مذکور با شاخص شوالتر در شرایط ناپایداری شدید و با شاخص مقدار آب قابل بارش، از بخار آب لازم برای بارش شدید در منطقه برخوردار بوده است. اختلاف حرارتی زیاد بین سطح بالای جو و سطح زمین در فصل گرم موجب بارش‌های شدید می‌شود. بنابراین، آگاهی از شرایط همدیدی بارش‌های شدید منجر به سیل می‌تواند به‌عنوان سامانه معتبر اخطار سیل در قبل از وقوع بحران حایز اهمیت باشد.

واژه‌های کلیدی: البرز، رخداد بارشی شدید، سیل، ناپایداری، همدید.

مقدمه

سیلاب‌ها از مهم‌ترین مخاطرات خسارت‌زا در بین مخاطرات طبیعی محسوب می‌شوند. سیلاب‌های ناگهانی علاوه بر اینکه رتبه بالایی در میان بلایای طبیعی دارند، بر جان و مال انسان‌ها بسیار تأثیرگذارند [۱۵]. در سال‌های اخیر رخدادهای بارشی منجر به سیل افزایش یافته است. حدود ۱۶۹ میلیون نفر از ساکنان کره زمین در بیش از ۹۰ کشور به‌طور متوسط هرساله با یک سیل مخرب مواجه می‌شوند [۱۹]. بدون شک سیلاب هم از نظر تلفات جانی و هم از نظر خسارات مالی، مهیب‌ترین بلای طبیعی در جهان محسوب می‌شود [۴]. رخدادهای بارشی فرین یکی از فاکتورهای اصلی برای سیلاب‌های شدید محسوب می‌شود [۱۳]. سازمان هواشناسی جهانی (WMO) حدود ۱۰ نوع سیل مختلف بر مبنای، فصل، مکان، شرایط جوی و نتایج پیامدهای آن، طبقه‌بندی و شناسایی کرده است. در میان آنها سیل‌های ناگهانی متداول‌ترند [۲۵]. یکی از مهم‌ترین مسائل محیطی پیش‌بینی سیلاب‌هاست. با شناسایی الگوهای گردشی می‌توان یک یا دو روز قبل، الگوهای مختوم به ایجاد سیل را پیش‌بینی کرد [۸]. بررسی بارش‌های شدید در خیلی از برنامه‌ریزی‌ها، به‌خصوص مطالعات شهری و هیدرولوژیکی حایز اهمیت است [۲۳].

تحلیل علت بارش‌های شدید منجر به سیل مورد بررسی خیلی از مطالعات و تحقیقات حوزه هوا و اقلیم بوده است. نتلوس^۱ و همکاران (۲۰۰۷) با تحلیل توفان‌های تندری منجر به سیل ناگهانی در منطقه بالتیمور، مشخص کردند که بین رخداد توفان‌های تندری و سیل‌های ناگهانی ارتباط معناداری وجود دارد [۲۲]. سیدلاسکی^۲ (۲۰۰۹) شاخص‌های ناپایداری در بارش‌های شدید در اروپا را بررسی کرد [۲۴]. کامسوی و سلیک (۲۰۱۳) با تحلیل سیل روزهای ۷ تا ۱۰ سپتامبر ۲۰۰۹ در ترکیه مشخص کردند که اصلی‌ترین علت جوی وقوع سیل، فراوانی هوای سرد در جو بالا و وجود یک ناوه عمیق است [۱۹]. احسان و کان^۳ (۲۰۱۳) رخداد بارندگی منجر به سیل ۲۹ جولای ۲۰۱۰ در شمال غربی پاکستان را با استفاده از مدل WRF بررسی کردند [۱۳]. زنگ و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی فراوانی رخداد مخاطره سیل شهری در شهرهای چین، افزایش وقوع آن در آینده ناشی از پیامدهای تغییرات اقلیمی را هشدار داده‌اند [۲۷]. دوین^۴ و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی رخدادهای جوی منجر به سیل‌های ناگهانی در ۱۴-۱۱ جولای ۲۰۱۴ در منطقه کیشو، مشخص کردند که الگوهای بزرگ‌مقیاس و ناهنجاری‌ها، الگوهای بالقوه برای یک رخداد فرین

1. Ntelekos
2. Siedlecki
3. Ahasan & Khan
4. Duan

بارشی‌اند [۱۶]. زنگ^۱ و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی توزیع زمانی - مکانی بارش‌های فرین در مناطق کوهستانی چین، مشخص کردند که مانسون‌های تابستانی تأثیر بسزایی در بارش‌های فرین دارند [۲۶]. مانتیزارکیو^۲ و همکاران (۲۰۱۵) روش‌های مختلف برآورد آستانه‌های بارندگی سیلابی را بررسی کردند [۲۰]. متسن گورس^۳ و همکاران (۲۰۱۶) با تحلیل رخداد تورنادو در ۲۵ مارس ۲۰۰۹ مشخص کردند که در رخداد این پدیده، بیشترین آنومالی‌ها در سطوح ۵۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰ و ۹۲۵ هکتوپاسکال رخ می‌دهد [۲۱]. رولفوا^۴ و همکاران (۲۰۱۶) با تحلیل فراوانی بارش‌های فرین مشخص کردند که در دوره گرم سال، بارش‌های فرین بیشتر رخ خواهد داد [۲۳]. عزیززی و صمدی (۱۳۸۶) با تحلیل الگوی سینوپتیکی سیل ۲۸ مهر ۱۳۸۲ استان‌های گیلان و مازندران، بیان داشتند که وجود ناوه عمیق در شمال شرق اروپا و امتداد محور آن روی دریای خزر، موجب فرارفت هوای سرد قطبی از عرض‌های شمالی بر روی خزر شده است [۷]. رحیمی (۱۳۸۸) تأثیر رگبارهای منفرد بر مدیریت بحران سیل (نمونه موردی حوضه فارس) را بررسی کردند [۵]. گندمکار (۱۳۹۱) در بررسی مدیریت بحران وقوع سیل در شهر اصفهان مشخص کرد که عامل اصلی بروز بارش‌های سیل‌زا در شهر اصفهان، ورود سامانه کم‌فشار سودانی از جنوب غرب و شرایط صعود محلی منطقه است [۱۱]. امینی و همکاران (۱۳۹۲) تحلیل هم‌دید سامانه‌های همراه با بارش سنگین و سیل‌زا در حوضه رودخانه کشکان برای دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۵۰ را بررسی کردند [۳]. امیدوار و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی بارش‌های سنگین در جنوب غرب و نواحی مرکزی در اثر سردچال جوی مشخص کردند که میزان ناپایداری برای بارش سنگین در حد چشمگیری بوده است [۲]. صلاحی و عالی جهان (۱۳۹۲) با تحلیل سینوپتیکی مخاطرات اقلیمی شهرستان یاسوج از طریق رخداد بارشی ۲۰ اسفند ۱۳۸۹ مشخص کردند که کم‌فشارهای مستقر روی سودان و جنوب شرق آسیا سبب ناپایداری‌های شدید در منطقه شده است [۶]. احمدی و جعفری (۱۳۹۴) بارش فوق‌سنگین ۲۳ اسفند ۱۳۹۲ در شهرستان بندرعباس را با رویکرد هم‌دید در سطح زمین و تراز بالایی جو واکاوی کردند [۱]. اکبری و همکاران (۱۳۹۳) تغییرات شاخص‌های دینامیکی هم‌زمان با توفان‌های حوضه آبریز کارون را بررسی کردند. آنها با بررسی چند نمونه از سیلاب‌ها، شاخص‌های دینامیکی و ترمودینامیکی را واکاوی کردند [۴]. علیجانی و رضایی (۱۳۹۳) با بررسی توزیع زمانی - مکانی تاوایی نسبی در ایران با تأکید بر بارش، مشخص کردند که در فصل تابستان تمام ایران در سیطره تاوایی منفی قرار دارد [۹].

1. Zhang
2. Montesarchio
3. Matsangouras
4. Rulfova

رخدادهای بارشی شدید منجر به سیل با توجه به فراوانی وقوع آنها در کشور، یکی از دغدغه‌های اصلی مسئولان و مدیران در زمینه مدیریت بحران محسوب می‌شود. وقوع رخدادهای بارشی شدید در ایام گرم سال خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به همراه دارد. منطقه تحقیق به‌عنوان یکی از مناطق جاذب جمعیت به دلیل نزدیکی به تهران و وجود محور مواصلاتی چالوس از اهمیت خاصی برخوردار است. از آنجا که یکی از عوامل مؤثر در مدیریت بحران بلایای طبیعی، شناخت چگونگی وقوع و رفتار مخاطرات اقلیمی است، این تحقیق در نظر دارد وضعیت بارش روزانه دوره گرم را تحلیل کرده و در ادامه سازوکار همدیدی و ترمودینامیکی سطوح بالای جو و سطح زمین مورد رخداد بارشی شدید ۱۹ جولای ۲۰۱۵، برابر با ۲۸ تیر ۱۳۹۴ در استان البرز را واکاوی کند.

روش تحقیق و تحلیل

بارش شدید در شامگاه ۲۸ تیر ۱۳۹۴، برابر با ۱۹ جولای ۲۰۱۵ میلادی، در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز منجر به وقوع یکی از مهیب‌ترین سیل‌های ناگهانی در منطقه سیجان در حوضه آبخیز ارنگه در غرب استان البرز و منطقه کن در استان تهران شد. این رخداد بارشی شدید به مدت یک ساعت، ۱۳/۴ میلی‌متر بارش به جای گذاشت. سیلاب جاری شده با حداکثر دبی ۳۰ متر مکعب در ثانیه در روستای سیجان، ۱۰ ساعت تداوم داشت و حجم آن ۵۸/۵ میلیون متر مکعب برآورد شد. تلفات جانی این سیلاب ۸ نفر بود [۱۰]. استان البرز با وسعت تقریبی ۵۱۴۲ کیلومتر مربع بین ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. در این تحقیق از آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی سیجان و کندر به‌عنوان تنها ایستگاه‌های محل رخداد بارشی مذکور استفاده شد. با توجه به نبود آمار طولانی‌مدت در این ایستگاه‌ها، از آمار ایستگاه همدید کرج نیز استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های بررسی شده

| ایستگاه‌های بررسی شده | طول جغرافیایی E | عرض جغرافیایی N | ارتفاع m | نوع ایستگاه |
|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------|-------------|
| سیجان | ۵۱° ۰۷' | ۳۵° ۵۷' | ۲۱۰۰ | باران‌سنجی |
| کندر | ۵۱° ۰۷' | ۳۵° ۵۱' | ۲۱۰۰ | باران‌سنجی |
| کرج | ۵۱° ۲' | ۳۵° ۴۸' | ۱۳۲۱ | همدید |

در تحقیق حاضر با رویکرد محیطی به گردشی در ابتدا، ویژگی‌های آماری رخداد بارش منطقه بررسی شد و سپس فراوانی رخداد و شدیدترین بارش‌های روزانه فصل گرم منطقه مشخص شد. به‌منظور شناسایی علت رخداد بارشی منجر به سیل ۱۹ جولای ۲۰۱۵ برابر با ۲۸ تیر ۱۳۹۴ در منطقه سیجان استان البرز، از الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی استفاده شد. در این زمینه، نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، سرعت قائم (أمگا) و تاوایی برای ترازهای ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال و سطح دریا از دو روز قبل از زمان رخداد بارشی استخراج و ترسیم شد. این نقشه‌ها با تفکیک فضایی ۲/۵ در ۲/۵ درجه برای محدوده جغرافیایی ۸۰-۱۰ درجه عرض شمالی و ۱۰۰-۰ درجه طول شرقی، براساس داده‌های تحلیل مجدد پایگاه نووا [۲۸] و با استفاده از امکانات برنامه‌نویسی نرم‌افزار گرادس استخراج و ترسیم شد.

اطلاع از وضعیت پایداری و ناپایداری هوا از موضوع‌های مهم و اساسی مطالعات ترمودینامیک جو به حساب می‌آید. یکی از روش‌های کاربردی در این زمینه، استفاده از نمودارهای بی‌درو ترمودینامیکی و محاسبه شاخص‌های ناپایداری است [۱۲]. این شاخص‌ها به‌منظور آگاهی دادن به پیش‌بین‌ها درباره وضعیت پایداری و ناپایداری جو توسعه پیدا کرده‌اند [۲۴، ۱۷]. در تحقیق حاضر، شرایط ناپایداری در روز رخداد بارشی مورد مطالعه براساس شاخص‌های ناپایداری حاصل از کاوشگری جو بالا توسط رادیوسوند برای ایستگاه تهران (مهرآباد)، به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه دارای کاوشگری سطح بالای جو به منطقه تحقیق ارزیابی شد. شاخص‌های ناپایداری برای روز واقعه از سایت دانشگاه وایومینگ [۲۹] دریافت شد. این شاخص‌های ناپایداری بعد از دریافت تحلیل شد.

بحث

تحلیل آماری وضعیت بارش منطقه براساس ایستگاه همدید کرج

نتایج ارزیابی شاخص‌های آماری بر روی پارامترهای بارش ماهانه، بارش بیشتر از ۱۰ میلی‌متر و بیشترین بارش در روز برمبنای ایستگاه کرج در جدول ۲ مشخص شده است. واریانس، انحراف خطاها و چولگی پارامتر بارش ماهانه نسبت به دیگر پارامترهای بارشی در سطح بالاتری قرار دارد که نشان می‌دهد تغییرات بارش ماهانه بیشتر است. ضریب تغییرات بارش بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در روز بیشتر از دیگر پارامترهای بارشی مشاهده می‌شود. حد بالای بارش ماهانه در صدک ۷۵، ۹۰ و ۹۵ به‌ترتیب ۲۵۹، ۳۴۳ و ۳۷۹ میلی‌متر را شامل می‌شود. بالاترین صدک‌های بارش بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در منطقه به صدک ۹۰ و ۹۵، به‌ترتیب به‌میزان ۱۱ و

۱۲/۳ میلی‌متر بارش اختصاص دارد. بیشترین بارش در روز تا ۹۶ میلی‌متر در صدک ۹۵ در ایستگاه کرج مشاهده شد.

جدول ۲. ویژگی‌های آماری پارامترهای بارشی منطقه برمبنای ایستگاه همدید کرج

| تعداد آماری بارش بارشی | میانگین | میانگین | واریانس | انحراف معیار | ضریب تغییرات | انحراف عمقا | چولگی | صدک ۷۵ | صدک ۹۰ | صدک ۹۵ |
|------------------------|---------|---------|---------|--------------|--------------|-------------|-------|--------|--------|--------|
| بارش ماهانه | ۲۵۱/۸ | ۲۶۳/۳ | ۴۲۱۳/۹ | ۶۴/۹ | ۰/۲۵ | ۱۲/۷ | ۰/۳۰ | ۲۵۹/۵ | ۳۴۳/۷ | ۳۷۹/۴ |
| mm | | | | | | | | | | |
| P > 10mm | ۷ | ۷/۵ | ۹/۱۲ | ۳/۰۱ | ۰/۴۳ | ۰/۵۹۲۲۶ | ۰/۰۵۶ | ۹ | ۱۱ | ۱۲/۳ |
| P > 0mm | ۷۴ | ۷۵ | ۱۳۲ | ۱۱/۴ | ۰/۱۵ | ۲/۲ | ۰/۰۵۱ | ۸۲ | ۸۶/۶ | ۹۶/۲ |

وضعیت رخداد بارش‌های روزانه فصل گرم منطقه

رخدادهای بارش روزانه فصل گرم منطقه برای ماه‌های تیر، مرداد و شهریور از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۴ برابر با ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۵ میلادی برای دوره آماری ۳۲ ساله، براساس ایستگاه همدید کرج در جدول ۳ مشخص شده است. بررسی سری زمانی بارش روزانه نشان می‌دهد که بیشترین رخداد بارشی فصل گرم در تیر و کمترین آن، در شهریور رخ داده است. در کل دوره آماری ۳۹ رخداد بارشی مربوط به ماه تیر بوده است. در ماه‌های مرداد و شهریور به ترتیب ۲۲ و ۲۶ رخداد بارشی مشاهده شد.

شدیدترین بارش‌های فصل گرم در ماه تیر سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۸، ۱۳۸۳ و ۱۳۹۱ به ترتیب به میزان ۸، ۸/۹، ۸/۳ و ۱۲ میلی‌متر در روز، در مرداد ۱۳۷۸ به میزان ۱۲ میلی‌متر و در شهریور ۱۳۹۰ به میزان ۲۸/۵ میلی‌متر در روز ثبت شده است. نادرترین بارش روزانه در منطقه در ۱۳۹۰/۶/۷ به میزان ۲۸/۵ میلی‌متر در روز در شهریور رخ داده است. به‌طور کلی، بارش‌های بیشتر از ۸ و ۱۰ میلی‌متر در تیر بیشتر از دیگر ماه‌های گرم مشاهده می‌شود و بیشترین بارش روزانه هم در روزهای آخر تیر ثبت شده است. بنابراین رخداد بارشی مذکور یکی از شدیدترین بارش‌های فصل گرم منطقه محسوب می‌شود.

جدول ۳. رخداد‌های بارشی شدید روزانه فصل گرم در ایستگاه همدید کرج از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۴ برابر با ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۵ میلادی

| شهریور | | مرداد | | تیر | | زمان رخداد |
|---------|----------|---------|-----------|---------|-----------|------------|
| بارش mm | زمان | بارش mm | زمان | بارش mm | زمان | |
| - | - | - | - | ۶ | ۱۳۶۷/۴/۱۹ | ۱۳۶۷ |
| - | - | - | - | *۸ | ۱۳۶۷/۴/۲۸ | ۱۳۷۱ |
| - | - | - | - | ۰/۸ | ۱۳۷۱/۴/۱۹ | ۱۳۷۷ |
| - | - | *۱۲/۴ | ۱۳۷۷/۵/۱۲ | - | - | ۱۳۷۸ |
| - | - | - | - | *۸/۹ | ۱۳۷۸/۴/۲۴ | ۱۳۸۳ |
| - | - | - | - | *۸/۳ | ۱۳۸۳/۴/۲۲ | ۱۳۸۵ |
| - | - | - | - | ۳/۵ | ۱۳۸۵/۴/۱۱ | ۱۳۹۰ |
| ۱۵/۴ | ۱۳۹۰/۶/۴ | - | - | - | - | ۱۳۹۱ |
| *۲۸/۵ | ۱۳۹۰/۶/۷ | - | - | ۵ | ۱۳۹۱/۴/۱۱ | ۱۳۹۱ |
| - | - | - | - | ۷/۴ | ۱۳۹۱/۴/۲۶ | ۱۳۹۱ |
| - | - | - | - | *۱۲ | ۱۳۹۱/۴/۲۷ | |

تحلیل شرایط همدید سطوح بالای جو در زمان رخداد بارشی

بررسی نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل و آنومالی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۱۷ تا ۱۹ جولای ۲۰۱۵ برابر با ۲۶ تا ۲۸ تیر ۱۳۹۴ در (شکل‌های ۱ الف، ۱ ب و ۱ پ) مشخص شده است. در روز ۱۷ جولای، موج بلندی با ناوه و پشت‌های آشکار در عرض‌های ۵۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی به صورت غربی - شرقی مشاهده می‌شود. در این روز دو هسته کم‌ارتفاع هر کدام با ارتفاع ۵۴۰۰ و ۵۴۴۰ متر در عرض ۷۰ درجه مشاهده می‌شود. استقرار ناوه به نسبت عمیق بر روی شمال غرب دریای خزر با گرادیان ۲۴۰ متر شیب فشار ملایمی دارد.

در روز ۱۸ جولای، با حرکت شرق‌سوی ناوه زبانه‌های آن بر روی نیمه شمالی دریای خزر مشاهده می‌شود، به طوری که منحنی ۵۸۰۰ متری کاملاً بر روی دریای خزر قرار گرفته است. در این روز گرادیان فشار ناوه ۲۸۰ متر است که نشان‌دهنده عمیق‌تر شدن ناوه است. در این

روز جلوی فرود یا واگرایی با تاوایی مثبت کاملاً روی دریای خزر قرار گرفته که با شرایط صعود و ناپایداری، آغازگر بارش‌ها در مناطق جلگه خزری بوده است.

در روز ۱۹ جولای، با وجود حرکت شرق‌سوی موج به دلیل برخورداری از تقویت هسته‌های کم‌ارتفاع و فرارفت هوای سرد عرض‌های بالاتر، محور ناوه عمیق‌تر شده که زمینه‌ساز صعود و سرعت قائم است. آنومالی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به صورت آنومالی منفی، تحت تأثیر هوای سرد عرض‌های بالا نیمه شمالی کشور را در بر گرفته است. حرکت شرق‌سوی موج سبب شد هسته کم‌ارتفاع به سمت شرق کره زمین جابه‌جا شده و بر روی منطقه جنوب سبیری مستقر شود. گسترش ساختار نصف‌النهاری ناوه موجب فرارفت هوای سرد در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال شد. این موج توانست هوای سرد را به مناطق نیمه شمالی کشور به خصوص اطراف دریای خزر برساند و با توجه به حجم زیاد رطوبت در ایام گرم سال در تیر و قرارگیری جلو این ناوه یا واگرایی روی دریای خزر، موجب ریزش‌های شدید در روز ۱۹ جولای شد.

الگوی فشار و آنومالی تراز ۸۵۰ میلی‌باری برای روزهای ۱۷ تا ۱۹ جولای برابر با ۲۶ تا ۲۸ تیر در (شکل‌های ۱، ۱، ۱ و ۱ ج) مشخص شده است. در الگوی روز ۱۷ جولای، حاکمیت کم‌فشار پاکستان روی بخش‌های زیادی از کشور الگوی بارز است. فشار مرکزی این کم‌فشار ۱۳۹۵ هکتوپاسکال بود که منحنی‌های ۱۴۲۵ و ۱۴۴۰ بخش‌های نیمه شرقی و مرکزی کشور را تحت تأثیر قرار داد. همچنین در عرض‌های بالاتر دو حلقه کم‌فشاری در عرض ۷۰ درجه شمالی بر روی روسیه و غرب اروپا با فشار مرکزی ۱۳۲۰ هکتوپاسکال قرار گرفت. پهنه نفوذ هوای سرد عرض‌های بالا با ارتفاع ۱۴۸۰ و ۱۵۲۰ متری به صورت غربی - شرقی در منطقه شمال غرب کشور و دریای خزر مشاهده می‌شود. در عرض‌های ۶۰ و ۵۵ درجه با قرارگیری جلو فرود و بیشینه تاوایی در ارتفاع ۱۴۴۰ متری، نفوذ هوای سرد با جهت نصف‌النهاری به سمت شمال دریای خزر مشاهده می‌شود.

در الگوی روز ۱۸ جولای، کم‌فشار پاکستان تقویت شده و بیشتر مناطق کشور به جز مناطق حاشیه دریای خزر و گوشه شمال غربی را پوشش داده است. در این روز با تقویت و نفوذ هوای گرم عرض‌های جنوبی، حلقه کم‌فشاری با ارتفاع ۱۴۵۰ روی نوار غربی و کشور عراق شکل گرفت. در عرض‌های بالاتر با تغییر مکان موج به سمت شرق، نفوذ هوای سرد در عرض‌های ۴۰ درجه شمالی از سمت دریای سیاه و کشور ترکیه مشاهده می‌شود که منحنی‌های آن از ارتفاع ۱۴۸۰ تا ۱۵۲۰ متری برخوردارند. در عرض‌های بالاتر از ۵۰ درجه شمالی حلقه‌های کم‌فشاری تغییر مکان دادند و محور فرود با ارتفاع ۱۴۰۰ متری به مناطق شمالی دریای خزر در حال نفوذ بود.

در روز ۱۹ جولای، کم‌فشار پاکستان کاملاً کشور را تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری که حلقه‌ای با ارتفاع ۱۳۹۵ متری در نیمه جنوبی و جنوب‌شرقی کشور مشاهده می‌شود. در واقع در این روز حتی منطقه حاشیه دریای خزر و بخش‌هایی از شمال غرب تحت تأثیر جریان‌های گرم جنوبی قرار گرفت. در عرض‌های بالاتر حلقه‌های کم‌ارتفاع به عرض‌های ۶۰ و ۶۵ درجه جابه‌جا شد و مرکز فرود با جهت نصف‌النهاری با ۱۴۴۰ متر ارتفاع، حلقه‌ای را روی شمال دریای خطر ایجاد کرد. در واقع محور فرود بر روی شمال دریای خزر واقع شده که با شرایطی به‌نسبت پایا و قرارگیری جلو فرود بر روی دریای خزر و منطقه البرز میانی، شرایط صعود و رخداد بارش را فراهم کرد. آنومالی منفی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نفوذ جریان‌های گرم جنوبی و همچنین گرمایش سطحی را تداعی می‌کند.

تحلیل هم‌دید تراز دریا

در روز ۱۷ جولای در تراز دریا الگوی فشار از ۹۹۹ میلی‌بار در مناطق جنوبی کشور تا ۱۰۱۴ میلی‌بار بر روی دریای خزر مشاهده می‌شود. در عرض ۷۰ درجه شمالی دو مرکز کم‌فشاری یکی در غرب روسیه و شمال شرقی اروپا با هسته‌ای با فشار مرکزی ۱۰۰۹ میلی‌بار و مرکز دیگر در منطقه سبیری و بالاتر با فشار مرکزی ۱۰۰۳ میلی‌بار شکل گرفته است. در منطقه پاکستان و افغانستان هسته کم‌فشار حرارتی با فشار ۹۹۷ میلی‌بار و در کشور عربستان و خلیج فارس نیز یک هسته کم‌فشار حرارتی با فشار مرکزی برابر با ۹۹۴ میلی‌بار شکل گرفت که نشان‌دهنده گسترش جریان‌های گرم از مناطق جنوبی به کل ایران است (شکل ۱ چ). به‌طور کل الگوی کم‌فشار حرارتی، الگوی غالب در سطح زمین بوده و شرایط صعود و ناپایداری همرفتی را فراهم کرده است.

در روز ۱۸ جولای، مرکز کم‌فشاری با هسته ۱۰۱۱ میلی‌باری در عرض‌های ۵۰ تا ۶۰ درجه شمالی در شرق روسیه و شمال شرقی اروپا واقع شد. در منطقه جنوب سبیری و کشور ترکمنستان و قزاقستان هسته کم‌فشاری با فشار ۹۹۹ میلی‌بار به‌صورت شمال - جنوبی مشاهده می‌شود. هسته کم‌فشاری نیز در منطقه افغانستان به‌سمت مناطق شرقی و شمال افغانستان گسترش یافت، به‌طوری که در این روز، گسترش این زبانه به‌سمت مناطق آسیای میانه موجب تقویت جریان‌های گرم به آن مناطق شد. در غرب ترکیه و شمال غرب کشور، کم‌فشاری با هسته ۱۰۰۵ میلی‌بار و در مناطق جنوب و جنوب شرق کشور هسته‌های با فشار ۹۹۹ میلی‌باری مشاهده می‌شود (شکل ۱ ح).

در روز ۱۹ جولای، نفوذ جریان‌های سرد شمالی بر روی منطقه مشهود است. در این روز دو هسته عمده فشار یکی بر جنوب روسیه در نیمه غربی و دیگری بر روی نیمه شرقی روسیه در منطقه سیبری و مجاور آن واقع شد. در بخش شرقی در منطقه سیبری هسته‌ای با فشار مرکزی ۹۹۹ میلی‌بار به صورت غربی - شرقی روی عرض‌های ۵۵ تا ۶۵ درجه شمالی قرار گرفت. مرکز کم‌فشاری با فشار ۹۹۹ میلی‌بار نیز روی خلیج فارس و عراق مستقر شد. هسته پرفشاری با فشار ۱۰۱۵ میلی‌بار روی شمال دریای سیاه و دریای خزر مشاهده می‌شود (شکل ۲ خ). به طور کل، الگوی غالب در سطح زمین برابر با حاکمیت کم‌فشار پاکستان با دو هسته شرقی و غربی روی پاکستان و خلیج فارس با فشار مرکزی به ترتیب ۱۰۰۰ و ۹۹۷ میلی‌باری است. در تراز دریا، آنومالی کل کشور به صورت منفی مشاهده می‌شود.

نقشه‌های سرعت قائم (أمگا)

شاخص أمگا، در تحلیل‌های هم‌دیدی رخدادهای فرین مانند بارش‌های شدید و ناگهانی حایز اهمیت است. در واقع با این پارامتر می‌توان سرعت صعود یا نزول را در ترازهای مختلف مشخص کرد (شکل‌های ۲ د، ۲ ذ، ۲ ر). وضعیت سرعت قائم (أمگا) در روزهای ۱۷ تا ۱۹ جولای در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. در روز ۱۷ جولای بیشتر مناطق کشور شرایط أمگای مثبت و پایدار داشت، اما در مناطق شمال غرب کشور و جنوب غرب دریای خزر، میدان أمگای منفی با ارزش ۰/۱۵- شکل گرفت. در روز ۱۸ جولای، بر وسعت میدان أمگا افزوده شد، به طوری که منطقه غرب کشور را نیز پوشش داد. این میدان با جهت شمالی - جنوب غربی از ارزش أمگای ۰/۱- تا ۰/۲- برخوردار بود. در ۱۹ جولای میدان أمگا وسیع‌تر شد و همچنان با جهت شمالی - جنوبی در مناطق مرکزی کشور و دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز به میزان ۰/۲- مشاهده شد. بیشترین هسته أمگای منفی به ارزش ۰/۳- بر دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی وجود داشت.

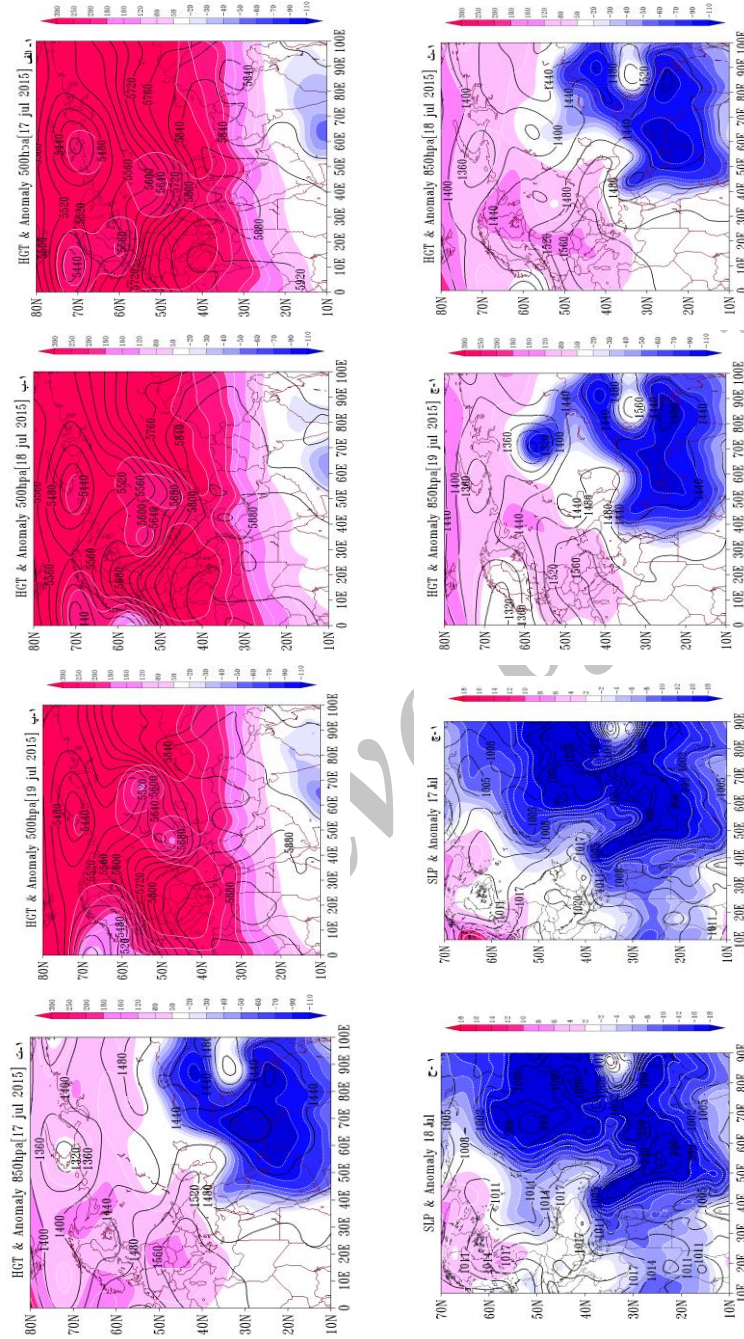
وضعیت أمگا در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۱۷ تا ۱۹ جولای در شکل ۲ ز، ۲ ژ، ۲ س مشخص شده است. در روز ۱۷ جولای میدان أمگا کوچک‌تر از روزهای دیگر بود و فقط در نیمه شمالی کشور به خصوص البرز مرکزی با هسته أمگایی بین ۰/۳- تا ۰/۳۵- برقرار بود. در ۱۸ جولای میدان أمگا گسترش یافت و به مناطق نیمه جنوبی البرز و ایران مرکزی جابه‌جا شد. در این روز میزان أمگا به ۰/۲- تا ۰/۲۵- رسید. در ۱۹ جولای، میدان أمگا به بالاترین وسعت خود رسید و با روندی شمالی - جنوب غربی مناطقی از نیمه غربی کشور را نیز پوشش داد. میزان أمگای این میدان ۰/۲- تا ۰/۳- و هسته اصلی أمگای منفی در دامنه‌های جنوبی

البرز واقع بود که شرایط صعود و ناپایداری بالا در زمان رخداد بارشی منجر به سیل را نشان می‌دهد. به‌طور کل، در تراز ۸۵۰ میلی‌باری میزان صعود و شرایط ناپایداری بیشتر از تراز ۵۰۰ میلی‌باری مشاهده می‌شود.

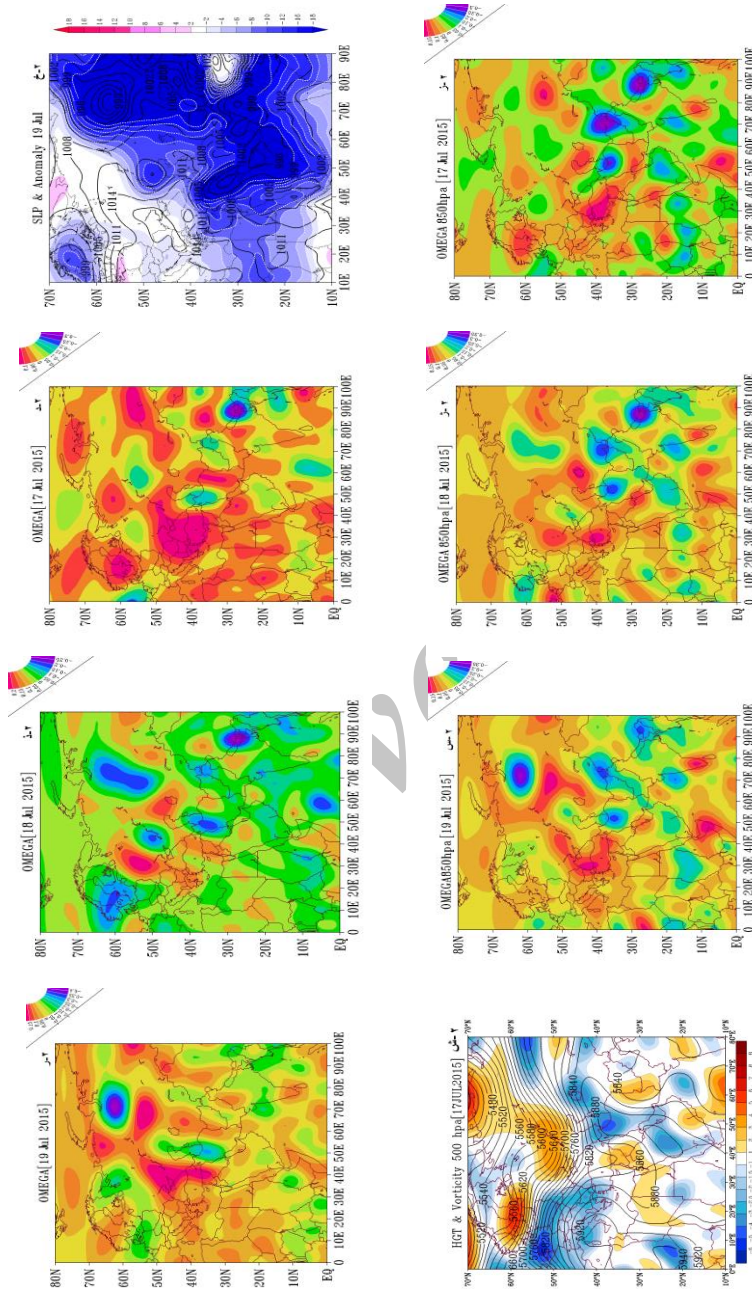
تاوایی نسبی

تاوایی نسبی یکی از مهم‌ترین پارامترهای جوی است که در دینامیک پدیده‌های جوی تأثیر زیادی دارد. در واقع تاوایی ارتباط سامانه‌های فشار سطح زمین را با سطوح بالای جوی مشخص می‌کند. در شکل‌های ۲ ش، ۳ ط و ۳ ظ، الگوهای تاوایی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال مشخص شده است. در کل کشور جوی فرازمند با تاوایی منفی مشاهده می‌شود. در روز ۱۷ جولای یا نزدیک شدن ناوه میزان تاوایی مثبت یا سیکلونی به تدریج افزایش یافت و در روز ۱۹ جولای مطابق با زمان رخداد بارشی به اوج خود رسید. در روز ۱۷ جولای هسته تاوایی در شمال و شمال غرب ایران به میزان ۱+ تا ۳+ بر روی شرق دریای سیاه قرار گرفت (شکل ۲ ش). در ۱۸ جولای با حرکت شرق‌سوی موج، میدان تاوایی با روندی شمالی - جنوبی و با هسته‌ای به میزان ۲+ تا ۵+ روی بخش‌های شمالی دریای خزر قرار گرفت (شکل ۳ ط). در ۱۹ جولای دو هسته تاوایی مشاهده می‌شود: یکی با حداکثر تاوایی مثبت به میزان ۹+ در بخش‌های غربی نیمه شمالی دریای خزر و دیگری روی نیمه غربی و نوار مرزی کشور با تاوایی مثبت به میزان ۴+ تا ۵+ (شکل ۳ ظ). اوج تاوایی در زمان رخداد بارشی در جلو ناوه و در نیمه شمالی دریای خزر مشاهده می‌شود. در دوره گرم سال میزان چرخندگی منفی بیشتر است، که در واقع فراوانی سامانه‌های پرفشاری و شکل‌گیری فصل خشک را تداعی می‌کند.

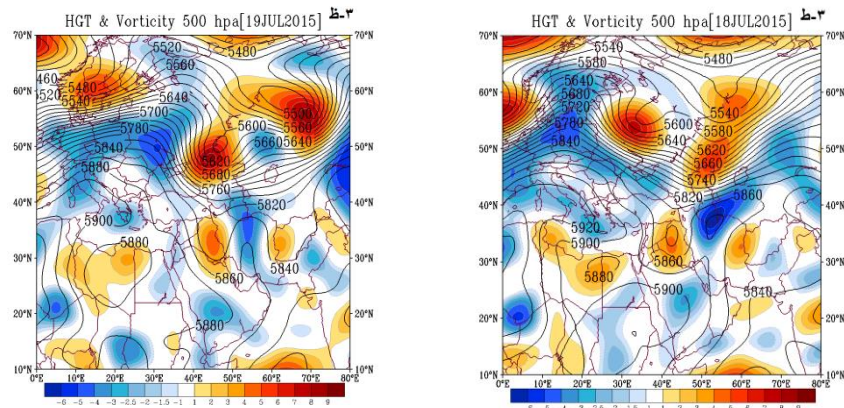
در تراز ۸۵۰ میلی‌باری به دلیل حاکمیت کم‌فشار پاکستان روی بیشتر بخش‌های کشور، میزان تاوایی نسبی به صورت مثبت در نیمه غربی و جنوبی کشور مشاهده می‌شود. هسته اصلی این تاوایی مثبت به میزان ۴+ تا ۵+ فقط در نیمه غربی کشور قرار گرفت. وجود تاوایی نسبی مثبت از دو روز قبل از رخداد بارشی در این سطح از جو به دلیل برقراری کم‌فشار پاکستان بوده است؛ با نفوذ و گسترش تراز بالایی جو به تدریج تاوایی نسبی نیز افزایش یافت.



شکل ۱. الگوی فشار HGT و آنومالی HGT تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نقشه‌های (الف، ب و پ) و ۸۵۰ هکتوپاسکال نقشه‌های (ت، ث و ج) برای روزهای ۱۷ تا ۱۹ جولای ۲۰۱۵. آنومالی و فشار تراز دریا نقشه‌های (ا، ب و ج) برای روزهای ۱۷ و ۱۸ جولای ۲۰۱۵



شکل ۲. الگوی فشار و آنومالی تراز دریا در روز ۱۹ جولای ۲۰۱۵ نقشه (خ)، سرعت قائم (اُگما) نقشه‌های (د، ۲، ۳ و ۴) در تراز ۵۰۰ میلی‌باری و نقشه‌های (۲، ۳، ۴) در تراز ۸۵۰ میلی‌باری برای روزهای ۱۷ تا ۱۹ جولای ۲۰۱۵. برابر با ۲۶ تا ۲۸ تیر ۱۳۹۴



شکل ۳. الگوی فشار و تاوایی نسبی تراز ۵۰۰ میلی‌باری در روزهای ۱۸ و ۱۹ جولای ۲۰۱۵، برابر با ۲۷ و ۲۸ تیر ۱۳۹۴، نقشه‌های (۳ ط و ۳ ظ)

شاخص‌های ناپایداری

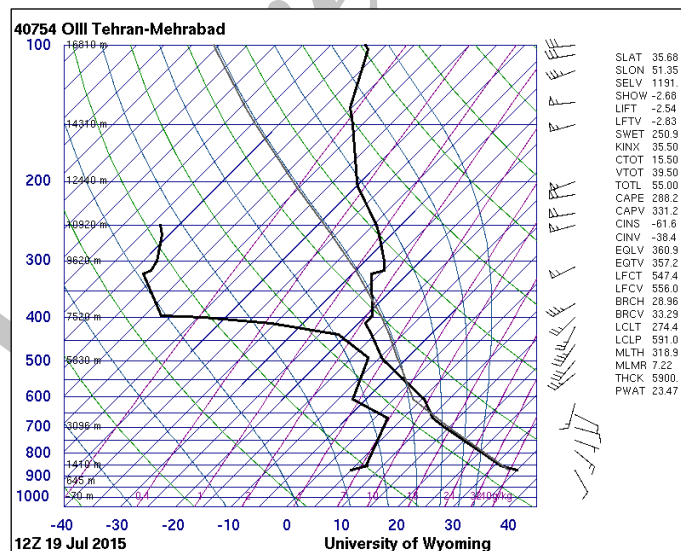
ناپایداری شدید جو یکی از عامل‌های مهم در ظهور و بروز رخداد‌های بارشی شدید در دوره گرم سال محسوب می‌شود [۱۸]. در شکل ۴، شاخص‌های ناپایداری مختلف و نمودار Skew-T عصرگاهی برای روز ۱۹ جولای همزمان با وقوع رخداد بارشی حاصل از کاوشگری سطح بالای جو روی ایستگاه تهران (مهرآباد) مشخص شده است. این نمودار درجه حرارت را بر محورها به صورت اریبی از پایین‌ترین تا بالاترین مقدار نشان می‌دهد. محور عمودی مقدار فشار به صورت لگاریتمی است، به طوری که فشار از پایین به بالای نمودار کاهش می‌یابد [۱۷].

این نمودار ستون ناپایدار هوا بر روی سطح و درون تراز میانی جو را نشان می‌دهد. شرایط جوی ناپایدار موجب شده تا ستون هوای ناپایدار و مرطوب در منطقه تا ۱۰۹۲۰ متری ارتفاع یابد و این نشان‌دهنده یک لایه همرفتی عمیق و قوی در زمان رخداد بارشی شدید در منطقه بوده است. در عصرگاه روز واقعه، شاخص‌های ناپایداری در بیشتر موارد بالاتر از حدود مورد نظر بود و بیشتر شاخص‌ها بر ناپایداری عمیق در این روز دلالت دارند.

با توجه به معیار شاخص ناپایداری شوالتر [۱۲] این مقدار به دست آمده در طبقه احتمال ناپایداری شدید، $ST < -3$ قرار می‌گیرد. بنابراین در روز رخداد بارشی مذکور ناپایداری شدید رخ داده است. مقدار بالای شاخص SWET به میزان ۲۵۰/۹، نوسان بالایی در جهات باد در سطح زمین و هم در سطوح بالای جو و همچنین وضعیت ناپایداری بدون خطر توفان را نشان می‌دهد. نتایج شاخص Index Lifted، به میزان $-2/54$ نشان‌دهنده سطح بالای صعود یا بالاروی

بسته هواست. مقدار شاخص به دست آمده از این شاخص براساس مطالعات [۱۶] در طبقه احتمال وقوع توفان قرار می گیرد. براساس شاخص KINX ناپایداری و همرفت به میزان ۳۵/۵۰ از همرفت پتانسیل متوسط برخوردار است؛ این شرایط احتمال ۲۰ تا ۴۰ درصد توفان تندی را نشان می دهد. شاخص CTCT، که کل نیمرخ عرضی را نشان می دهد به مقدار ۱۵/۵۰ نشان دهنده شرایط ناپایداری و صعود عمیق است. مقدار شاخص CAPE نشان می دهد که انرژی پتانسیل برای وضعیت همگرایی در سطح متوسط قرار دارد. PWAT مقدار آب قابل بارش به ۲۳/۴۷ میلی متر نشان می دهد که مقدار بخار آب لازم برای رخداد بارشی شدید در منطقه فراهم بوده است.

نتایج شاخص های ناپایداری حاصل از کاوشگر سطح بالا روی ایستگاه تهران نشان می دهد که شرایط ناپایداری و بالاروی یا صعود و همگرایی برای رخداد بارشی در منطقه فراهم بوده است. در واقع سطح ناپایداری و صعود در منطقه به نسبت شدید و نزدیک به توفان تندی بوده، اما شرایط توفان در آن شکل نگرفته است. با استناد به نتایج کاوشگری سطح بالا می توان بیان کرد که عامل ایجاد این رخداد بارشی شرایط محلی و سطوح بالای جو در ارتباطی متقابل بوده است، یا به طریقی دیگر فرارفت هوای سرد عرض های بالا و گرمایش سطح زمین در منطقه در اندرکنش با هم، موجب ناپایداری و صعود ناگهانی هوا و شکل گیری بارش شدید در منطقه شده است.



شکل ۴. نمودار $Skew-t$ ایستگاه تهران (فرودگاه مهرآباد) ساعت ۱۲ عصر به وقت گرینویچ ساعت ۱۵

بارش‌های شدید موجب سیلاب‌های ناگهانی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در استان البرز محسوب می‌شود. از آنجا که شرایط جوی عامل اصلی بارش‌های شدید منجر به سیل است، شناخت رفتار جو در قالب مطالعات همدید حایز اهمیت است. بررسی و آگاهی از شرایط جوی رخداد بارش‌های شدید، می‌تواند برنامه‌ریزان و مدیران را در زمینه شناخت بیشتر و اعمال برنامه‌های پیشگیرانه یاری دهد، زیرا زیربنای مدیریت بحران، پیشگیری قبل از وقوع بحران است. منطقه تحقیق، با وجود راه مواصلاتی چالوس و قرارگیری در مجاورت شهر تهران یکی از مناطق متراکم جمعیتی محسوب می‌شود. نبود پوشش گیاهی و شیب زیاد آن را به یکی از مناطق مستعد سیلاب تبدیل کرده است. تعرض به حریم رودخانه‌ها، تغییر کاربری‌ها و تخریب منابع طبیعی در جهت اهداف توریستی - اقتصادی از یک طرف و نبود مطالعات پایه جغرافیایی و عمرانی لازم بر روی مسیرهای منتهی به سکونتگاه‌ها، مهم‌ترین مسائل انسانی تشدیدکننده وقوع سیلاب‌ها در منطقه محسوب می‌شوند. تجربه نشان داده که در زمان وقوع سیل در این منطقه، بیشتر روستاییان و ساکنان شهرهای کوچک در مناطق مرتفع و صعب‌العبور آسیب می‌بینند؛ زیرا زیرساخت‌های ضعیف از قبیل جاده، پل و غیره و همچنین بار ترافیکی شدید در مسیر جاده اصلی، مانع و موجب تأخیر در کمک‌رسانی به‌موقع می‌شود. بنابراین، اجرای برنامه‌های مختلف با رویکرد پیشگیرانه و قبل از وقوع بحران مؤثرترین راهکار در زمینه کاهش خسارات احتمالی سیل محسوب می‌شود.

محور راهکارهای کاهش آثار مخاطرات طبیعی، آگاه‌سازی عمومی و اطلاع‌رسانی در راستای اقدامات پیشگیرانه قبل از وقوع بلایا و بحران‌های طبیعی است. از آنجا که بارش شدید مقدمه و بنیاد سیل است، علم و آگاهی از شرایط جوی در سطح زمین و سطوح بالای جو می‌تواند به‌عنوان سامانه معتبر اخطار سیل در کاهش و مدیریت ریسک چنین مخاطرات اقلیمی مؤثر واقع شود. اعمال برنامه‌های مدیریت آبخیز، مطالعات جغرافیایی و اقلیمی، جلوگیری از چرای مفرط دام، جلوگیری از تعرض به حریم رودخانه‌ها و اعمال برنامه‌های ساختمانی بر روی مسیل‌های فرعی و اصلی و تجهیز پایگاه‌های امداد و نجات در مناطق پرخطر را می‌توان مهم‌ترین راهکارهای آمادگی در برابر مخاطره سیل در منطقه تحقیق دانست. شایان ذکر است که رخدادهای طبیعی همیشه مخرب نیستند و فقط نبود برنامه‌ریزی لازم و تغییر کاربری‌های طبیعی بر دامنه خسارات این رخدادها می‌افزاید.

نتیجه‌گیری

وجود هوای سرد در جو بالا، ایجاد ناوه عمیق و شبه‌پایا، جریان‌های شمال غربی، مشخصه‌های عمده همدیدی حاکم بر رخداد بارشی مذکور در سطوح بالای جو محسوب می‌شوند. الگوی غالب در تراز دریا، حاکمیت کم‌فشار پاکستان با دو هسته غربی و شرقی بر روی پاکستان و خلیج فارس است که شرایط صعود همرفتی در آن فراهم بوده است. شاخص سرعت قائم (أمگا) منفی در روز بارشی شرایط صعود و ناپایداری شدید را نشان می‌دهد. میزان تاوایی نسبی در ایام گرم سال بیشتر منفی است و تنها سامانه‌های مهاجر در قالب الگوهای سطوح بالای جو می‌توانند در ایجاد چرخندگی مثبت مؤثر باشند. میزان تاوایی نسبی در سطح ۸۵۰ میلی‌باری خیلی کمتر از سطح ۵۰۰ میلی‌باری است، این نشان می‌دهد که سطوح بالای جو تأثیر زیادی در صعود و ارتباط با سامانه‌های سطح زمین دارد. اختلاف حرارتی زیاد بین سطح بالای جو و سطح زمین در فصل گرم موجب بارش‌های شدید می‌شود. کاوشگری سطح بالای جو و نتایج شاخص‌های ناپایداری، نشان‌دهنده وضعیت ناپایداری به نسبت شدید و مهیای شرایط صعود و بخار آب لازم برای چنین رخدادی از سطح ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌باری بوده است. سطح ناپایداری و صعود در منطقه به نسبت شدید و نزدیک به توفان تندی بوده، اما شرایط توفان در آن شکل نگرفته است. با استناد به نتایج کاوشگری سطح بالای جو، عامل ایجاد این رخداد بارشی، شرایط محلی و سطوح بالای جو در ارتباطی متقابل بوده یا به طریقی دیگر، فرارفت هوای سرد عرض‌های بالا و گرمایش سطح زمین در منطقه در اندرکنش با هم موجب ناپایداری و صعود ناگهانی هوا و شکل‌گیری بارش شدید در منطقه شده است. واکاوی بارش‌های شدید منجر به سیلاب ناگهانی اهمیت زیادی در آگاهی‌بخشی، آمادگی و پیشگیری قبل از وقوع چنین بحران‌های طبیعی دارد. علم و آگاهی از شرایط هوا و اقلیم در سطح زمین و سطوح بالای جو به‌عنوان سامانه معتبر اخطار سیل در مدیریت ریسک این‌گونه مخاطرات اقلیمی اهمیت دارد.

منابع

- [۱]. احمدی، محمود؛ جعفری، فرزانه (۱۳۹۴). واکاوی بارش فوق سنگین ۲۳ اسفند ۱۳۹۲ مولد سیلاب مخرب در شهرستان بندرعباس، دانش مخاطرات، شماره ۳: ۳۰۷-۳۲۴.
- [۲]. امیدوار، کمال؛ الفتی، سعید؛ اقبالی بابادی، فریبا و مرادی، خدیجه (۱۳۹۲). واکاوی ترمودینامیکی بارش‌های سنگین ناشی از پدیده سردچال جوی در نواحی مرکزی و جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: رخداد بارش ۱۱ آذر ۱۳۸۷). نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۵: ۱-۱۹.

- [۳]. امینی، میترا؛ لشکری، حسن؛ کریمپور، مصطفی و حجتی، زهرا (۱۳۹۲). تحلیل سینوپتیک سامانه‌های همراه با بارش سنگین و سیل زا در حوضه رودخانه کشکان برای دوره آماری (۱۳۸۴-۱۳۵۰). نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۴۳: ۲ - ۱.
- [۴]. اکبری، مه‌ری؛ محمدی، حسین؛ شمسی‌پور، علی اکبر (۱۳۹۳). بررسی تغییرات شاخص‌های دینامیکی همزمان با توفان‌های حوضه آبریز کارون. نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۴۸: ۳۶ - ۱۷.
- [۵]. رحیمی، داریوش (۱۳۸۸). تأثیر رگبارهای منفرد بر مدیریت بحران سیل (نمونه مطالعاتی حوضه فارسان). نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳: ۱۰۰ - ۸۵.
- [۶]. صلاحی، برومند؛ عالی جهان، مهدی (۱۳۹۲). تحلیل سینوپتیکی مخاطرات اقلیمی شهرستان یاسوج (مطالعه موردی: بارش سنگین ۲۰ اسفند ۱۳۸۹). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۵: ۷۳ - ۸۹.
- [۷]. عزیز، قاسم؛ صمدی، زهرا (۱۳۸۶). تحلیل سینوپتیکی سیل ۲۸ مهرماه ۱۳۸۲ استان‌های گیلان و مازندران. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰: ۷۴ - ۶۱.
- [۸]. علیجانی، بهلول (۱۳۸۵). اقلیم‌شناسی سینوپتیک. چاپ دوم. تهران: انتشارات سمت.
- [۹]. علیجانی، بهلول؛ رضایی، غلامحسین (۱۳۹۳). توزیع زمانی - مکانی تاوایی نسبی در ایران با تأکید بر بارش، فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا، انجمن جغرافیای ایران. شماره ۴۲: ۱۰۲ - ۸۹.
- [۱۰]. گزارش عملکرد معاونت امداد و نجات، جمعیت هلال احمر استان البرز (۱۳۹۴). جمعیت هلال احمر استان البرز.
- [۱۱]. گندمکار، امیر (۱۳۹۱). مدیریت بحران وقوع سیل در شهر اصفهان با استفاده از سامانه‌های جوی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲: ۱۲۷ - ۱۱۶.
- [۱۲]. لشکری، حسن (۱۳۹۰). اصول، مبانی، تهیه و تفسیر نقشه‌ها و نمودارهای اقلیمی. تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- [13]. Ahasan, M. N., & Khan, A. Q. (2013). Simulation of a flood producing rainfall event of 29 July 2010 over north-west Pakistan using WRF-ARW model. *Natural hazards*, 69(1): 351-363. DOI: 10.1007/s11069-013-0719-6.
- [14]. Burgess, C. P., Taylor, M. A., Stephenson, T., & Mandal, A. (2015). Frequency analysis, infilling and trends for extreme precipitation for Jamaica (1895-2100). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3: 424 - 443. DOI:10.1016/j.ejrh.2014.10.004.
- [15]. Borga, M., Anagnostou, E. N., Blöschl, G., & Creutin, J. D. (2011). Flash floodcasting, warning and risk management: the HYDRATE project.

- Environmental Science & Policy, 14(7): 834-844. DOI:10.1016/j.envsci.2011.05.017.
- [16]. Duan, W., He, B., Takara, K., Luo, P., Nover, D., Yamashiki, Y., & Huang, W. (2014). Anomalous atmospheric events leading to Kyushu's flash floods, July 11–14, 2012. *Natural Hazards*, 73(3):1255-1267. DOI: 10.1007/s11069-014-1134-3.
- [17]. Huntrieser, H., Schiesser, H. H., Schmid, W., & Waldvogel, A. (1997). Comparison of traditional and newly developed thunderstorm indices for Switzerland. *Weather and Forecasting*, 12(1): 108-125. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0434\(1997\)012<0108:COTAND>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0434(1997)012<0108:COTAND>2.0.CO;2).
- [18]. Joffe, H. Rossetto, T, and Adams, J. 2013. *Cities at risk, living with perils in the 21 st century*. Springer Dordrecht Heidelberg New Yourk London. ISBN 1878-9897.
- [19]. Kömüščü, A. Ü., & Çelik, S. (2013). Analysis of the Marmara flood in Turkey, 7–10 September 2009: an assessment from hydrometeorological perspective. *Natural hazards*, 66(2): 781-808. DOI: 10.1007/s11069-012-0521-x.
- [20]. Montesarchio, V., Napolitano, F., Rianna, M., Ridolfi, E., Russo, F., & Sebastianelli, S. (2015). Comparison of methodologies for flood rainfall thresholds estimation. *Natural Hazards*, 75(1): 909-934. DOI: 10.1007/s11069-014-1357-3.
- [21]. Matsangouras, I. T., Nastos, P. T., & Pytharoulis, I. (2016). Study of the tornado event in Greece on March 25, 2009: Synoptic analysis and numerical modeling using modified topography. *Atmospheric Research*, 169:566-583. DOI:10.1016/j.atmosres.2015.08.010.
- [22]. Ntelekos, A. A., Smith, J. A., & Krajewski, W. F. (2007). Climatological analyses of thunderstorms and flash floods in the Baltimore metropolitan region. *Journal of Hydrometeorology*, 8(1): 88-101. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JHM558.1>.
- [23]. Rulfová, Z., Buishand, A., Roth, M., & Kyselý, J. (2016). A two-component generalized extreme value distribution for precipitation frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 534: 659-668. DOI:10.1016/j.jhydrol.2016.01.032.
- [24]. Siedlecki, M. (2009). Selected instability indices in Europe. *Theoretical and applied climatology*, 96(1-2): 85-94. DOI:10.1007/s00704-008-0034-4.
- [25]. World Meteorological Organization. (2011). *Manual on flood forecasting and warning*. WMO-No. 1072,
- [26]. Zhang, K. Pan, Sh. Cao, L. Wang, Y. Zhao, Y and Zhang, W. 2014. Spatial istribution and temporal trends in precipitation extremes over the Hengduan mountain region, China, from 1961 to 2012. *Quaternary International* 349: 346 - 356. DOI: 10.1016/j.quaint.2014.04.050.
- [27]. Zheng, Z., Qi, S., & Xu, Y. (2013). Questionable frequent occurrence of urban flood hazards in modern cities of China. *Natural hazards*, 62: 1009-1020. DOI.10.1007/11069-012-0397-9.
- [28]. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/NCEP/NCAR/Reanalysis>.
- [29]. <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.