

صص ۹۷-۱۱۴

بررسی جنبه‌های همدیدی سیلاب‌های شدید حوضه رودخانه ارس با استفاده از شاخص‌های همگرایی شار رطوبت، جبهه‌زایی و واگرایی

مهدی صداقت*

استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

حسن حاجی محمدی

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

فرگس ناصری

کارشناسی ارشد آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۲۸

چکیده

سیلاب پدیده‌ای است که اکثر نواحی اقلیمی کم و بیش آن را تجربه می‌نمایند. سیلاب‌ها اغلب معضلاتی همچون؛ فرسایش خاک، انباشت رسوب و خسارات جانی و مالی را در پی دارند؛ بنابراین اقلیم‌شناسی سیلاب نقش مهمی در کاهش و جلوگیری از آسیب‌های زیست‌محیطی احتمالی ناشی از آن دارد. به‌منظور بررسی اقلیمی سیلاب‌های حوضه رودخانه ارس، از داده‌های روزانه ۹ ایستگاه هیدرومتری و ۶ ایستگاه همدید طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۴۸ استفاده شده است. همچنین داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار تراز دریا، نم ویژه، شاخص امگا و مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد از تارنمای مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی و علوم جو دریافت شد. پس از تعیین رژیم ماهانه و فصلی رودخانه و شناسایی روزهای سیلابی، سیلاب‌های شدید با دبی لحظه‌ای بیش از ۷۰۰ مترمکعب در ثانیه در محل ایستگاه خدا آفرین مشخص گردید. در ادامه برای تحلیل الگوهای همدید عامل بروز سیلاب‌های شدید حوضه ارس از شاخص‌های؛ تابع همگرایی شار رطوبت، تابع جبهه‌زایی و تابع واگرایی استفاده شده است. نتایج نشان داد که طی ۴ سیلاب شدید منطقه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پدیده‌های جوی همچون؛ فرودی عمیق بر روی دریای سیاه، سرخ و خلیج فارس و یک هسته سرد چال بر روی غرب دریای خزر مستقر شده است. در تراز دریا نیز تشکیل پرفشار بر روی خزر و کم‌فشار بر روی عراق و غرب ایران سبب شده تا شیب تغییرات فشار در منطقه افزایش یافته و شرایط را برای صعود فراهم نماید. اعمال تابع همگرایی شار رطوبت نشان داد که منبع اصلی رطوبت این سیلاب‌ها عمدتاً دریای خزر بوده است.

واژگان کلیدی: سیلاب، تابع همگرایی شار رطوبت، جبهه‌زایی، واگرایی، رودخانه ارس.

مقدمه

رخداد سیلاب یکی از سه بلاهای طبیعی و اصلی کشور ایران است (وزارت نیرو، ۱۳۹۵: ۵). سیل باعث آسیب شدید به سطوح مختلف زیرساخت‌های اقتصادی و جامعه می‌شود (واقفی و همکاران، ۲۰۱۹: ۱)؛ بنابراین پیش‌بینی رخداد سیلاب نقش مهمی در کاهش و جلوگیری از خسارات زیست‌محیطی احتمالی دارد (علیچانی، ۱۳۸۱: ۱۹). تغییرات زمانی-مکانی الگوهای گردش عمومی هوا سبب ناهنجاری در عناصر جوی مانند بارندگی، دما، رطوبت و ... شده که پدیده‌هایی همچون سیلاب را در پی دارد (یارنال ۱۹۹۳). با بررسی ارتباط الگوهای گردش با دبی حوضه لدینگ ریج بیان داشت توالی الگوهای گردش توانایی تبیین رویدادهای محیطی را دارند. از این‌رو مطالعه ترکیبی متغیرهای دینامیکی و ترمودینامیکی اقلیمی امکان پیش‌بینی زمان و مکان رخداد سیلاب‌های عمده را فراهم می‌کند (کاهانا و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۶۷).

اقلیم‌شناسی همدید سیلاب‌ها با دو رویکرد اصلی توسط پژوهشگران دنبال شده است. رویکرد نخست، تحلیل رویدادهای بارش حدی و بررسی سامانه‌های همدیدی مرتبط با سیلاب‌ها بوده است. از جمله اولین پژوهش‌های که رابطه الگوهای همدید با طغیان رودخانه‌ها در ایالات متحده را بررسی کردند؛ مادوکس و چاپل^۱، ۱۹۷۹؛ یارنال^۲ و دیاز^۳، ۱۹۸۶ و چانگنون^۴ و همکاران، ۱۹۹۳؛ سنسی و همکاران، ۱۹۹۶؛ یارنال و فریک، ۱۹۹۷؛ لایینگ، ۲۰۰۴ بودند. در سال‌های اخیر نیز (کورتیس ۲۰۱۷: ۷۸) عوامل کلیدی محرک بارش باران سنگین همچون: رطوبت ویژه بالا، حرکت عمودی عمیق و طول مدت بارندگی را در دو مقیاس همدید و میان مقیاس مورد بررسی قرار داده است. ناهنجاری‌های مثبت در رطوبت ویژه و جریان رود باد ناوه سطح بالا، محیطی مطلوب را برای تشکیل سیلاب‌ها فراهم ساخته که به همراه ایجاد یک جت تراز پایین، انتشار سیستم همرفتی به سمت پورتلند را در پی داشته است (کورتیس، ۲۰۱۷: ۸۰).

با چنین رویکردی در ایران نصیری (۱۳۷۸: ۱۸۵)، با مطالعه بارش حوضه رودخانه دز و کرخه، بیان داشت که بارش حوضه دز متأثر از کم‌فشارهای سودانی و بارش حوضه کرخه تحت تأثیر کم‌فشارهای مدیترانه‌ای می‌باشد. مسعودیان (۱۳۸۴: ۱۷۸) الگوهای گردش پدید آورنده سیلاب‌های بزرگ در کارون را شناسایی نمود و نشان داد که ناهنجاری‌های ارتفاع ژئو پتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، می‌تواند ابزار سودمندی برای پیش‌بینی متغیر بارش و به تبع آن پیش‌بینی سیلاب باشد. حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۸۶: ۱۲۵) به بررسی و شناسایی الگوهای سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مولد سیلاب‌های مخرب و فراگیر سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. تحلیل همدید عوامل ایجاد ۱۳ بارش سیل‌زا در استان گلستان نشان داده است که این بارش‌ها از چهار الگوی همدید پیروی کرده‌اند (لشکری و همکاران، ۱۳۸۷: ۲۱۰). همچنین رضایی (۱۳۸۸: ۱۰۵) الگوهای همدید مؤثر در ایجاد سیلاب‌های حوضه ماسوله را در بازه زمانی (۸۳-۱۳۶۳) بررسی نموده است. وی اظهار داشت که الگوهای سیل‌زا با موقعیت سامانه‌های چرخندی و واچرخندی نسبت به

¹ Chappell

² Yarnal

³ Diaz

⁴ Changnon

حوضه و مسیر حرکت آن‌ها از روی منابع رطوبتی مرتبط هستند. پرنده خوزانی و لشکری (۱۳۸۹: ۶۶) ۲۰ سیل شدید را به لحاظ دبی بالا، بارش فراگیر و حجم خسارات انتخاب و با تفسیر نقشه‌ها چهار الگوی همیدی را برای سیلاب‌های منطقه جنوب ایران معرفی نمودند. همچنین کرمپور و همکاران (۱۳۹۱: ۹۹) با بررسی داده‌های تراز ۵۰۰ و ۱۰۰۰، از ۲۸ رویداد سیلاب بزرگ در استان لرستان به چهار الگوی غالب رسیدند. بررسی رابطه بارش‌های سنگین با الگوهای گردشی جو بالا در استان خراسان رضوی منجر به شناسایی چهار الگوی گردشی در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال شد که از آن میان دو الگو به نام‌های فرود دریای خزر-احمر و فرود مدیترانه-جنوب اروپا بیشتر بارش‌ها را توجیه نمودند (غیور و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱). در همین رابطه، تحلیل همید ۱۰۷ بارش سیل‌آسای استان کردستان منجر به شناسایی دو الگوی همید فصل مرطوب و یک الگوی همید فصل خشک در داده‌های تراز دریا شد (دارند، ۱۳۹۴: ۴۷). رضایی و همکاران (۱۳۹۶: ۵۱) نیز با تحلیل همید منشأ بارش‌های بیش از ۲۰ میلی‌متر در استان سیستان و بلوچستان نسبت به هشدار سیلاب‌های ناشی از آن اقدام نمودند. ایشان با شناسایی ۷۲ رویداد بارشی در نهایت ۳۸ مورد از سامانه‌های همید زمستانه عامل رویدادهای بارش و سیلاب‌های ناشی از آن‌ها را تحلیل کردند.

رویکرد دوم بررسی شرایط همیدی طوفان‌های تندری و سیلاب‌های ناشی از آن‌ها، در قالب وقایعی انفرادی می‌باشد. با این رویکرد؛ السنر^۱ و همکاران، ۱۹۸۹؛ آندروود^۲ و همکاران، ۲۰۰۹ و کاپلان^۳ و همکاران، ۲۰۰۹، سیلاب‌ها در ایالت‌های مختلف آمریکا را بررسی کردند. همچنین کوه^۴ و همکاران (۱۹۸۶) سیلاب‌های شدید حوضه سیچوان چین، طی روزهای ۱۵-۱۱ ژوئای ۱۹۸۱ را در دو مقیاس بزرگ و متوسط همیدی بررسی و به این نتیجه رسیدند که در اوایل سیلاب، موقعیت مناسب فراز جنب حاره اقیانوس آرام و کاهش و افشار بادهای موسمی هند، باعث جریان نسبتاً قوی بادهای موسمی جنوبی در نزدیکی حوضه شده است.

در ایران بابائیان (۱۳۸۰: ۱۱)، الگوی سینوپتیکی سیل مردادماه سال ۱۳۸۰ استان گلستان را با استفاده از نقشه‌های سطح زمین و ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال مطالعه و نتیجه گرفت که جابه‌جایی چرخند جنب‌حاره‌ای، کسب تاوایی توسط جریانات سطوح میانی جو، حرکت هوای سرد عرض‌های شمالی به دریای خزر و تقویت کم‌فشار حرارتی در نواحی مرکزی و جنوب کشور باعث بارندگی سنگین و سیل‌آسا در منطقه شده است. رحیمی و همکاران (۱۳۹۱: ۵۹ و ۱۳۹۲: ۱۳۱) به تحلیل ترمودینامیکی و سینوپتیکی سیلاب لحظه‌ای ۱۳۸۴/۱۱/۲۱ در حوضه زاینده‌رود پرداختند. پژوهش‌های دیگری با رویکردی مشابه با پیگیری همان سامانه سیلابی توسط فرج‌زاده و رجایی (۱۳۹۲: ۱۴۳) و همچنین آروین و محمدی‌نژاد (۱۳۹۴: ۷۵) به ترتیب در استان لرستان و در حوضه زاینده‌رود صورت پذیرفته است. همچنین الگوهای همیدی بارش سنگین مولد سیلاب مخرب ۱۳ بهمن ۱۳۸۹ در شهرستان جیرفت توسط قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۳: ۱۶۱) مورد بررسی قرار گرفته است. رسولی و همکاران (۱۳۹۵: ۱۳۳) نیز عملکرد ۱۳ شاخص همیدی را برای

¹ Elsner

² Underwood

³ Kaplan

⁴ Kuo

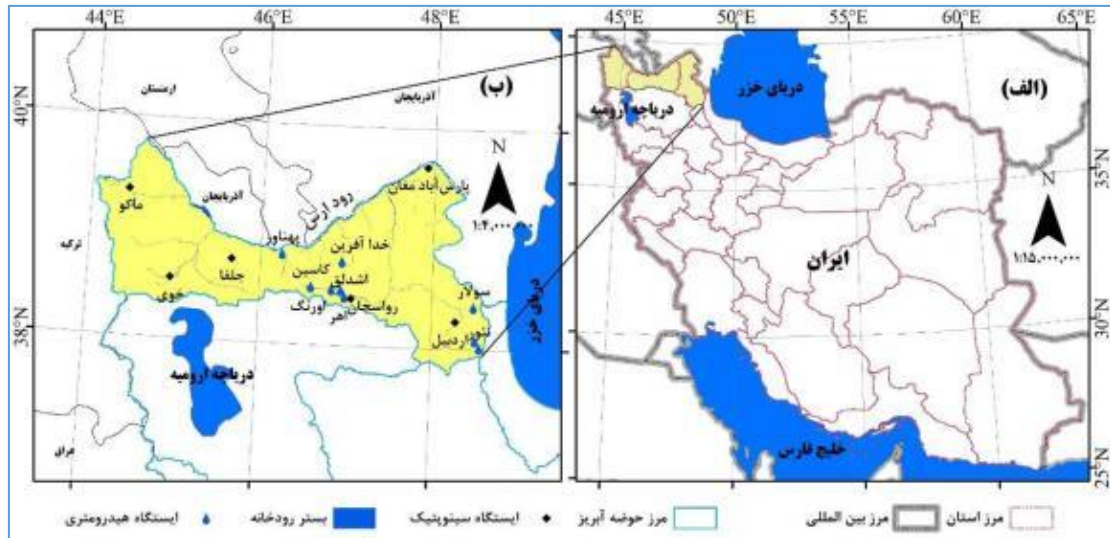
شناسایی شرایط ترمودینامیکی طوفان تندری منجر به سیل ۲۸ تیرماه ۱۳۹۴ در البرز مرکزی بررسی نمودند. شناسایی و تحلیل همدیدی-دینامیکی الگوهای جوی سیلاب آبان ۱۳۹۴ در استان ایلام و لرستان فرود تراز میانی دریای سرخ را عامل صعود عمیق و استقرار پرفشار در ایران مرکزی را باعث ماندگاری سامانه و بارش طولانی و شدید منجر به سیل در منطقه دانسته است (سلامتی هرمزی و همکاران، ۱۳۹۶: ۹).

مرور ادبیات پژوهش نشان داد که مطالعه سیلاب‌های رودخانه ارس به‌عنوان پرآب‌ترین رود در شمال غرب کشور، تاکنون کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. این در حالی است که اجرای عملیات‌های آبخیزداری به‌منظور کنترل سیل و رسوب مستلزم شناخت صحیح سامانه‌های اقلیمی مرتبط با رخداد سیلاب می‌باشد. به همین علت؛ شناسایی الگوهای گردشی عامل بروز سیل در این حوضه، از اهمیت خاصی برخوردار است. لذا در پژوهش حاضر سعی شده تا وضعیت سامانه‌های جوی در زمان رخداد سیلاب‌های شدید حوضه آبریز رودخانه ارس با استفاده از چهار شاخص نوین مورد بررسی قرار گیرد.

داده‌ها و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

بخش ایرانی حوضه آبریز رودخانه ارس، به‌عنوان یکی از زیر حوضه‌های دریای خزر با مساحت ۳۹۸۳۸۱۹ هکتار در شمال غربی کشور قرار گرفته است (شکل ۱). به لحاظ موقعیت ریاضی بخش ایرانی این حوضه در چهار چوبه $3^{\circ} 44^{\circ}$ تا $41^{\circ} 48'$ طول شرقی و $47^{\circ} 37'$ تا $46^{\circ} 39'$ عرض شمالی واقع شده است (ساری صراف و همکاران، ۱۳۹۰: ۴) (شکل ۱). حوضه ارس از تنوع اقلیمی بالایی برخوردار است، به نحوی که مناطق کوهستانی تا پای کوهی به ترتیب آب‌وهوای نیمه مرطوب تا نیمه‌خشک را در بر می‌گیرد. در مجموع منطقه با میانگین بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر در رده اقلیم نیمه‌خشک قرار دارد. رودخانه ارس که از کشور ترکیه سرچشمه می‌گیرد، حدود ۴۵۰ کیلومتر از مرز آبی جمهوری اسلامی ایران با کشورهای آذربایجان و ارمنستان را تشکیل می‌دهد. سالانه با لبریز شدن و طغیان این رود، حدود ۲۰ میلیارد ریال به ابنیه، تأسیسات آب-فاضلاب، برق، مخابرات، گاز و راه آسپب وارد می‌شود.



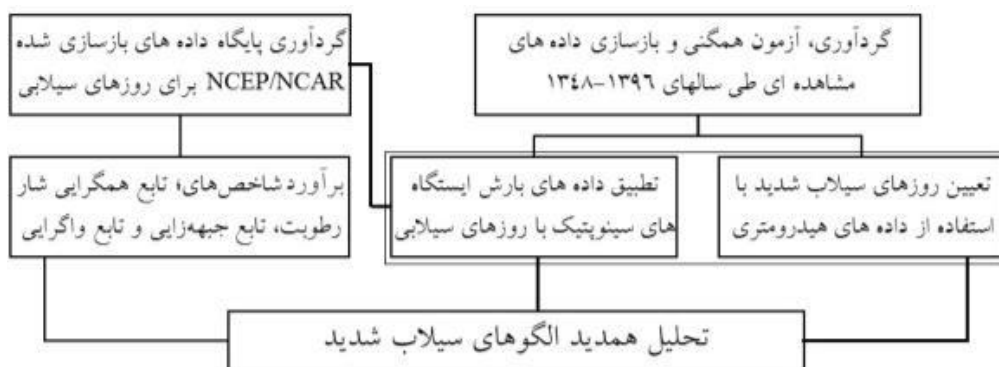
مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: (الف) موقعیت حوضه آبریز ارس در کشور ایران و (ب) موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرومتری

اطلاعات جمع‌آوری شده

جهت بررسی سیلاب‌های رویداد در حوضه ارس از داده‌های دبی ۹ ایستگاه هیدرومتری وزارت نیرو و بارش روزانه ۶ ایستگاه همدید سازمان هواشناسی طی سال‌های ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۶ استفاده شده است. همچنین برای تحلیل‌های همدید داده‌های مقادیر ارتفاع ژئو پتانسیل، فشار تراز دریا، نم ویژه، دمای هوا، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد در محدوده ۰ تا ۸۰N عرض جغرافیایی و ۲۰W تا ۱۰۰E طول جغرافیایی از تارنمای مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی و علوم جو آمریکا (NCEP/NCAR) دریافت گردید.

پس از بررسی سری زمانی داده‌ها و اطمینان از صحت آن‌ها، آزمون همگنی نرمال بر روی داده‌های سری زمانی دبی انجام پذیرفت. در این پژوهش برای تعیین رواناب پایه از میانگین بلندمدت روزانه رودخانه استفاده شده است (قنبرپور، ۱۳۸۷). برای تعیین روزهای سیلابی، مقادیر دبی روزانه در سری زمانی برای هر روز سال از مقادیر بلندمدت دبی برای همان روز کسر گردید؛ بنابراین مقادیر مثبت بر وجود سیل در آن روز و مقادیر منفی و صفر به معنی عدم وجود سیل می‌باشد. سپس روزهای سیلابی با رواناب بالاتر از ۷۰۰ مترمکعب بر ثانیه به‌عنوان روزهای سیلابی شدید انتخاب گردید. سیلاب‌های شدید؛ سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله هستند که در هنگام وقوع وسایل نقلیه، خانه‌ها و تأسیسات شهری را با خود می‌برند (شرودر و همکاران، ۲۰۱۶). شکل ۲ فرآیند تحقیق را نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: فلوجارت تحلیل همدید الگوهای سیلاب شدید حوضه ارس

در ادامه جهت تحلیل الگوهای همدید عامل بروز سیلاب‌های شدید حوضه ارس از شاخص‌های؛ تابع همگرایی شار رطوبت، تابع جبهه‌زایی و تابع واگرایی استفاده شده است. به نحوی که؛ برای شناخت منابع رطوبتی الگوهای سیلابی، معادله همگرایی شار رطوبت^۱ (MFC) بر اساس روابط ۱ و ۲ محاسبه و ارزیابی شد (بناکوس و شولز^۲، ۲۰۰۵).

$$\text{MFC} = -\nabla \cdot (q\vec{V}_h) = -\vec{V}_h \cdot \nabla q - q\nabla \cdot \vec{V}_h, \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$\text{MFC} = -u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y} - q \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در اینجا؛ $-\nabla \cdot (q\vec{V}_h)$: همگرایی شار رطوبت، $-\vec{V}_h \cdot \nabla q$: وزش رطوبتی، $q\nabla \cdot \vec{V}_h$: همگرایی رطوبت، q : رطوبت ویژه، x و y : متغیرهای مستقل مکانی، u و v : مؤلفه‌های مداری و نصف‌النه‌اری باد می‌باشد. واحد اندازه‌گیری آن گرم بر کیلوگرم بر ثانیه است.

همچنین برای شناسایی بهتر توده‌های هوایی که در رخداد سیلاب نقش داشته‌اند، تابع جبهه‌زایی برآورد گردید. هر فرآیندی که منجر به افزایش بزرگی ∇T شود، فرآیند جبهه‌زا و چنین عملی را جبهه‌زایی می‌نامند. تابع جبهه‌زایی را می‌توان با رابطه ۳ بیان کرد (مسعودیان، ۱۳۸۸: ۲۰۸-۲۱۱):

$$\mathcal{J} = \frac{d|\nabla_p \theta|}{dt} \quad \text{رابطه ۳:}$$

این عبارت مبین آهنگ لاگرانژی تغییر بزرگی $\nabla_p \theta$ (شیب دمای بالقوه روی سطح هم‌فشار) است. در همین راستا نقشه نیمرخ قائم تابع جبهه‌زایی برای عرض ۳۹ درجه (عرض نماینده حوضه آبریز) تهیه شد.

در نهایت برای نمایش وضعیت واگرایی جو و تهیه نیمرخ‌های هافمولر، تابع واگرایی بر اساس رابطه ۴ برآورد گردید. واگرایی عبارت است از ضرب نقطه‌ای عملگر ∇ در یک بردار دلخواه مانند \vec{V} . در یک فضای دو بعدی واگرایی $\vec{V} = u\hat{i} + v\hat{j}$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

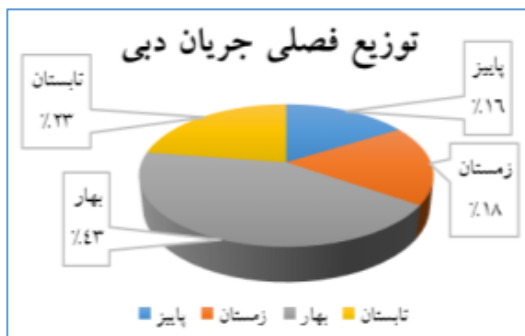
$$\nabla \cdot \vec{V} = \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} \right) \cdot (u\hat{i} + v\hat{j}) = \nabla \cdot \vec{V} = \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right] \quad \text{رابطه ۴:}$$

¹ Moisture Flux Convergence

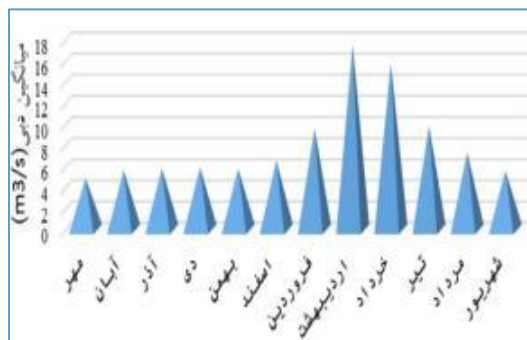
² Banacos and Schulta

یافته‌های پژوهش

بررسی هیدروگراف میانگین سالیانه دبی حوضه رودخانه ارس (شکل ۳) نشان داد که بیش‌ترین دبی در اردیبهشت و کم‌ترین دبی مربوط به مهر ماه است. توزیع فصلی مقادیر رواناب نشان می‌دهد که دوره گرم سال (فصول بهار و تابستان) بیش‌ترین سهم را به خود اختصاص داده که بیان‌گر اتکای دبی رودخانه ارس به آب شدن برف باریده شده در ارتفاعات منطقه است (شکل ۴).



شکل ۴: رژیم جریان فصلی در حوضه ارس



شکل ۳: جریان دبی به صورت ماهانه در حوضه ارس

مأخذ: نگارندگان

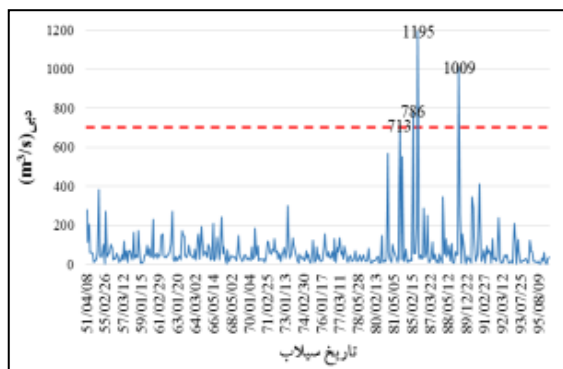
بررسی آماره‌های توصیفی دبی گویای آن است که رودخانه ارس سیلاب‌هایی با حجم ۷۱۲/۵ مترمکعب در ثانیه را نیز تجربه نموده است (جدول ۱). تغییرات ماهیانه و فصلی بالای مقادیر دبی در آماره‌هایی چون واریانس، انحراف معیار، ضریب چولگی و کشیدگی به خوبی نشان داده شده است. مقادیر ضرایب چولگی بیان‌گر آن است که داده‌های دبی از روند نرمالی برخوردار نمی‌باشند.

جدول ۱: آماره‌های توصیفی دبی (به مترمکعب در ثانیه) رودخانه‌های حوضه ارس

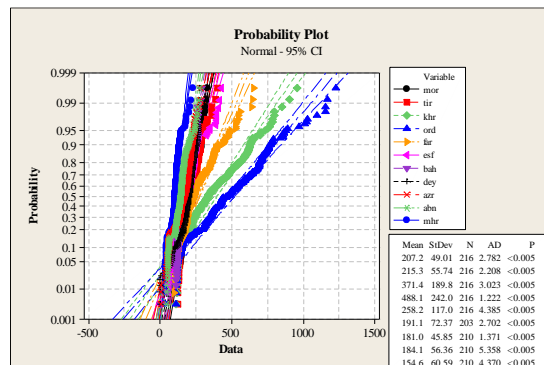
آماره/ماه	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis
مهر	۱۲۵/۳	۴/۸۵	۱۲/۸۱	۱۶۴/۰۹	۶/۷۰	۵۳/۱۰
آبان	۱۹۱/۴۴	۵/۶۱	۱۶/۴۰	۲۶۸/۹۷	۷/۷۷	۶۹/۰۷
آذر	۲۱۲/۱	۵/۷۸	۱۸/۷۷	۳۵۲/۱۵	۸/۴۶	۷۹/۳۰
دی	۲۳۸/۹۳	۵/۸۸	۲۱/۴۷	۴۶۱/۰۷	۸/۵۴	۷۸/۰۲
بهمن	۲۴۷/۶	۵/۷۵	۲۰/۹۲	۴۳۷/۸۴	۸/۴۹	۷۷/۶۶
اسفند	۲۸۹/۹	۶/۵۴	۲۲/۷۱	۵۱۵/۶۷	۸/۸۶	۸۶/۹۳
فروردین	۳۸۰/۲۲	۹/۵۷	۳۱/۳۲	۹۸۱/۲۲	۸/۳۹	۸۰/۳۲
اردیبهشت	۷۱۲/۵	۱۷/۵۱	۶۱/۷۵	۳۸۱۳/۶۳	۸/۵۴	۸۳/۲۰
خرداد	۶۱۱/۶۸	۱۵/۷۲	۴۸/۸۶	۲۳۸۷/۶۵	۷/۷۰	۷۳/۰۱
تیر	۲۷۱/۱۶	۹/۷۶	۲۷/۴۳	۷۵۲/۲۱	۶/۴۸	۵۰/۰۲
مرداد	۲۸۹/۰۳	۷/۲۹	۲۵/۱۳	۶۳۱/۶۸	۷/۵۴	۶۴/۸۱
شهریور	۱۹۴/۸۱	۵/۵۵	۱۷/۲۹	۲۹۸/۸۹	۶/۹۹	۵۷/۱۵

مأخذ: نگارندگان

برای نرمال‌سازی روند داده‌ها، آزمون کلموگراف اسمیرنوف بر روی سری زمانی داده‌های دبی روزانه اعمال گردید (شکل ۵). سپس با کسر رواناب پایه از رواناب اصلی روزهای همراه با سیلاب مشخص شد (شکل ۶). از ۱۷۵۳۲ روز بررسی شده، ۶۳۷ روز مقادیر دبی بیش‌تر از میانگین بلندمدت رودخانه‌ها بوده و سیلاب داشته‌اند.



شکل ۶: سری زمانی سیلاب‌های حوضه ارس



شکل ۵: آزمون نرمالیت بر روی داده‌های دبی

مأخذ: نگارندگان

با پالایش دبی‌های بالاتر از ۷۰۰ مترمکعب بر ثانیه در ایستگاه خدا آفرین، از مجموع ۶۳۷ روز سیلابی، ۴ روز سیلابی شدید شناسایی شد. مشخصات روزهای سیلابی شدید در جدول ۲ آورده شده است. در ادامه با استفاده از شاخص‌های همدید در مرحله اول؛ وضعیت ارتفاع و ناهنجاری ژئو پتانسیل، تاوایی و پیچانه‌ها در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال؛ وضعیت فشار و شاخص امگا در تراز دریا؛ وضعیت مجموع تابع همگرایی شار رطوبت بین ترازهای ۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال و در مرحله دوم وضعیت جبهه‌زای، واگرایی و چرخندگی برای عرض نماینده حوضه آبریز مورد تحلیل قرار گرفت.

جدول ۲: مشخصات روزهای سیلابی شدید حوضه ارس

شناسه	روزهای سیلابی شدید	تاریخ (میلادی)	دبی اوج (m³/s)	بیشترین بارش (mm)
A	۱۹ اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۳	۸ می ۲۰۰۴	۷۱۳	۱۱/۱۸ - ماکو
B	۲۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۵	۱۰ می ۲۰۰۶	۷۸۶	۱۴/۳۲ - خوی
C	۲۶ اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۶	۱۶ می ۲۰۰۷	۱۱۹۵	۲۷/۶۹ - ماکو
D	۲۶ اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۹	۲۰ می ۲۰۱۰	۱۰۰۹	۱۵/۴۹ - خوی

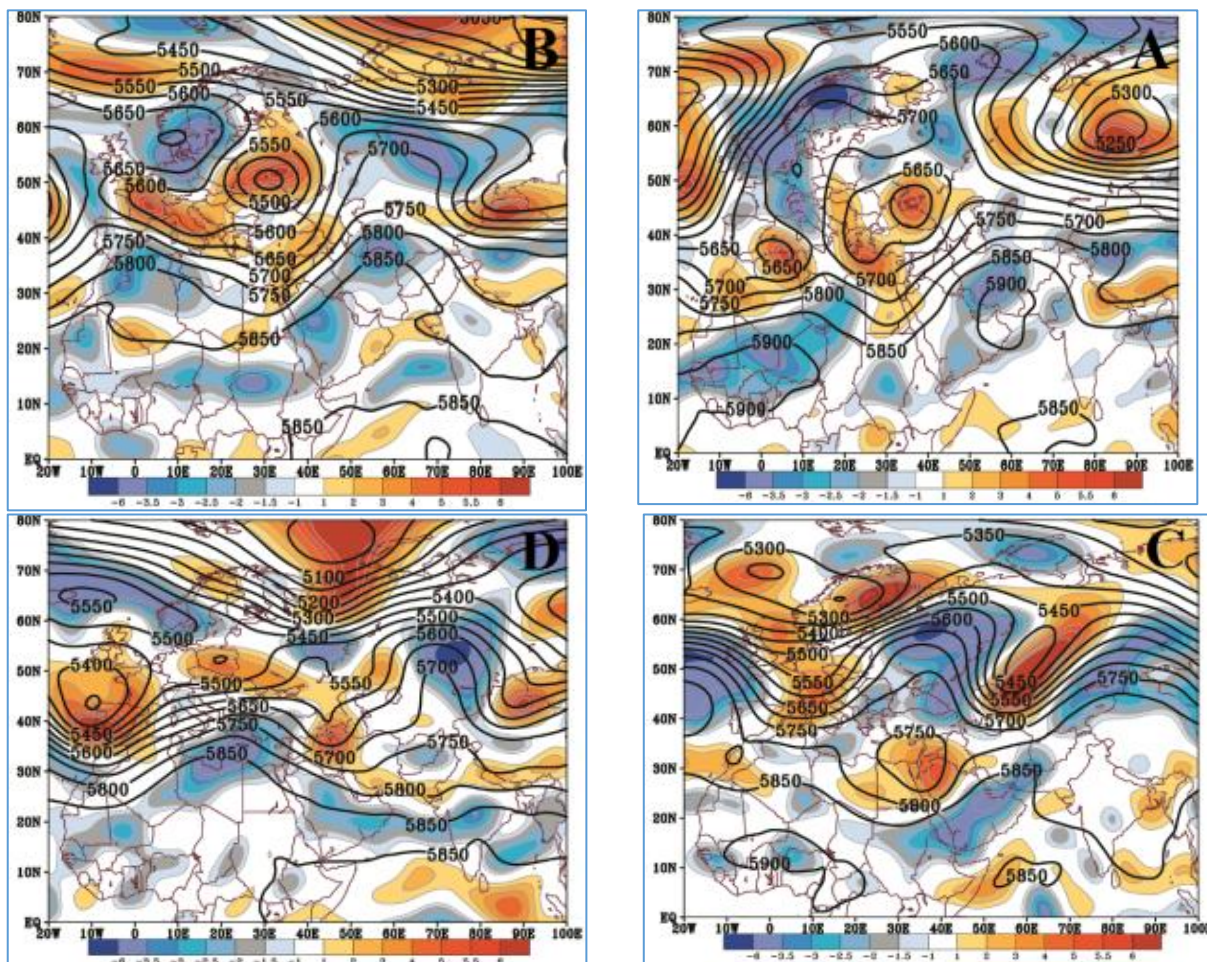
مأخذ: نگارندگان

تحلیل سینوپتیکی روزهای سیلابی شدید

وضعیت ارتفاع ژئو پتانسیل و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

تهیه نقشه ترکیبی ارتفاع ژئو پتانسیل و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال طی روزهای سیلابی شدید اول و دوم، استقرار یک تراف بر روی دریای سیاه و مدیترانه با ارتفاع ۵۷۰۰ متر را نشان داد که باعث انتقال رطوبت مورد نیاز برای بارندگی از این دو منبع به منطقه شده است. فرودهای نسبتاً عمیق سبب شده تا منطقه در زیر جریانات با چرخندگی مثبت بالا (۵/۵)

الی ۶) قرار گیرد و شرایط برای صعود فراهم گردد (شکل AY و BY). در روزهای سیلابی شدید سوم و چهارم نیز استقرار توأمان کم ارتفاع بر روی دریای مدیترانه و غرب دریای خزر سبب ناپایداری و اغتشاش در منطقه شده است (شکل CY و DY).



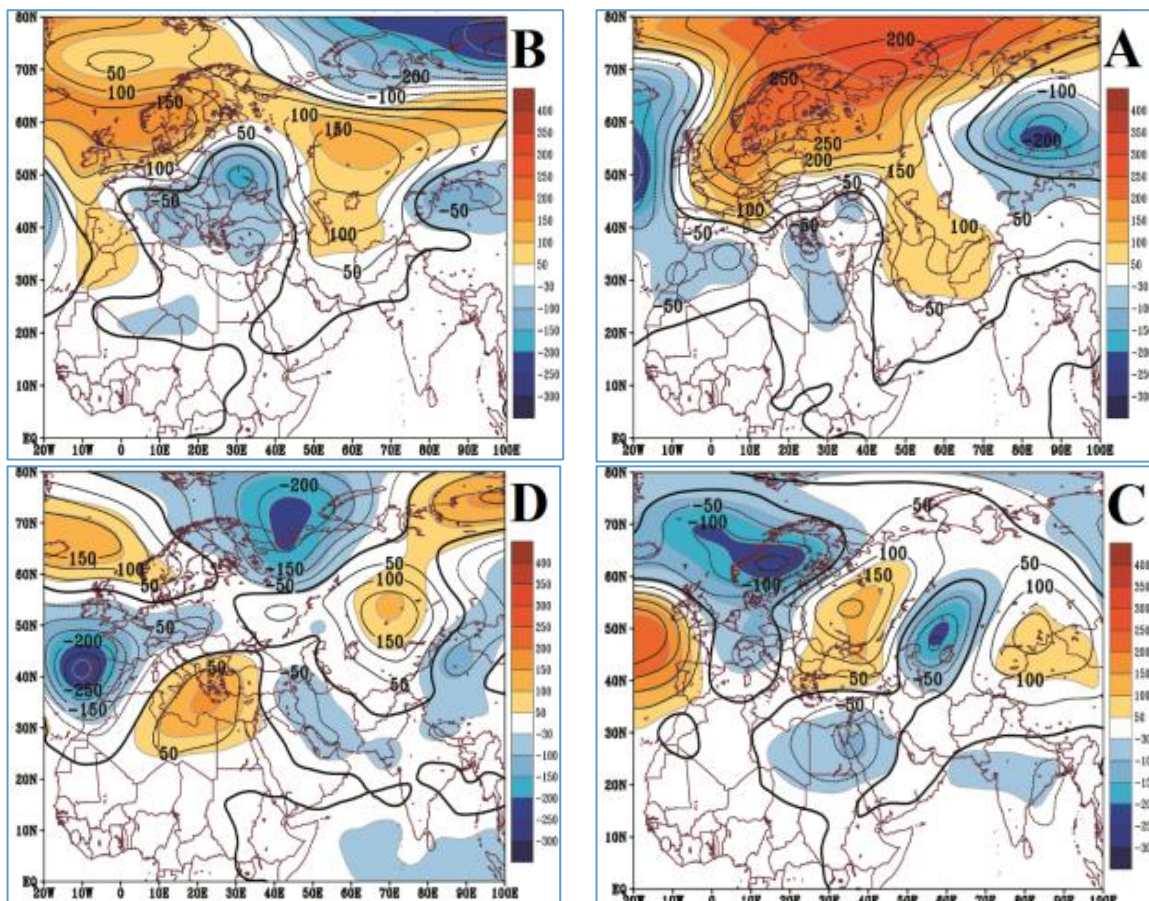
مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل (خطوط تراز) و تاوایی (رنگ پس‌زمینه) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۴ می ۲۰۰۶؛ ۱۰ می ۲۰۰۶؛ ۱۶ می ۲۰۰۷ و ۲۰ آوریل ۲۰۰۸

وضعیت ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل و پیچانه‌ها در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

افت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز میانی جو (به مقدار ۱۰۰-) بر روی دریای سیاه و مدیترانه در روز سیلابی اول شرایط را برای ظهور پیچانه‌ها و اغتشاشات جوی فراهم ساخته است (شکل A۸). این مقدار کمتر از مقادیر میانگین بلندمدت منطقه است. در روز دوم نیز ارتفاع ژئوپتانسیل تراز میانی جو به کمتر از ۱۰۰- که متعاقباً افزایش ناپایداری، واگرایی فوقانی و صعود بسته هوا را تسریع نموده است (شکل B۸). در روز سوم یک الگوی زوجی شکل، یکی بر روی شمال خزر و دیگری بر روی شمال دریای سرخ تشکیل شده که ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل در مرکز آن‌ها به ترتیب ۲۰۰- و ۱۰۰- بوده است (شکل C۸). تشکیل مراکز پیچانه نسبتاً قوی، وضعیت جوی کاملاً ناپایدار با ریزش جوی بیش از ۲۸ میلی‌متر

ایستگاه ماکو را در پی داشته است. در آخرین روز سیلابی شدید آرایش پربندهای ارتفاع ژئو پتانسیل به‌گونه‌ای است که دو ناهنجاری مثبت در شمال آفریقا و در مرکز روسیه را به‌وجود آورده که در میان این دو، ناهنجاری منفی کمتر از -50 هکتوپاسکال از شمال غرب به جنوب شرق ایران کشیده شده و تا شرق پاکستان ادامه یافته است (شکل DA).

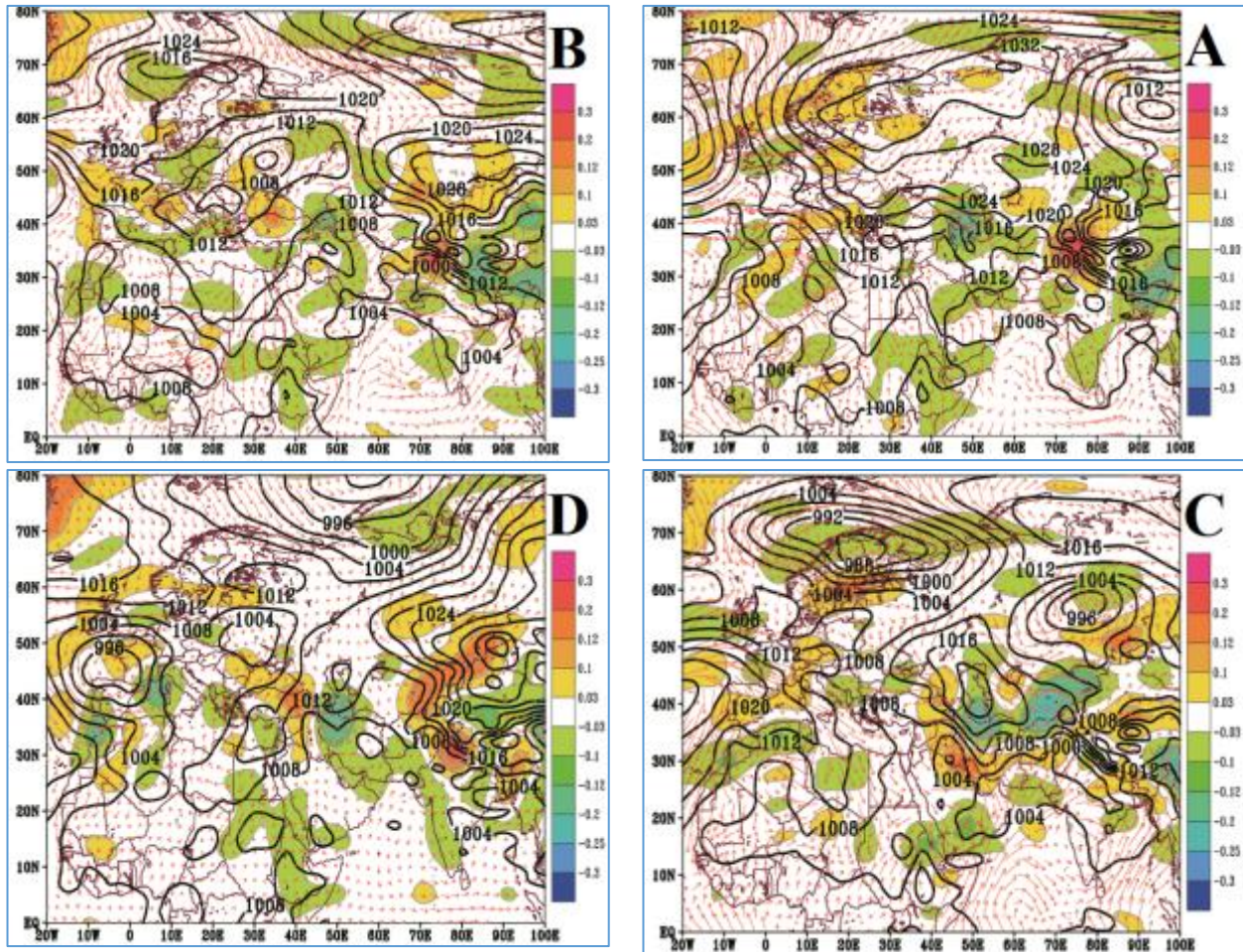


مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: نقشه ترکیبی ناهنجاری ارتفاع ژئو پتانسیل (رنگ پس زمینه) و پیچانه‌ها (خطوط تراز) در تراز 500 هکتوپاسکال برای روزهای ۴ می ۲۰۰۶A؛ ۱۰ می ۲۰۰۶B؛ ۱۶ می ۲۰۰۷C و ۲۰ آوریل ۲۰۰۸D

وضعیت فشار تراز دریا و شاخص امگا

تقریباً در هر چهار الگو استقرار یک سامانه پرفشار بر روی خزر در سطح زمین سبب شده تا جریان هوا ساعت‌گرد شود. همچنین در الگوی فشار تراز دریای هر چهار روز سیلابی تقابل کم‌فشار مستقر در جنوب غرب ایران و پرفشار روی خزر باعث ناپایداری شدید در زمان رخداد سیلاب‌ها شده، به نحوی که با افزایش شیب تغییرات فشار شرایط لازم برای صعود فراهم گردیده است (شکل ۹). مقادیر منفی شاخص ناپایداری (امگای $-0/25$) به‌خوبی شرایط صعود و شدت آن بر روی حوضه ارس را نشان می‌دهد.

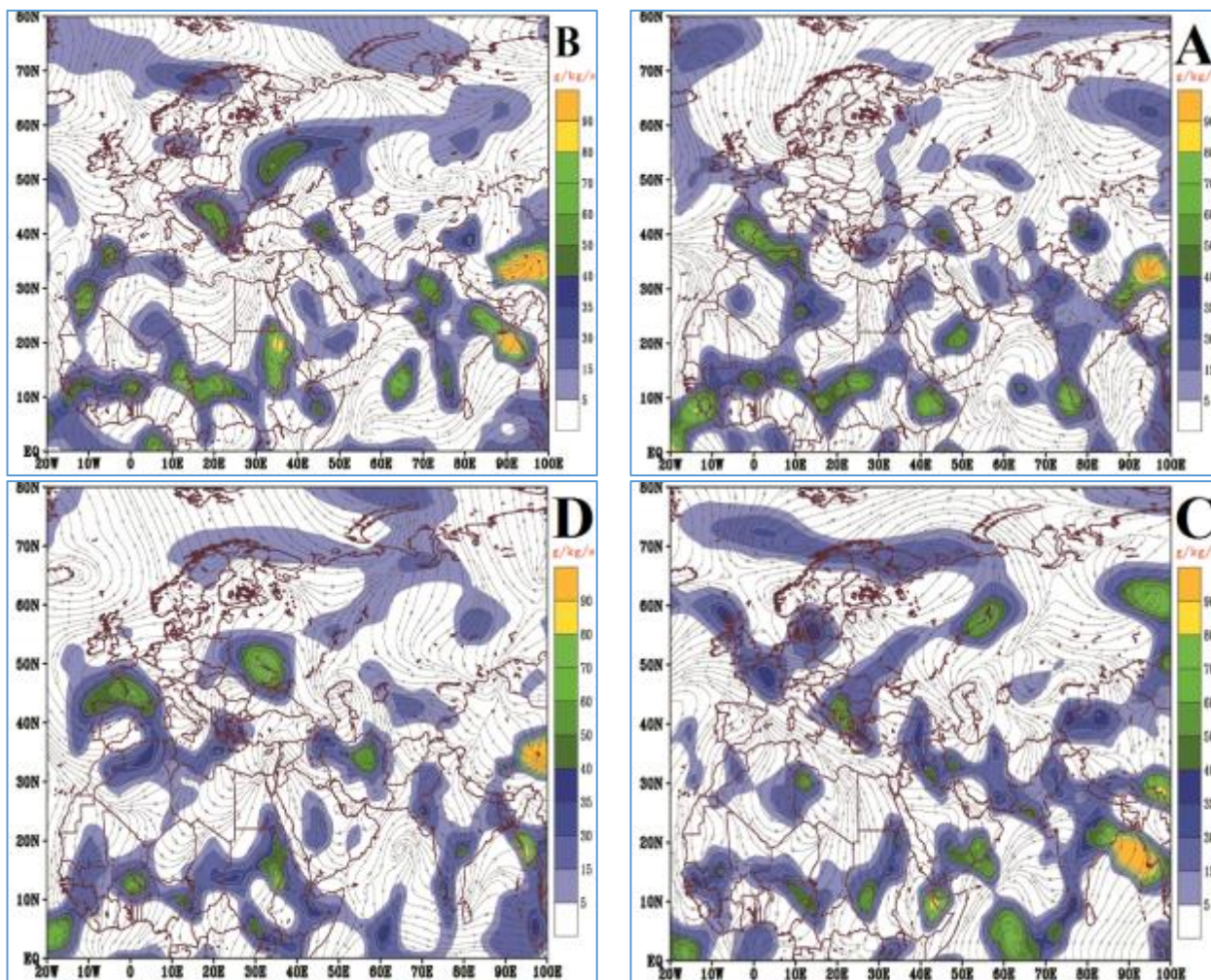


مأخذ: نگارندگان

شکل ۹: نقشه ترکیبی فشار تراز دریا (خطوط تراز)، امگا (رنگ پس‌زمینه) و بردار باد (پیکان‌ها) برای روزهای ۴ می ۲۰۰۶؛ ۱۰ می ۲۰۰۶؛ ۱۶ می ۲۰۰۷ و ۲۰ آوریل ۲۰۰۸

تحلیل وضعیت مجموع تابع همگرایی شار رطوبت بین ترازهای ۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال

اعمال تابع همگرایی شار رطوبت بر روی داده‌های نم ویژه و مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد منجر به شناسایی هسته‌های همگرایی در زمان رخداد سیلاب‌های شدید گردید. بررسی وضعیت مجموع مقادیر شار رطوبتی تراز ۱۰۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال یک هسته قوی همگرایی رطوبت در غرب دریای خزر را نشان داد که سبب انتقال رطوبت مورد نیاز بارندگی‌های سنگین به حوضه شده است (شکل ۱۰). پیکان بردارهای باد نشان از جهت شرقی جریان‌های ساعت‌گرد باد در منطقه دارد. نقش دریای خزر در تأمین رطوبت مورد نیاز این بارندگی‌ها مشهود است. استقرار تراف و گاهاً هسته‌های سرد چال بر روی دریا سبب تأمین رطوبت مورد نیاز شده است.



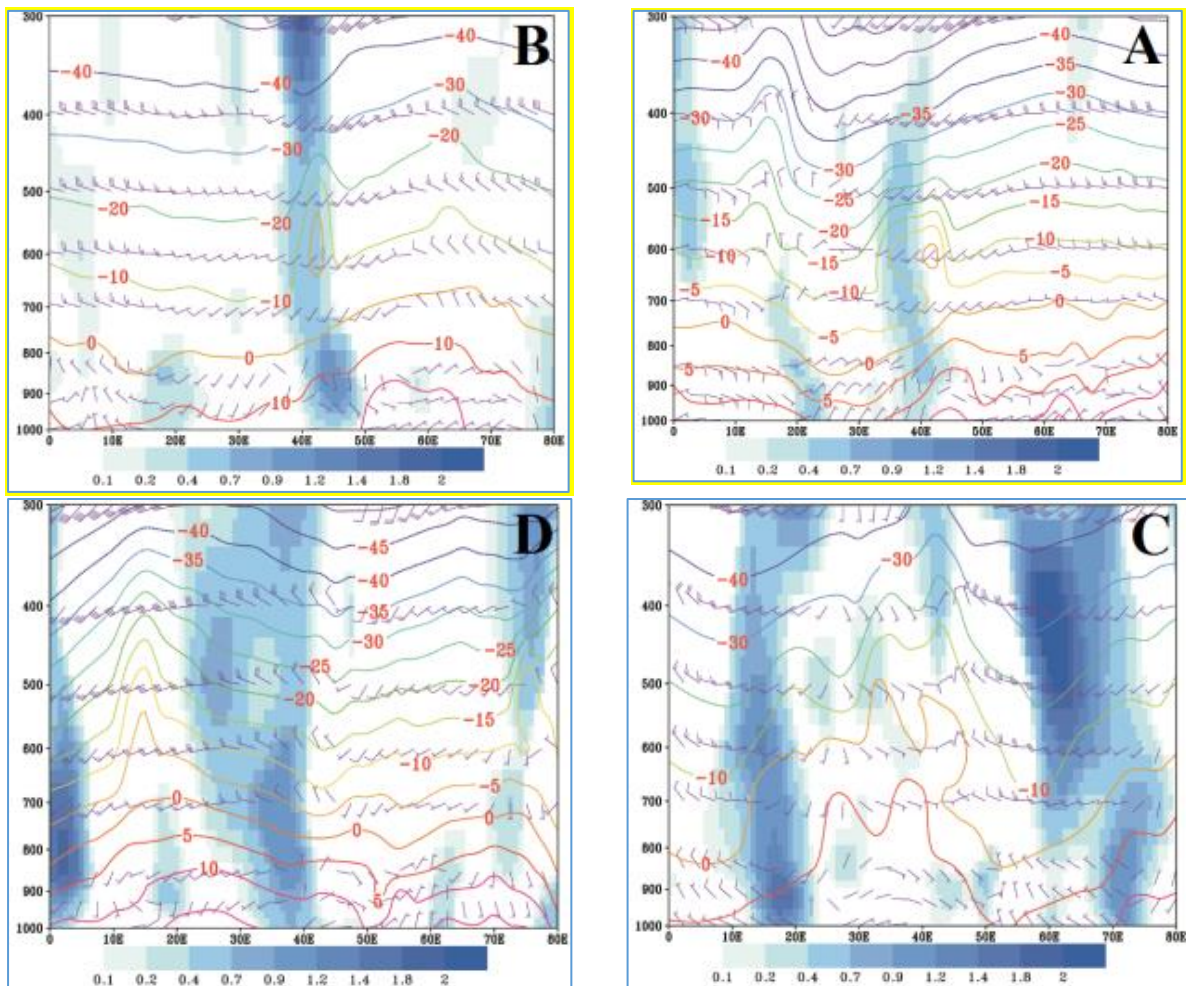
مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۰: تابع همگرایی شار رطوبتی (رنگ پس‌زمینه) و جهت جریان برای روزهای ۴ می ۲۰۰۶؛ ۱۰ می ۲۰۰۶؛ ۱۶ می ۲۰۰۷ و ۲۰ آوریل ۲۰۰۸

تحلیل وضعیت جبهه‌زایی

در روز ۱۰ می ۲۰۰۶ دو هسته جبهه‌زایی در شرق و غرب منطقه به‌وجود آمده است که تا سطوح فوقانی جو ادامه داشته اند (شکل B۱۱). بر روی حوزه رودخانه ارس نیز جبهه‌زایی ضعیفی در سطح زمین رخ داده که مابین ترازهای ۵۰۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال به‌شدت و گستردگی آن افزوده شده است. در روز ۸ می ۲۰۰۴ مابین طول‌های جغرافیایی ۳۸ تا ۴۱ درجه نیز جبهه‌ای نسبتاً قوی تشکیل گردیده که از سطح زمین تا تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال ادامه داشته و شرایط را برای بارندگی فراهم کرده است (شکل A۱۱). می‌توان دلیل اصلی به‌وجود آمدن این جبهه را ریزش هوای سرد تروپوسفر فوقانی در راستای طول جغرافیایی ۳۰ درجه شرقی و افزایش دما بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ تا ۷۰ درجه شرقی دانست. در روز ۲۰ می ۲۰۱۰ یک هسته بسیار قوی جبهه‌زایی دیگر با بیش از ۲ درجه کلونین بین طول‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شرقی به‌وجود آمده که جبهه جوی ناپایداری را به‌وجود آورده است (شکل D۱۱). وضعیت جبهه‌زایی در روز ۱۶ می

۲۰۰۷ نیز از لحاظ ساختاری تقریباً مشابه روز ۲۰ می ۲۰۱۰ بوده است (شکل ۱۱C). در مجموع همان گونه که از این چهار الگو بر می آید، با تشکیل یک جبهه قوی آرایش پربندهای دما حالت سینوسی به خود گرفته و بردار باد تغییرات شدیدی می کند.



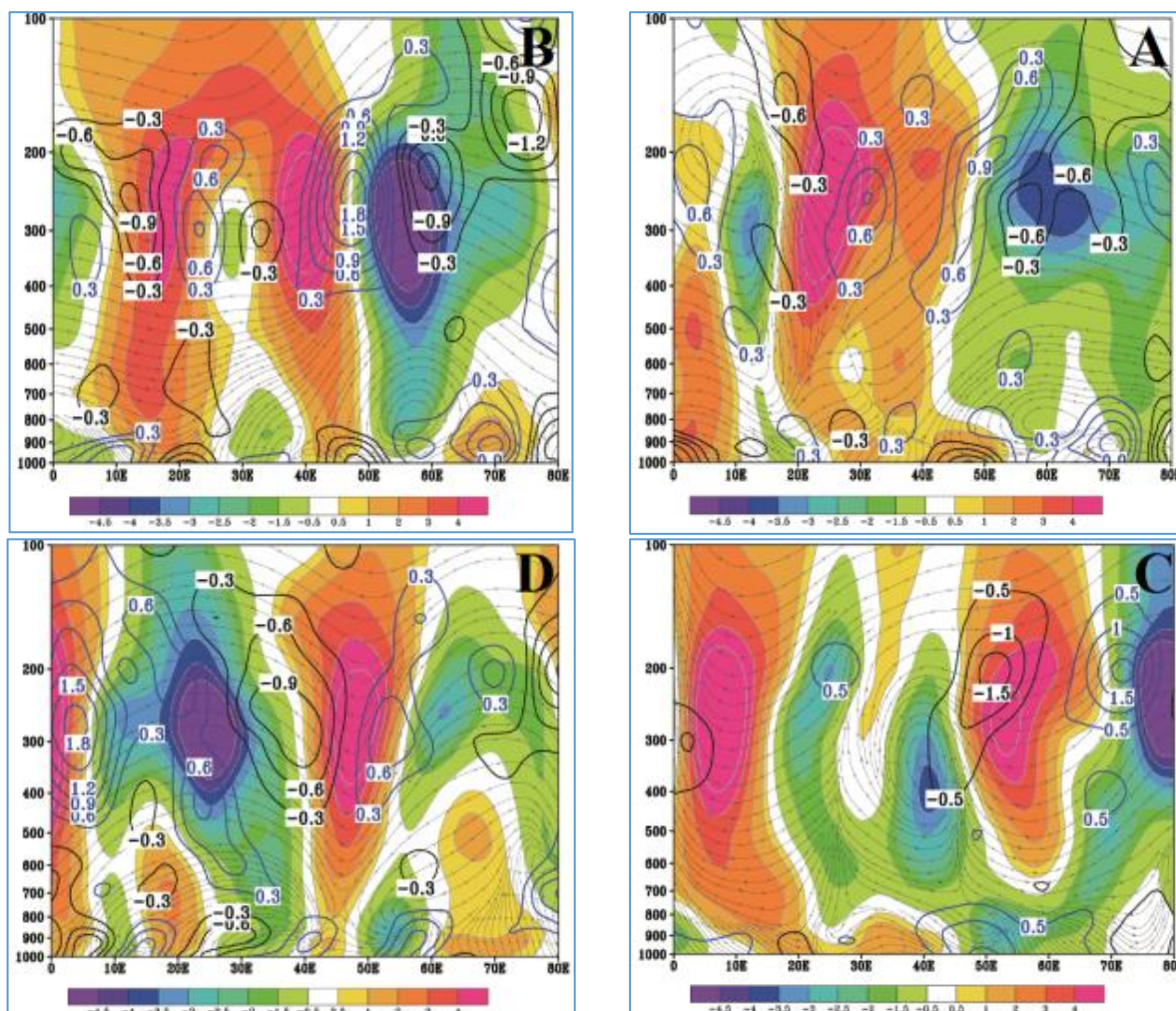
مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۱: مقادیر تابع جبهه‌زایی (رنگ پس‌زمینه) و دمای نقطه شبنم (خطوط تراز) برای روزهای ۴ می ۲۰۰۶؛ ۱۰ می ۲۰۰۶ (B)؛ ۱۶ می ۲۰۰۷ (C) و ۲۰ آوریل ۲۰۰۸ (D)

تحلیل وضعیت واگرایی و چرخندگی برای عرض جغرافیایی نماینده حوضه ارس

در نیمرخ‌های هافمولر تهیه شده برای روزهای سیلابی، پربندها معرف وضعیت واگرایی جو و سایه روشن‌ها مقادیر تاوایی را نشان می‌دهند. در این چهار روز سیلابی شدید شرایط به‌گونه‌ای است که تشکیل هسته همگرایی در سطح زمین با واگرایی آن در سطوح فوقانی اتمسفر منطقه همراه بوده است (شکل ۱۲). مقادیر تاوایی بیان‌گر آن است که شکل‌گیری همگرایی سطحی موجبات صعود را فراهم کرده است. ظهور چند هسته همگرایی و واگرایی به ترتیب در راستای عرض

۳۹ درجه نشان از ناپایداری‌های شدیدی است که بر منطقه حکم فرماست. از طرفی مقادیر بالای چرخندگی مثبت که از تراز ۱۲۰۰ هکتوپاسکال شروع و تا تراز ۱۲۰ هکتوپاسکال ادامه یافته نشان از صعود شدید و ناگهانی بسته هوا در منطقه دارد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۲: مقادیر نیمرخ قائم تاوایی (رنگ پس‌زمینه) و واگرایی (خطوط تراز) برای روزهای ۴ می ۲۰۰۶؛ ۱۰ می ۲۰۰۶؛ ۱۶ می ۲۰۰۷ و ۲۰ می ۲۰۰۸

نتیجه‌گیری

شناخت اجزای سامانه اقلیمی و درک قانونمندی‌های حاکم بر آن، امکان تحلیل و پیش‌بینی مطلوب پدیده‌هایی همچون سیلاب را فراهم می‌سازد. درک عوامل مؤثر در تشکیل و تکوین سیلاب‌ها و تحلیل و پیش‌بینی مناسب یک امر مهم برای آب و هواشناسان است. بدین منظور پس از بررسی داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوضه آبریز رودخانه ارس اقدام به شناسایی عوامل جوی مؤثر در این پدیده شد. توزیع ماهانه دبی جریان نشان می‌دهد که فروردین،

اردیبهشت، خرداد و تیر بیشترین و آبان و آذر کمترین مقدار دبی را داشته‌اند. ذوب برف و یخ ناشی از تغییرات ناگهانی دما به همراه بارندگی‌های مقطعی باعث شده تا فصل بهار و تابستان بیشترین مقدار رواناب را به خود اختصاص دهند. کسر رواناب پایه از رواناب اصلی رودخانه‌های واقع در حوضه ارس تعداد ۶۳۷ روز همراه با سیل را به دست داد. در ادامه ۴ روز با سیلاب شدید تحت عنوان روزها با دبی بالاتر از ۷۰۰ مترمکعب بر ثانیه در محل ایستگاه خدا آفرین انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل همدید قرار گرفت.

بررسی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال حضور یک فرود عمیق بر روی دریای سرخ و سیاه را نشان داد. در سطح زمین تشکیل یک پرفشار بر روی خزر و کم‌فشار سطحی بر روی عراق و غرب ایران در هنگام رخداد سیلاب نمود یافته است. افت مقادیر شاخص امگا در سطوح مختلف جو هم‌زمان با رخداد سیلاب‌های مخرب شمال غرب کشور توسط خزایی و عباسی (۱۳۹۸: ۲۳۶) نیز تأیید شده است. اعمال تابع همگرایی شار رطوبتی، برای شناسایی هسته‌ها و منابع رطوبتی سیلاب‌ها نشان داد که در سطح زمین بیش‌ترین رطوبت از دریای خزر و در ترازهای فوقانی جو توسط جریانات غربی وارد منطقه شده است. در پژوهش دارند (۱۳۹۴: ۴۷)، در زمینه منبع رطوبتی تغذیه بارش‌های سیل‌آسای شمال غرب کشور نیز بر نقش خزر در تأمین رطوبت سطحی تأکید شده است.

پس می‌توان عوامل به‌وجود آورنده سیلاب‌های کلان در حوضه رودخانه ارس را به سه دسته تقسیم کرد. اولی یک فرود عمیق بر روی دریای سیاه و مدیترانه که گاه با هسته سرد چال همراه است. این شرایط موجبات صعود هوا را فراهم می‌نماید. مطابق نظر کومار (۲۰۱۲)، شکل‌گیری شرایط صعود با تأمین منابع رطوبتی لازم مهم‌ترین عامل تشدید ناپایداری اتمسفری در زمان رخداد سیلاب‌های شدید بوده است. عوامل دوم و سوم به ترتیب تشکیل کم‌فشار در جنوب غرب خاورمیانه و پرفشار بر روی دریای خزر می‌باشد. این دو سامانه به‌صورت تلفیقی، سبب جبهه‌زایی و ناپایداری در شمال غرب ایران شده است. در محل برخورد این دو سیستم چرخندی و واچرخندی، هوای سرد شمالگان و هوای گرم عرض‌های پایین و جنب‌حاره با یکدیگر برخورد کرده است که در محل برخورد، افزایش گرادیان فشار و شکستگی خطوط دما را در پی داشته است. در این بین تأثیر پرفشار تشکیل شده بر روی خزر و شمال آن نمود بیشتری یافته است؛ زیرا که با تشکیل یک سیستم پرفشار واچرخندی، شرایط برای انتقال رطوبت به منطقه فراهم شده و در ترکیب با سایر سامانه‌ها، امکان بارش‌های سیل‌آسا فراهم می‌شود. بدیهی است دست‌یابی به داده‌های ایستگاهی ستون قائم اتمسفر در زمان رخداد سیلاب‌ها امکان تحلیل دقیق‌تری را به نسبت داده‌های بازسازی شده به پژوهشگران خواهد داد.

منابع

- ۱- آروین، عباسعلی و جواد محمدی‌نژاد (۱۳۹۴): اقلیم‌شناسی سیلاب ناشی از بارش سنگین ۴ فوریه ۲۰۰۶ استان لرستان، مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۵، صص ۷۵-۹۰.

- ۲- بابائیان، ایمان (۱۳۸۰): بررسی الگوی سینوپتیکی سیل تابستان ۱۳۸۰ استان‌های گلستان و شمال خراسان، بولتن علمی مرکز ملی اقلیم‌شناسی، جلد ۲، شماره ۵، ص ۱۱.
- ۳- پرنده خوزانی، اکرم و حسن لشکری (۱۳۸۹): بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زا در جنوب ایران، تحقیقات منابع آب ایران، سال ۶ شماره ۱، صص ۶۶-۷۳.
- ۴- حجازی‌زاده زهرا؛ زین‌العابدین جعفرپور و نادر پروین (۱۳۸۶): بررسی و شناسایی الگوهای سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مولد سیلاب‌های مخرب و فراگیر سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۷، شماره ۱۰، صص ۱۵۵-۱۲۵.
- ۵- خزایی، مهدی و اسماعیل عباسی (۱۳۹۸): تحلیل دینامیک و ترمودینامیک جو هم‌زمان با رخداد سیلاب مخرب شمال غرب ایران (۲۵ فروردین ۱۳۹۶). فضای جغرافیایی، ۱۹(۶۶)، صص ۲۳۸-۲۲۳.
- ۶- دارند، محمد (۱۳۹۴): تحلیل همدید بارش‌های سیل‌آسای استان کردستان، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۵، شماره ۳۷، صص ۴۷-۷۰.
- ۷- رحیمی، داریوش؛ حمید میر هاشمی و فاطمه عابدی (۱۳۹۱): تحلیل ترمودینامیک و سینوپتیکی سیلاب‌های لحظه‌ای مناطق خشک (حوضه زاینده‌رود)، علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۵، شماره ۳، صص ۶۸-۵۹.
- ۸- رحیمی، داریوش؛ حمید میر هاشمی و یونس رحیمی (۱۳۹۲): تحلیل ترمودینامیک و سینوپتیکی سیلاب‌های لحظه‌ای مناطق کوهستانی (حوضه بهشت‌آباد)، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره ۳، پیاپی ۱۱۰، صص ۱۴۴-۱۳۱.
- ۹- رسولی، علی‌اکبر؛ علی‌محمد خورشید دوست و مجتبی فخاری واحد (۱۳۹۵): بررسی شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی توفان تندری منجر به سیل شدید ۲۸ تیرماه سال ۱۳۹۴ در البرز مرکزی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۸، صص ۱۴۲-۱۲۷.
- ۱۰- رضایی، پرویز (۱۳۸۸): تحلیل همدیدی رخداد سیلاب در حوضه ماسوله، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۱، شماره ۶۸، صص ۱۱۸-۱۰۵.
- ۱۱- رضایی، محسن؛ مهدی اژدری مقدم؛ غلام‌رضا عزیزیان و محسن بستانی (۱۳۹۶): تحلیل همدید منشأ بارش‌های بیش از ۲۰ میلی‌متر جهت اعلام هشدار وقوع سیلاب در استان سیستان و بلوچستان، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۶ شماره ۱۴، صص ۶۲-۴۷.
- ۱۲- ساری صراف، بهروز؛ ناهید قلی‌نژاد و اکرم کمانی (۱۳۹۰): بررسی خشک‌سالی و ترسالی حوضه ارس با استفاده از نمایه‌های مبتنی بر بارش، جغرافیای طبیعی، دوره ۴، شماره ۱۲، صص ۱۵-۱.
- ۱۳- سلامتی هرمزی، وحید؛ کمال امیدوار؛ رضا کاووسی و مجتبی حمزه نژاد (۱۳۹۶): شناسایی و تحلیل همدیدی-دینامیکی الگوهای جوی سیلاب آبان ۱۳۹۴ در استان ایلام و لرستان، مجله علمی و ترویجی نیوار، شماره ۹۶-۹۷، صص ۲۷-۹.
- ۱۴- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱): اقلیم‌شناسی سینوپتیک، چاپ اول، تهران، انتشارات سمت، ۲۵۷ ص.
- ۱۵- غیور، حسنعلی؛ امیرحسین حلبیان؛ بیژن صابری و فرشته حسینعلی‌پور جزی (۱۳۹۱): بررسی رابطه بارش‌های سنگین با الگوهای گردشی جو بالا (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی)، مخاطرات محیط طبیعی، ۱(۲)، صص ۱۱-۲۷.
- ۱۶- فرج‌زاده، منوچهر و سعید رجایی نجف‌آبادی (۱۳۹۲): تحلیل شرایط سینوپتیکی رخداد سیل در بارش‌های سنگین (شهرستان کوهرنگ)، جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۵، صص ۱۶۲-۱۴۳.

- ۱۷- قنبرپور، محمدرضا؛ مهدی تیموری و شعبانعلی غلامی (۱۳۸۷): مقایسه روش‌های برآورد دبی پایه براساس تفکیک هیدرو گراف جریان (مطالعه موردی حوضه آبخیز کارون)، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴۴، صص ۳.
- ۱۸- قویدل رحیمی، یوسف؛ محمود احمدی؛ داریوش حاتمی زرنه و محمدرضایی (۱۳۹۳): نارسایی الگوهای سینوپتیک بارش سنگین مولد سیلاب مخرب در شهرستان جیرفت، فصل نامه جغرافیا، سال ۱۲، شماره ۴۱، صص ۱۷۸-۱۶۱.
- ۱۹- کرم‌پور، مصطفی؛ جعفر معصوم‌پور سماکوش؛ مرتضی میری و یدا... یوسفی (۱۳۹۱): بررسی الگوهای همدیدی بارش‌های سیل‌آسا در استان لرستان، فضای جغرافیایی، سال ۱۳، شماره ۴۳، صص ۹۹-۱۱۳.
- ۲۰- لشکری، حسن؛ منیره اصغرپور و علی‌اکبر متکان (۱۳۸۷): تحلیل سینوپتیکی عوامل ایجاد بارش‌های سیل‌زا در استان گلستان، فصل نامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۲۱۱-۱۸۱.
- ۲۱- مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۸۴): شناسایی الگوهای پدیدآورنده سیلاب‌های بزرگ در کارون، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۵، صص ۱۶۱ تا ۱۸۲.
- ۲۲- مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۸۸): مارتین، جاناتان ای. دینامیک جو در عرض‌های میانه. چاپ اول، دانشگاه اصفهان.
- ۲۳- نصیری، بهروز (۱۳۷۸): تحلیل الگوی سینوپتیکی و دینامیکی بارش‌های کرخه و دز، فصل نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۵-۵۴، صص ۱۸۵-۱۷۷.
- ۲۴- وزارت نیرو (۱۳۹۵)، بررسی خسارت سیلاب، نشریه شماره ۱۶۴-ن، ۱۱۱.

- 25- Banacos, P. C. & Schultz, D. M. (2005). The Use Of Moisture Flux Convergence In Forecasting Convective Initiation: Historical And Operational Perspectives. *Weather And Forecasting*, 20(3), Pp. 351-366.
- 26- Changnon, D. Mckee, T. B. & Doesken, N. J. (1993). Annual Snowpack Patterns Across The Rockies: Long-Term Trends And Associated 500-Mb Synoptic Patterns. *Monthly Weather Review*, 121(3), Pp. 633-647.
- 27- Curtis, M. B. (2017). A Synoptic And Mesoscale Analysis Of Heavy Rainfall At Portland, Maine, 13-14 August 2014. *JOURNAL OF OPERATIONAL METEOROLOGY*, 5(7), Pp. 78-86.
- 28- Elsner, J. B. Drag, W. H. & Last, J. K. (1989). Synoptic Weather Patterns Associated With The Milwaukee, Wisconsin Flash Flood Of 6 August 1986. *Weather And Forecasting*, 4(4), Pp. 537-554. <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.pressure.html>.
- 29- Kahana, R. Ziv, B. Enzel, Y. & Dayan, U. (2002). Synoptic Climatology Of Major Floods In The Negev Desert, Israel. *International Journal Of Climatology: A Journal Of The Royal Meteorological Society*, 22(7), Pp. 867-882.
- 30- Kaplan, M. L. Adaniya, C. S. Marzette, P. J. King, K. C. Underwood, S. J. & Lewis, J. M. (2009). The Role Of Upstream Midtropospheric Circulations In The Sierra Nevada Enabling Leaside (Spillover) Precipitation. Part II: A Secondary Atmospheric River Accompanying A Midlevel Jet. *Journal Of Hydrometeorology*, 10(6), Pp. 1327-1354.
- 31- Kumar, P. (2012). Hailstorm With Very Low Vertical Wind Shear And Tilt Over Trivandrum. *American Meteorological Society*.
- 32- Kuo, Y. H. Cheng, L. & Anthes, R. A. (1986). Mesoscale Analyses Of The Sichuan Flood Catastrophe, 11-15 July 1981. *Monthly Weather Review*, 114(11), Pp. 1984-2003.
- 33- Laing, A. G. (2004). Cases Of Heavy Precipitation And Flash Floods In The Caribbean During El Nino Winters. *Journal Of Hydrometeorology*, 5(4), Pp. 577-594.
- 34- Maddox, R. A. Chappell, C. F. & Hoxit, L. R. (1979). Synoptic And Meso-A Scale Aspects Of Flash Flood Events. *Bulletin Of The American Meteorological Society*, 60(2), Pp. 115-123.

- 35- Schroeder, A. J. Gourley, J. J. Hardy, J. Henderson, J. J. Parhi, P. Rahmani, V. ... & Taraldsen, M. J. (2016). The Development Of A Flash Flood Severity Index. *Journal Of Hydrology*, 541, Pp. 523-532.
- 36- S n si, S. Bougeault, P. Ch ze, J. L. Cosentino, P. & Thepenier, R. M. (1996). The Vaison-La-Romaine Flash Flood: Mesoscale Analysis And Predictability Issues. *Weather And Forecasting*, 11(4), Pp. 417-442.
- 37- Underwood, S. J. Kaplan, M. L. & King, K. C. (2009). The Role Of Upstream Midtropospheric Circulations In The Sierra Nevada Enabling Leaside (Spillover) Precipitation. Part I: A Synoptic-Scale Analysis Of Spillover Precipitation And Flooding In A Leaside Basin. *Journal Of Hydrometeorology*, 10(6), Pp. 1309-1326.
- 38- Vaghefi, S. A. Keykhai, M. Jahanbakhshi, F. Sheikholeslami, J. Ahmadi, A. Yang, H. & Abbaspour, K. C. (2019). The Future Of Extreme Climate In Iran. *Scientific Reports*, 9(1), Pp. 1-11.
- 39- Yarnal, B. (1993). *Synoptic Climatology In Environmental Analysis: A Primer*. Belhaven.
- 40- Yarnal, B. & Diaz, H. F. (1986). Relationships Between Extremes Of The Southern Oscillation And The Winter Climate Of The Anglo-American Pacific Coast. *Journal Of Climatology*, 6(2), Pp. 197-219.
- 41- Yarnal, B. & Frakes, B. (1997). Using Synoptic Climatology To Define Representative Discharge Events. *International Journal Of Climatology: A Journal Of The Royal Meteorological Society*, 17(3), Pp. 323-341.