

تحلیل همدیدی بارش‌های فرین در استان خراسان شمالی

مختار کرمی^۱ حسن حاجی‌محمدی^{۲*} مهدی اسدی^۳

۱- استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه حکیم سبزواری

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی سینوپتیک دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی دانشگاه حکیم سبزواری

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸

چکیده

به منظور تعیین الگوی همدیدی بارش‌های فرین در خراسان شمالی، به دلیل کوتاه بودن طول دوره‌ی آماری سایر ایستگاه‌ها، از آمار بارندگی ایستگاه بجنورد استفاده شد. جهت تعیین الگوهای همدید بارش‌های فرین، داده‌های مربوط به فشار سطح دریا، نم و ویژه، سرعت قائم (امگا)، مؤلفه باد مداری (U)، مؤلفه باد نصف‌النهاری (V)، ارتفاع ژئوپتانسیل و دمای هوا در سطوح متفاوت به صورت چهار بار در روز و تابش طول موج بلند خروجی (OLR) به صورت روزانه از مرکز ملی پیش‌بینی محیطی از دو روز قبل از بارش تهیه و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار GrADS مورد تحلیل قرار گرفت. یافته‌ها نشان می‌دهد که از الگوهای غالب جوی در هنگام وقوع بارش‌های فرین، قرارگیری یک ناوه با محور شمال شرق- جنوب غرب در قسمت جنوب دریای خزر که سبب ناپایداری و صعود هوای مرطوب و انتقال این رطوبت به منطقه مورد مطالعه شده و موجب ایجاد بارش‌های سنگین در منطقه می‌شود. با توجه به نقشه‌های نیمرخ قائم رطوبت جو مشخص شد که بیشترین مقدار رطوبت موجود در جو، در ترازهای پایین‌تر تروپوسفر بوده، از طرفی با بررسی نقشه‌های هسته‌های همگرایی رطوبت در سطوح مختلف، نقش دریای خزر در تأمین رطوبت چنین بارش سنگینی قابل‌مشاهده است. وضعیت رودباد در ترازهای بالایی جو نیز سبب شدت یافتن صعود هوا و تقویت ناپایداری و آشفتگی‌های جوی در منطقه می‌شود. از طرفی ریزش هوای سرد عرض‌های بالاتر سبب ایجاد جبهه و شدت یافتن و گسترش آن تا سطوح فوقانی جو شده است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل همدیدی، بارش فرین، دریای خزر، خراسان شمالی

مقدمه

یکی از شاخه‌های مهم علم اقلیم‌شناسی سینوپتیک، شناسایی حالت‌های فرین ویژگی‌های محیطی، مانند طوفان-های شدید و به ویژه بارش‌های سنگین و سیل‌آسا است (Alijani et al., 2008). بارش‌های سنگین یکی از پدیده‌های خسارت‌بار محیط می‌باشد که در بیشتر مکان‌ها به ویژه در مناطق کم باران اتفاق می‌افتد و باعث وقوع سیل‌های ناگهانی می‌شوند. این سیل‌ها یکی از فراوان‌ترین انواع مخاطرات تولید شده توسط توفان‌های همرفتی هستند که پیش‌بینی آن‌ها بسیار دشوار است (Barnes, 2010). در سال‌های اخیر رخدادهای بارشی منجر به سیل افزایش یافته است. حدود ۱۶۹ میلیون نفر از ساکنان کره زمین در بیش از ۹۰ کشور به طور متوسط هر ساله با یک سیل مخرب مواجه می‌شوند (Kömüscü and Çelik, 2013). نکته‌ی قابل توجه در بررسی بارش‌های سنگین، شناخت الگوهای همدید سامانه‌های بارش‌زا می‌باشد که می‌تواند برای پیش‌بینی و آمادگی برای رویارو شدن با آن‌ها، مؤثر واقع گردد ارزشمندی این مطالعات به دلیل ارتباط مستقیم و غیرمستقیم این پدیده بر روی زندگی و فعالیت‌های انسانی است که خود لزوم توجه به این پدیده‌ی اقلیمی را توجیه می‌کند. مطالعات زیادی در ارتباط با تحلیل همدید رخداد بارش‌های سنگین در سطح جهان به عمل آمده است. نتایج مطالعه‌ای بر روی روند فرین‌های بارش و دما در منطقه غرب آلمان در نیمه دوم قرن بیستم،

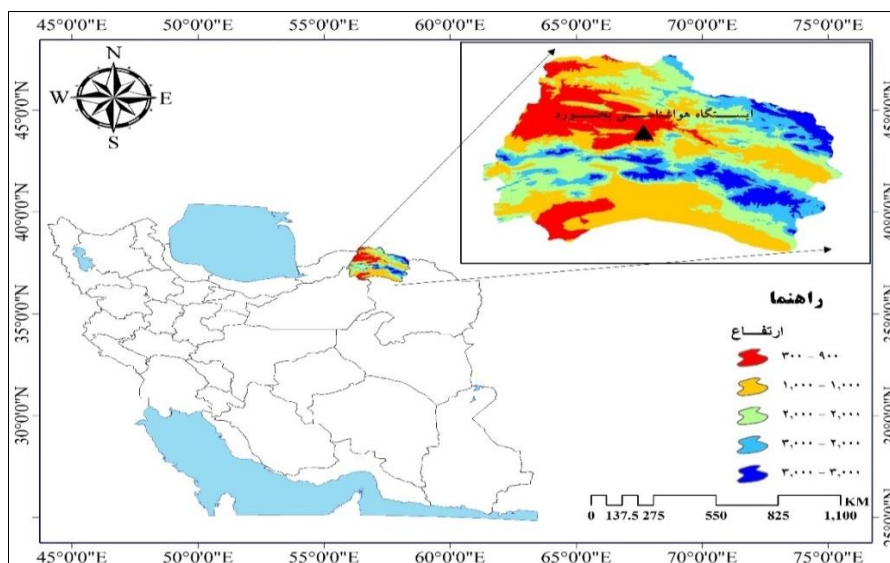
*نویسنده مسئول: حسن حاجی محمدی Hassan_eghlim@yahoo.com

بیانگر روند افزایشی شدت بارش‌های سنگین روزانه در همه فصول به جز تابستان بود (Hundexha & Bardossy, 2005). در مطالعه دیگری روند فرین‌های بارش فصلی در هندوستان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بارش‌های فرین پاییزه و زمستانه در برخی مناطق به لحاظ آماری دارای روند معناداری است (Pal & Tabba, 2009). Chen (2011)، در بررسی تاثیرات ناهمواری‌ها بر رخداد بارش‌های سنگین در جنوب غرب تایوان، در طول فصل گرم، صعود توده هوای مرطوب از کوهستان را علت بارش‌های سنگین در منطقه دانست. Akbari و همکاران (2016)، در بررسی نقش سامانه‌های بندالی در رخداد بارش ژانویه ۲۰۰۸ جنوب شرق ایران نشان دادند که در زمان بارش نفوذ کم فشار سودانی در سطح زمین و سامانه بندالی در تراز میانی جو با راستای شمالی به جنوب موجب دینامیکی شدن کم فشار و رخداد بارش سیل آسا در منطقه شده است. از دیگر کارهای می‌توان به مطالعات Treble و همکاران (2005)؛ Seibert و همکاران (2007)؛ Norbiato و همکاران (2007)؛ Twardosz (2010)؛ Charabi و Al-Hatrushi (2010)؛ Mastrangelo (2010) اشاره نمود.

در ایران نیز تحقیقات زیادی در رابطه با تجزیه و تحلیل همدید بارش‌های سنگین به عمل آمده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: صمدی (۱۳۸۶) به تحلیل همدید الگوهای بارشی منجر به سیل پاییز سال ۱۳۸۲ سواحل جنوبی دریای خزر پرداخت و به این نتیجه رسید که تشدید حداکثر اختلاف حرارتی بین هوای سرد قطبی و سطح آب دریا در فصل پاییز در منطقه، باعث ریزش بارش‌های سیل آسا شده‌اند. امیدوار (۱۳۸۷) معتقد است که توقف سامانه‌های باران‌زا در صورت کسب رطوبت از منابع آبی جنوبی کشور و مدیترانه می‌تواند به وقوع سیل در یزد منجر شود. رضایی (۱۳۸۸) سه الگوی سیل‌زا در ماسوله را شناسایی و به این نتیجه رسید که سامانه‌های چرخندی و واچرخندی برحسب ویژگی و یا توقف خود بر روی آن منطقه، از یک تا حداکثر سه روز پی‌درپی ایجاد سیل کرده‌اند. محمدی و مسعودیان (۱۳۸۹) به تحلیل همدید بارش‌های سنگین ایران در آبان ماه ۱۳۷۳ پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که الگوی پرفشار اروپا - کم‌فشار عراق در رویداد این بارش مؤثر بوده است. پرند خوزانی و لشکری (۱۳۸۹)، در بررسی همدید سامانه‌های سیل‌زا در جنوب ایران، عامل این سیل‌زا در نتیجه تقویت و تشدید مرکز کم‌فشار سودان و منطقه همگرایی دریای سرخ و در مواردی، ادغام مرکز کم‌فشار سودان با مرکز فشار مدیترانه‌ای و تبدیل آن به یک سیستم دینامیک یا ترمودینامیک دانسته‌اند. کرمی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی نقشه‌های همیدی، علت وقوع سیل پلدختر را تقویت سامانه سبیری و گسترش آن بر روی آب‌های گرم و انتقال رطوبت به داخل ایران و عربستان و ادغام آن با سامانه‌ی مدیترانه‌ای و ریزش هوای سرد عرض‌های بالا توسط کم‌فشار ایسلند و ادغام آن با سامانه ادغامی دانسته‌اند. مسعودیان و محمدی (۱۳۹۰) به بررسی نقش رودبادهای در رخداد بارش‌های سنگین پرداخته و علت ریزش سنگین بارش‌ها را کشیده شدن رودبادهای تا سطح ۶۰۰ هکتوپاسکال دانستند. اسدی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی ساختار منطقه‌ای جو در زمان رخداد بارش برف سنگین در استان کرمان پرداختند. نتایج بیانگر این بود که با استقرار جریان واچرخندی بر روی پاکستان و با وارد شدن این جریانات به منطقه، ضمن عبور از روی دریای عمان و کسب رطوبت، نم لازم برای وقوع برف سنگین در منطقه را فراهم نموده است. لذا در این پژوهش سعی شده به تحلیل همیدی بارش‌های فرین در استان خراسان شمالی پرداخته شود و ضمن شناسایی سامانه‌های به وجود آورنده، آمادگی‌های لازم در صورت وجود چنین سامانه‌هایی جهت جلوگیری از وقوع سیل و یا مخاطرات طبیعی مرتبط دیگر در نظر گرفته شود.

منطقه مورد مطالعه

شهر بجنورد در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و در طول ۵۷ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی واقع شده که ارتفاع متوسط آن ۱۱۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. این شهرستان از شمال به رشته‌کوه‌های کپه داغ، از جنوب به رشته‌کوه‌های آلاداغ، از شرق به شهرستان شیروان و از غرب به شهرستان مانه و سملقان منتهی می‌شود (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

مواد و روش‌ها

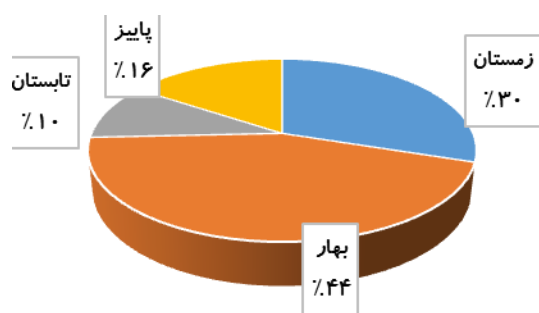
استان خراسان شمالي از شمال و شمال شرقي دارای مرز مشترک با ترکمنستان، از شرق و جنوب با استان خراسان رضوي، از جنوب غرب با استان سمنان و از غرب با استان گلستان هم‌جوار است. این استان یک منطقه کوهستانی با دشت‌های حاصل‌خیز در میان کوه‌ها می‌باشد که اقلیم آن بر اساس شاخص دوما رتن خشک و نیمه‌خشک است و شرایط بسیار مساعدی را برای کشاورزی و دامپروری دارا می‌باشد. میزان بارندگی اندازه‌گیری شده آن در طول ۳۵ سال برای شهرستان‌های بجنورد ۲۶۳/۴، شیروان ۲۴۴/۲، اسفراین ۲۱۱/۸، آشنه ۳۵۰ و جابرم ۱۳۰/۵ بر اساس میلی‌متر می‌باشد. در این پژوهش، از داده‌های ایستگاه‌های زمینی و داده‌های سطوح فوقانی جو جهت تحلیل بارش سنگین بجنورد استفاده شده است. داده‌های ایستگاه زمینی مورد استفاده در این پژوهش، مربوط به داده‌های روزانه بارش ایستگاه بجنورد در استان خراسان شمالي می‌باشد. پس از بررسی بارش‌های رخ داده در طی دوره ۲۵ ساله در ایستگاه بجنورد بارش فرین بدین گونه تعریف شد: بارشی فرین تلقی می‌شود که مقدار آن روزهای برابر یا بالاتر از صدک ۹۹ ام به ترتیب به مثابه روزهای دارای بارش فرین در نظر گرفته می‌شوند (Nicholls et al., 2000; Peterson et al., 2001; Zhang et al., 2005; Alexander et al., 2006). پس از بررسی بارندگی‌های مذکور یک روز به عنوان نماینده روزهای با بارش فرین انتخاب گردید.

بارش مورد تحلیل در این پژوهش در روز ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۰ (۲۱ شهریور ۱۳۷۹) در این شهر رخ داده که مقدار بارش یاد شده در همان روز برابر ۵۴ میلی‌متر بوده است. داده‌های جو بالا جهت تحلیل، عبارت از داده‌های بازکوی شده مؤلفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل (Hgt)، امگا (ω)، رطوبت ویژه (Shum)، شاخص تابش طول موج بلند خروجی (OLR)، فشار سطح دریا (SLP)، دمای هوا (Air)، مؤلفه‌های مداری (U) و نصف‌النهاری باد (V) می‌باشند که از تارنمای متعلق به مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/علوم جو (NCEP/NCAR) اخذ گردید. رویکرد حاضر در این پژوهش، روش محیطی به گردشی است. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های جوی، نقشه‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل و حرکت قائم هوا برای کشور ترسیم گردید. برای ترسیم نقشه‌ها از نرم‌افزار GrADS استفاده گردید. از منظر روش‌شناسی نیز تحقیق حاضر از یک روش تحلیلی و هم‌دیدي ترکیبی برای شناسایی نقش الگوهای گردش جو در زمان رخداد بارش‌های سنگین بهره گرفته که پس از بررسی شرایط در منطقه به شرایط جوی و دینامیک حاکم بر رخداد چنین شرایطی از نظر حرکت‌شناسی و تشکیل جبهه و عوامل مهم در تشکیل و تکوین آن پرداخته است.

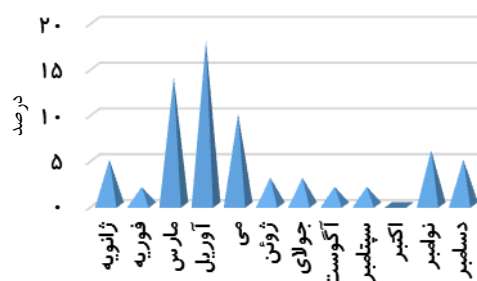
آنجایی که تشکیل جبهه‌های قوی و با گسترش قائم فراوان در مناطق مختلف سبب رخداد سیلاب‌های شدید می‌شود (مسعودیان و محمدی، ۱۳۹۱)، بیشینه وقوع جبهه‌زایی در کشور مناطق شرق و شمال شرق بوده و این شرایط بیش از هر چیز محقق را بر آن می‌دارد تا ساز و کار حاکم بر تشکیل جبهه‌ها را در منطقه مورد ارزیابی و بررسی قرار دهد.

نتایج و بحث

در شکل (۲)، توزیع ماهانه روزهای دارای بارش شدید در دوره ۲۵ ساله (۱۹۸۲-۲۰۰۷) بر اساس آستانه ۹۹ صدم بارش نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می‌شود ماه‌های آوریل، مارس و می به ترتیب بیشترین سهم از روزهای بارش‌های شدید را به خود اختصاص داده‌اند. در توزیع فصلی این نوع بارندگی‌ها، فصل بهار با بیشترین و فصل تابستان با کمترین مقدار مشخص شده‌اند. با توجه به شکل (۳)، فصل بهار با ۴۴، زمستان با ۳۰، پاییز با ۱۶ و تابستان با ۱۰ درصد به ترتیب پراکندگی این روزها را نشان می‌دهند.



شکل (۳): توزیع فصلی بارش‌های شدید ایستگاه بجنورد



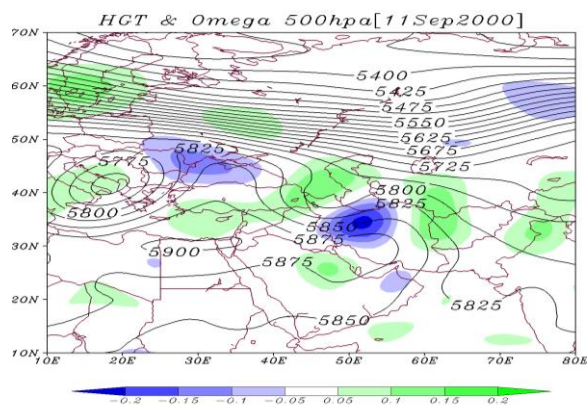
شکل (۲): توزیع ماهانه بارش‌های شدید ایستگاه بجنورد

الگوی فشار سطح دریا

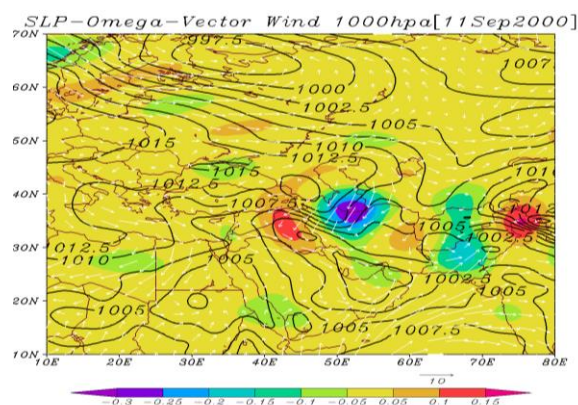
نقشه تراز سطح دریا روز ۲۱ شهریور ۱۳۷۹ برای ساعت ۰۰ گرینویچ ترسیم شده است (شکل ۴). سامانه‌های غالب فشار در این روز بارشی، استقرار پرفشارهای حرارتی بر روی مرکز و غرب چین، شمال شرق پاکستان و کم‌فشارهای حرارتی بر روی ایسلند، جنوب شرق هند و سودان می‌باشد. در نتیجه‌ی حضور این سامانه‌ها، شیو بسیار شدید فشار ایجاد شده است. این شیو شدید فشاری ایجاد شده، باعث شدت یافتن سرعت باد در حد فاصل بین مراکز چرخندها و واچرخندها و تقویت جریان همگرایی بین گردش چرخندها و واچرخندها شده است. این شیو بسیار شدید، همچنین باعث انتقال رطوبت از دریای خزر به داخل منطقه شده و فرآیند تشدید رطوبت، بارش سنگین را ایجاد نموده است. وجود جریان‌های همگرایی شدید در ناحیه کم‌فشارها باعث تقویت حرکات واگرایی در سطوح فوقانی وردسپهر شده و با تقویت صعودهای دینامیکی، بر شدت ناپایداری‌ها افزوده است. از طرفی، شیب فشاری تقریباً مداری ایجاد شده بین کم‌فشار واقع بر روی شمال اروپا با پرفشارهای مستقر بر روی چین و شمال پاکستان، باعث شدت یافتن جریان همگرایی مابین چرخند و واچرخندها شده که سبب شده تا جریانات به صورت شمال شرقی شده و رطوبت حاصل را از دریای خزر وارد منطقه نماید. با بررسی ناپایداری در این سطح مشخص شد که یک هسته ناپایداری شدید در جنوب دریای خزر که سرعت ناپایداری در مرکز این هسته به 0.2 - پاسکال بر ثانیه می‌رسد، سبب شده تا صعود شدید در گستره بیشتری روی دهد و منطقه جنوب دریای خزر و شمال خراسان با ناپایداری مواجه گردند که نتیجه آن بارش سنگین مورد نظر بوده است.

الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل

در بررسی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، قرارگیری یک فرود در جنوب غرب دریای خزر در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال سبب صعود بسته هوا از جنوب این منطقه شده و عامل ایجاد حرکت چرخندی شدید و در نتیجه ناپایداری در نواحی جنوبی حوضه خزر و شمال خراسان شده است (شکل ۵). در جنوب اروپا یک کم‌فشار بریده از جریانات غربی جدا گشته و باعث شده تا ناوه عمیقی در این ناحیه صورت گیرد. در شرق این ناوه پشته‌ای به شکل امگا تشکیل شده که سبب شده تا هوای سرد عرض‌های شمالی‌تر در اروپای شرقی به سوی عرض‌های پایین انتقال یابد. با بررسی نقشه‌ی ارتفاع ژئوپتانسیل در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال، پدیده‌ی مشاهده شده، به وجود آمدن منطقه زین فشار در جنوب ترکمنستان است که خراسان شمالی را نیز در بر می‌گیرد (شکل ۶). مرکز پرفشاری از سوی اروپا تا شمال دریای خزر کشیده شده است که سواحل جنوبی دریا را تحت تأثیر خود قرار داده است. مرکز کم-فشاری نیز در شرق ایران، بر روی کشور پاکستان تشکیل شده سراسر پهنه‌ی ایران را تا شمال زیر نفوذ خود قرار داده است. در سواحل شمالی کشور و در کمربند شمالی ایران، منطقه‌ی ناپایدار دیده می‌شود که سبب ناپایداری در این منطقه گردیده است. در این روز، در ایستگاه‌های واقع در منطقه، بارندگی وجود داشته یا دارای ابرناکی کامل بوده است. این مسئله با بررسی ایستگاه‌های استان گلستان و ایستگاه‌های نزدیک به بجنورد از جمله فوچان میسر گشت.



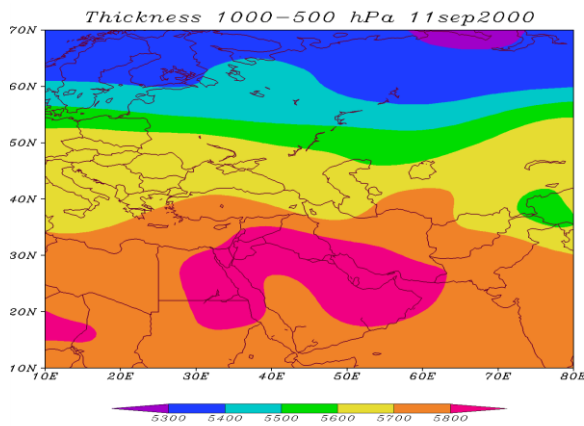
شکل (۵): نقشه شاخص امگا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ ه پ



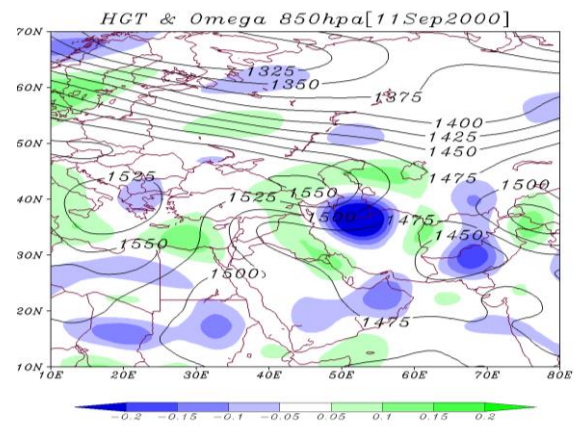
شکل (۴): نقشه شاخص امگا و فشار سطح ۱۰۰۰ ه پ

الگوی ضخامت جو

نقشه ضخامت جو، حاکی از تشدید ناپایداری‌های جوی بر روی منطقه و گسترش شرایط ناپایدار بر روی ایران است که اتمسفر ایران را تحت تأثیر خود قرار داده است. نقشه ضخامت جو، همچنین نشان از وجود یک ناوه در غرب ناحیه‌ی خزری دارد که با استقرار محور ناوه در این ناحیه شرایط برای حمل رطوبت آن به سمت منطقه توسط ناوه‌ی مربوطه مهیا شده است. با حرکات پاد ساعت‌گرد صورت گرفته در محور ناوه (که دارای بیشترین مقدار چرخندگی مطلق می‌باشد) شرایط برای صعود هوا و واگرایی شدید در ورسپهر مهیا می‌شود. واگرایی شدید در جلوی ناوه یا در قسمت شرق ناوه و حمل رطوبت دریای خزر به سطوح فوقانی جو، باعث تشکیل آسمانی ابری شده و در نهایت، منجر به آشفستگی در هوا و تشدید شرایط ناپایدار شده و ریزش بارش را در منطقه به دنبال داشته است (شکل ۷).



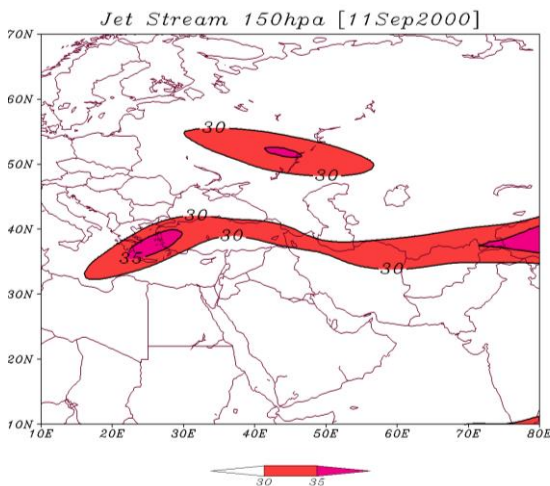
شکل (۷): نقشه ضخامت جو بین تراز ۱۰۰۰ و ۵۰۰ ه پ



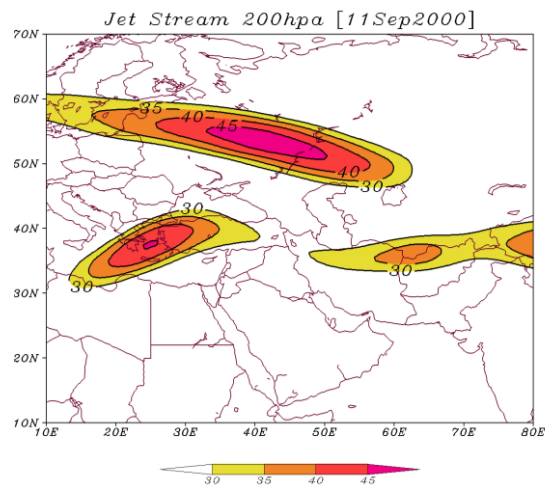
شکل (۶): نقشه شاخص امگا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ ه پ

الگوی رودباد

در زمان رخداد بارش سنگین در بجنورد، در ترازهای ۲۰۰ و ۱۵۰ هکتوپاسکال رودباد جنب حاره با متوسط سرعت ۳۵ تا ۴۰ متر بر ثانیه بر روی نوار شمالی البرز کشیده شده است که ابتدای آن شمال آفریقا بوده و تا رشته‌کوه‌های تبت ادامه دارد. استقرار این رودباد باعث شدت یافتن ناپایداری و ناهنجاری‌های جوی شده و سبب شده در نوار شمالی البرز بارش صورت پذیرد. حاکمیت این رودباد بر روی ایران باعث کنترل هوای سطح زمین و تشدید و تقویت ناپایداری و آشوب‌های جوی و تشکیل چرخند بر روی منطقه شده است. حرکت واگرایانه شدید رودباد مذکور که با تاوایی مثبت همراه می‌باشد صعود شدید هوا را به دنبال داشته و در نتیجه، باعث شدت یافتن بارش‌ها بر روی ایران شده است (شکل-های ۸ و ۹).



شکل (۹): نقشه وضعیت رودباد تراز ۱۵۰ ه پ



شکل (۸): نقشه وضعیت رودباد تراز ۲۰۰ ه پ

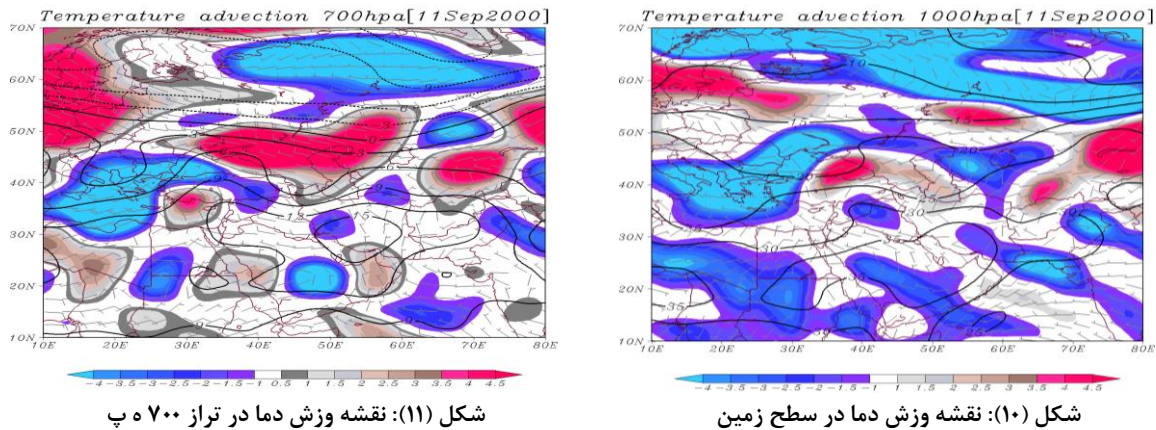
هسته‌ی پیشینه‌ی سرعت رودباد در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال، بر روی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در این وضعیت، سرعت رودباد بر روی بجنورد به بیش از ۳۰ متر بر ثانیه رسیده است؛ بنابراین رخداد بارش سنگین در بجنورد با یک رودباد قوی که نوار شمالی ایران را تحت تأثیر قرار داده است، همراه است.

الگو دمایی جو

جهت بررسی دقیق‌تر شرایط دمایی اقدام به ترسیم نقشه فرارفت دما برای روز ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۰ شد (شکل ۱۰). فرایند وزش در دستگاه مختصات دکارتی (دو بعدی) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$-\vec{V} \cdot \nabla T = \left(-u \frac{\partial T}{\partial x}\right) - \left(v \frac{\partial T}{\partial y}\right) \quad (1)$$

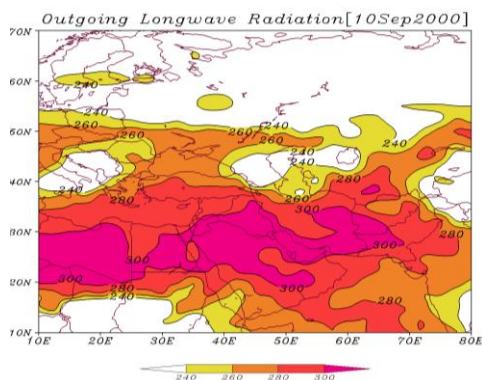
در این رابطه ∇ عملگر دل، \vec{V} بردار سرعت باد، u مؤلفه مداری، v مؤلفه نصف‌النهاری باد و T دماست. جملات سمت راست معادله نشان‌دهنده وزش دما در راستای محور طول‌ها با سرعت مداری و در راستای محور عرض‌ها با سرعت نصف‌النهاری می‌باشد. هر چه اندازه مؤلفه‌های باد بزرگ‌تر باشد، وزش دما نیز بزرگ‌تر می‌شود. به این ترتیب وزش هوای سرد و گرم به ترتیب موجب کاهش و افزایش دما در یک منطقه می‌شود. در نتیجه $-\vec{V} \cdot \nabla T > 0$ معرف وزش هوای گرم و $-\vec{V} \cdot \nabla T < 0$ نمایش‌دهنده وزش هوای سرد است. بر این اساس برای بارش مورد نظر، وزش دما در سطح زمین و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بررسی شد (شکل ۱۱).



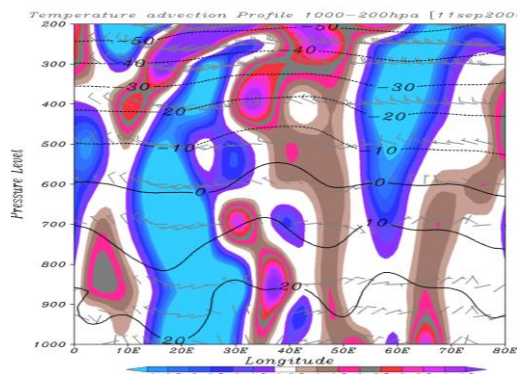
شکل (۱۱): نقشه وزش دما در تراز ۷۰۰ ه پ

شکل (۱۰): نقشه وزش دما در سطح زمین

با توجه به نقشه‌های تعبیه شده برای این روز مشخص شد که در سطح زمین، بر روی دریای خزر وزش گرم صورت پذیرفته که نسبت به تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ضعیف‌تر بوده است. با بررسی وضعیت دمای تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مشخص شد که تغییرات دما بسیار شدید بوده و این وزش گرم و اختلاف بالای دما سبب ناپایداری جو شده است. جهت بررسی وضعیت دما در سطوح مختلف اقدام به ترسیم نیمرخ قائم فرارفت دما در روز مورد نظر برای عرض ایستگاه بجنورد شد. با توجه به این نمودار همدیدی مشخص شد که وضعیت دما در سطوح پایین جو با شیب ملایم با افزایش ارتفاع کاهش پیدا می‌کند ولی از تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، شیب تغییرات دما بیشتر شده و سبب ایجاد اغتشاش در جو شده است. در طول‌های بین ۴۵ تا ۵۵ درجه شرقی تا تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال وزش گرم صورت پذیرفته که ناپایداری‌های منطقه متأثر از این وضعیت هوا است (شکل ۱۲). با توجه به نقشه تهیه شده برای شاخص طول موج بلند خروجی (OLR) برای روز قبل از بارش، منحنی ۲۸۰ و ۲۶۰ وات بر متر مربع را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۱۳). این مقدار در سواحل جنوب دریای خزر نیز دیده می‌شود. پس می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که عوامل همدیدی و عوامل همرفتی نقش تعیین‌کننده‌ای در بارش به وقوع پیوسته داشته‌اند.



شکل (۱۳): نقشه طول موج بلند برگشتی (OLR) برای روز قبل از بارندگی



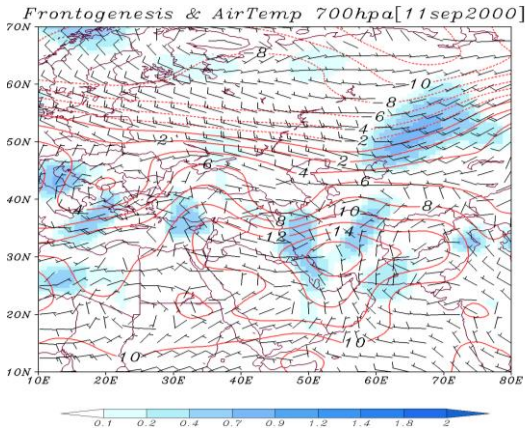
شکل (۱۴): نقشه نیمرخ قائم وزش دما برای عرض ۳۷ درجه بین طول‌های ۰ تا ۸۰ درجه شرقی

الگوی جبهه‌زایی و ناپایداری جو

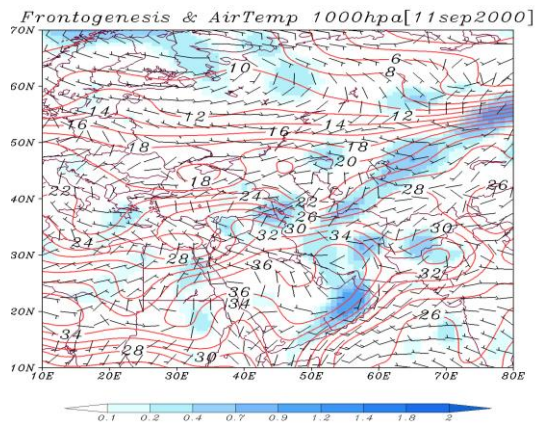
برای شناسایی بهتر توده‌های هوایی که در رخداد بارش سنگین نقش داشته‌اند، از تابع جبهه‌زایی استفاده شد. هر فرآیندی که منجر به افزایش بزرگی ∇T شود، فرآیند جبهه‌زا و چنین عملی را جبهه‌زایی می‌نامند. تابع جبهه‌زایی را می‌توان با رابطه زیر بیان کرد:

$$\mathcal{J} = \frac{d|\nabla_p^2 \theta|}{dt} \quad (2)$$

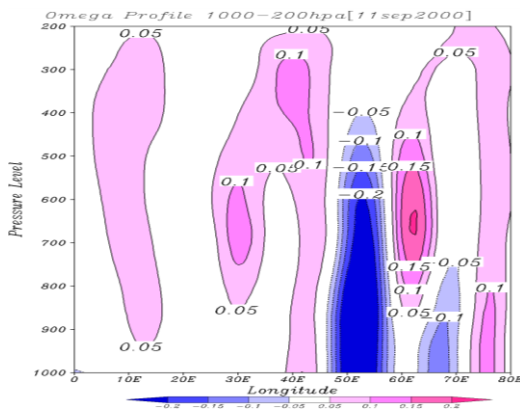
این عبارت مبین آهنگ لاگرانژی تغییر بزرگی $\nabla_p^2 \theta$ (شیو دمای بالقوه روی سطح هم فشار) است. با بررسی نقشه‌های وضعیت جبهه‌زایی برای روز مورد نظر در سطح زمین، تشکیل جبهه بر روی ایران به صورت شمال شرق-جنوب غرب سبب شده تا بیشتر نواحی کشور را تحت تأثیر قرار دهد. تشکیل این جبهه که ادامه آن تا جنوب روسیه کشیده شده، همراه با ورود هوای سرد از سمت شرق اروپاست که با برخورد آن با هوای گرم عرض‌های پایین‌تر شرایط تشکیل جبهه را فراهم کرده است. به طوری که در غرب خزر و شرق آن شیو تغییرات دمابالا بوده و تابع جبهه‌زایی تا ۲ درجه سانتی‌گراد بر روز تشکیل و تقویت شده است (شکل ۱۴). در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز با استقرار فرود در غرب خزر و به تبع آن ریزش هوای سرد که با افت ژئوپتانسیل همراه بوده، باعث شده تا جبهه فوقانی در این تراز جوی تشکیل گردد (شکل ۱۵). در سمت دیگر دریای خزر و در شرق آن، به مثابه ورود هوای سرد به منطقه و برخورد آن با سلول گرم با هسته ۱۴ درجه سانتی‌گراد در ایران مرکزی، ناپایداری‌های جو افزایش یافته و بر روی شمال شرق ایران جبهه بوجود آمده است (شکل ۱۶). برای بررسی دقیق‌تر، نیمرخ قائم تابع جبهه‌زایی برای عرض ۳۷ درجه شمالی (عرض ایستگاه بجنورد) تهیه شد. با توجه به نمودار مذکور دو هسته جبهه‌زایی بین طول‌های ۴۲ تا ۴۷ درجه و ۵۳ تا ۵۸ درجه شرق به وجود آمده است. اولین مرکز بر روی دریای خزر تشکیل شده و دومی دقیقاً بر روی منطقه مورد مطالعه است. این شرایط تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ادامه پیدا کرده که در این تراز این دو هسته به یکدیگر پیوسته‌اند. برای آنکه شرایط صعود هوا بر روی منطقه مشخص گردد، از شاخص امگا استفاده شد. نمودار تهیه شده برای روز مورد نظر بین طول‌های ۰ تا ۸۰ درجه شرقی و ۳۷ درجه عرض شمالی بوده است (شکل ۱۷). با توجه به این نمودار مشخص شد که یک هسته ناپایداری بسیار قوی با هسته ۰/۲- پاسکال بر ثانیه بر روی خراسان شمالی قرار گرفته که این ناپایداری تا تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال ادامه داشته است.



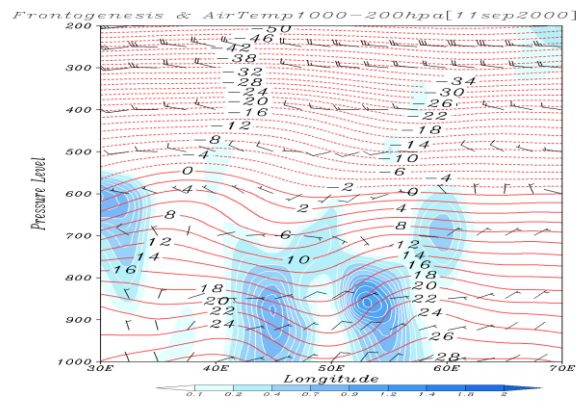
شکل (۱۵): نقشه وضعیت جبهه‌زایی در تراز ۷۰۰ ه پ



شکل (۱۴): نقشه وضعیت جبهه‌زایی سطح زمین



شکل (۱۷): نقشه نیمرخ قائم شاخص (امگا) برای عرض ۳۷ درجه شمالی و طول‌های ۰ تا ۸۰ درجه



شکل (۱۶): نقشه نیمرخ قائم جبهه‌زایی برای عرض ۳۷ درجه و طول‌های ۳۰ تا ۷۰ درجه شرقی

نتیجه‌گیری

شناخت ساختار بزرگ مقیاس گردش جو و تبیین نحوه بر هم کنش آن با خصوصیات و ویژگی‌های مقیاس منطقه‌ای و محلی، درک نظام اقلیمی حاکم بر هر منطقه‌ای را ممکن می‌سازد. بارش به عنوان یکی از عناصر اقلیمی در منطقه بجنورد، از بر هم کنش ویژگی‌های مقیاس منطقه‌ای و محلی با گردش بزرگ مقیاس جو حاصل می‌شود. بر اساس چنین نگرشی، وقوع بارش‌های شدید در این ناحیه ناشی از وقوع ترکیبی خاص از بر هم کنش مؤلفه‌های گردش بزرگ مقیاس با مؤلفه‌های مقیاس منطقه‌ای و محلی است. یافته‌های تحقیق، ویژگی‌های زیر را در خصوص بارش‌های شدید در شمال شرق کشور نشان می‌دهد: پس از استخراج روزهای همراه با بارش‌های فرین بر اساس صدک ۹۹ ام، ماه‌های آوریل، مارس و می به ترتیب بیشترین قسمت از روزهای بارش‌های شدید را به خود اختصاص داده‌اند. در توزیع فصلی این نوع بارندگی‌ها، فصل بهار با بیشترین و فصل تابستان با کمترین مقدار مشخص شده‌اند. با توجه به شکل (۳)، فصل بهار با ۴۴، زمستان با ۳۰، پاییز با ۱۶ و تابستان با ۱۰ درصد به ترتیب پراکندگی این روزها را نشان می‌دهند. در ادامه یک روز به عنوان نماینده انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های هواشناختی قرار گرفت.

با بررسی شرایط موجود در هنگام وقوع بارش سنگین در خراسان شمالی، نقش عوامل همدیدی و عوامل محلی که سبب ایجاد بارش مذکور شده در بارش فوق کاملاً مشخص شد. به گونه‌ای که قرارگیری یک ناوه با محور شمال شرق- جنوب غرب در قسمت جنوب دریای خزر سبب ناپایداری (نقش دریای خزر در پژوهش احمدی و جعفری (۱۳۹۶) نیز در بارش‌های منطقه به وضوح دیده می‌شود) و صعود هوای مرطوب و انتقال این رطوبت به منطقه مورد مطالعه شده و با ترکیب عوامل محلی (ارتفاعات) سبب ایجاد چنین بارش سنگینی می‌شود که خیری و همکاران (۱۳۹۴) نیز در

پژوهشی خود به نقش ارتفاعات در منطقه اشاره کرده‌اند. با بررسی نقشه‌های وزش و نیمرخ قائم رطوبت جو مشخص شد که بیشترین مقدار رطوبت در سطوح پایینی جو بوده، از طرفی با بررسی نقشه‌های جریان رطوبت در سطح مذکور نقش دریای خزر در تأمین رطوبت این بارش به وضوح نشان داده شد. وضعیت رودباد در ترازهای بالایی جو سبب شدت یافتن صعود هوا و تقویت ناپایداری و آشفتگی‌های جوی در منطقه می‌شود. ریزش هوای سرد عرض‌های بالاتر سبب تشکیل جبهه در منطقه شده که تا تراز ۷۰۰ هکتو پاسکال فرایند جبهه‌زایی ادامه داشته است. پس چنین نتیجه‌گیری می‌شود که سهم عوامل همدیدی جو در وقوع بارش‌های سنگین در شمال شرق کشور چشمگیر بوده و با ترکیب و تقویت شرایط همدیدی سبب وقوع بارندگی‌های سیل‌آسا در یک روز می‌شود. هدف اصلی از این تحقیق بارزسازی و شناسایی عوامل مهم در رخداد بارش فوق سنگین در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بررسی‌ها نشان داد که با بکارگیری شاخص‌های دینامیکی و پایش آن در منطقه مورد بررسی، می‌توان شرایط را برای پایش‌بینی و پایش آگاهی از رخداد چنین پدیده‌ای فراهم ساخت. هر چند وقوع بارش‌های سنگین باعث ایجاد سیل می‌شوند و خسارت‌هایی را در بخش‌های مختلف کشاورزی، محیط زیستی و غیره به بار می‌آورند اما می‌توان با اطلاع از چگونگی جریان، حجم، شدت، مدت، مکان و بالاخره زمان وقوع سیل‌ها جریان آب بوجود آمده از این طریق را با روش‌هایی مانند ذخیره‌سازی و نفوذ دادن آب به زمین و غیره مدیریت کرد. همچنین می‌توان این آب‌ها را در زمان خشکسالی در مصارف مختلف از جمله کشاورزی و صنعت مورد استفاده قرار داد و گامی بلند را در راستای تقلیل تلفات آبی در منطقه برداشت.

منابع

۱. احمدی، م. و ف. جعفری (۱۳۹۵). تحلیل همدیدی سیل ویرانگر تیرماه سال ۱۳۹۴ شمال ایران، جغرافیای طبیعی، ۹(۳۴)، ص ۸۳-۱۰۴.
۲. اسدی، م.، م. کرمی و ح. حاجی محمدی (۱۳۹۵). تحلیلی بر ساختار منطقه‌ای جو در زمان رخداد بارش برف سنگین در استان کرمان، سامانه‌های سطوح آبگیر باران ۲(۴)، ص ۱-۱۰.
۳. امیدوار، ک. (۱۳۸۷). بررسی سیلاب بر اساس موقعیت‌های سیستم‌های سینوپتیکی در استان یزد. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۸۸، ص ۱۶۵-۱۳۷.
۴. پرند خوزانی، ا. و ح. لشکری (۱۳۸۹). بررسی سینوپتیک سیستم‌های سیل زا در جنوب ایران. تحقیقات منابع آب ایران، سال ششم، شماره ۲، ص ۶۶-۷۳.
۵. خیری، ه.، غ. مقامی مقیم و م. صدیق (۱۳۹۴). بررسی طوفان‌های تندری شهر بجنورد، چهارمین همایش سراسری محیط زیست، انرژی و پدافند زیستی، تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند-گروه ترویجی دوستداران محیط زیست.
۶. رضایی، پ. (۱۳۸۸). تحلیل همدیدی رخداد سیلاب در حوضه ماسوله. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. شماره ۶۸، ص ۱۱۸-۱۰۵.
۷. صمدی، ز. (۱۳۸۶). تحلیل سینوپتیکی بارش سیل‌زای پاییز سال ۱۳۸۲ ساحل جنوبی دریای خزر، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، شماره ۲۷، ص ۹۴-۷۷.
۸. کرمی، ف. (۱۳۸۹). بررسی الگوی سینوپتیک سیل بهمن ۱۳۸۴ شهرستان پلدختر، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال دوم، شماره چهار، ص ۹۹-۱۰۶.
۹. محمدی، ب. و ا. مسعودیان (۱۳۸۹). تحلیل همدید بارش‌های سنگین ایران (مطالعه موردی: آبان ماه ۱۳۷۳)، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹، ص ۷۰-۴۷.
۱۰. مسعودیان، ا. و ب. محمدی (۱۳۹۰). تحلیل فراوانی رودبادهای مرتبط با رخداد بارش‌های ابر سنگین ایران، تحقیقات منابع آب ایران، سال هفتم، شماره ۲، ص ۹۱-۸۱.

۱۱. مسعودیان، ا. و ب. محمدی (۱۳۹۱). تحلیل فراوانی جبهه‌زایی در زمان رخداد بارش‌های ابر سنگین ایران، تحقیقات جغرافیایی، سال بیست و هفت، شماره ۱، ص ۲۴-۱.
12. Akbari T., Azizi G., Asadi A. and Davodi M. (2016). *The Role of Blocking System in Heavy Precipitation of Iran (A Case Study: Southeast of Iran January 2008)*. Arab J Geo Sic 9: 591-606.
13. Alexander L.V. Zhang X., Peterson T.C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M. Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Rupa Kumar K., Revadekar J., Griffiths G., Vincent L. Stephenson B.D. Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M. and Vazquez-Aguirre J.L. (2006). *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*. J. Geophys. Res., 111, D05109, doi: 10.1029/2005J D006290.
14. Alijani B.J., Brien O. and Yarnal B. (2008). *Spatial Analysis of Precipitation Intensity and Concentration in Iran*. Theoretical and Applied Climatology, 94: 107-124.
15. Barnes G.M. (2010). *Meteorological Hazards in the Tropics: Severe Convective Storms and Flash Floods. Chapter in Tropical Meteorology*. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) (www.eolss.net), Sponsored By The UNESCO, 109 pp.
16. Bocheva L., Marinova T., Simeonov P. and Gospodinov I. (2008). *Variability and trends of extreme precipitation events over Bulgaria. 1961-2005*. Atmospheric Research 93, 490-497.
17. Charabi Y. and Al-Hatrushi S. (2010). *Synoptic aspects of winter rainfall variability in Oman*. Atmospheric Research 95, 470-486.
18. Chen Ch. (2011). *Orographic Effects on Localized Heavy Rainfall Events over Southwestern Taiwan on 27 and 28 June 2008 during the Post-Mei-Yu Period*. Atmospheric Research, 101:595-610.
19. Hundexha Y. and Bardossy A. (2005). *Trend in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century*. International journal of climatology, 25.1189-1202.
20. Kömüscü A.Ü. and Çelik S. (2013). *Analysis of the Marmara Flood in Turkey, 7-10 September 2009: An Assessment from Hydro Meteorological Perspective*. Natural Hazards, 66(2): 781-808.
21. Mastrangelo D., Horvath K., Riccio A. and Miglietta M.M. (2011). *Mechanisms for convection development in a long-lasting heavy precipitation event over southeastern Italy*. Atmospheric Research 100, 586-602.
22. Nicholls N., Trewin B. and Haylock M. (2000). *Climate Extremes: Indicators for State of the Environment Monitoring, Australia: State of the Environment*. Second Technical Paper Series (The Atmosphere), Department of the Environment and Heritage, Canberra, 20p.
23. Norbiato D., Borga M., Sangati M. and Zanon F. (2007). *Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern Italian Alps and the August 29, 2003 flash flood*. Journal of Hydrology, 345, 149-166.
24. Pal I. and Al-Tabbaa A. (2009). *Trends in seasonal precipitation extremes – An indicator of climate change in Kerala, India*. Journal of Hydrology, 367.62-69.
25. Peterson T.C., Folland C., Gruza G., Hogg W., Mokssit A. and Plummer N. (2001). *Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001*, World Meteorological Organization Rep.WCDMP-47, WMO-TD1071, Geneva, Switzerland, 143p.
26. Seibert P., Frank A. and Formayer H. (2007). *Synoptic and regional patterns of heavy precipitation in Austria*. Theor. Appl. Climatol. 87, 139-153.
27. Treble P.C., Budd W.F., Hope P.K. and Rustomji P.K (2005). *Synoptic-scale climate patterns associated with rainfall d18O in southern Australia*. Journal of Hydrology 302, 270-282.
28. Twardosz R. (2010). *An analysis of diurnal variations of heavy hourly precipitation in Krakow using a classification of circulation types over southern Poland*. Physics and Chemistry of the Earth 35, 456-46.
29. Zhang X., Aguilar E., Sensoy S., Melkonyan H., Tagiyeva U., Ahmed N., Kutladze N., Rahimzadeh F., Taghipour A., Hantosh T.H., Albert P., Semawi M., Karam Ali M., Halal Said Al-Shabibi M., Al-Oulan Z., Zafari T., Al Dean Khelet I., Hamoud S., Sagir R., Demircan M., Eken M., Adiguzel M., Alexander L., Peterson T.C. and Wallis T. (2005). *Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003*. J. Geophys. Res., 110, D22104, doi: 10.1029/2005JD006181.

Synoptic analysis of extreme rainfall in North Khorasan Province

Mokhtar Karami¹, Hasan Hajimohammadi^{2*}, Mahdi Asadi³

Email: Hassan_eghlim@yahoo.com

1- Assistant Professor of climatology, University of Hakim Sabzevari

2- MSc student of synoptic meteorology, Ferdowsi University of Mashhad

3- PhD student of Agricultural meteorology, University of Hakim Sabzevari

Received: 2017/06

Accepted: 2017/10

Abstract

Due to the short period of statistical data for other stations only the rainfall level of Bojnurd station was used to determine the coherent pattern of extreme precipitation in North Khorasan. In order to determine the patterns of rainfall, data related to sea level pressure, specific humidity, vertical velocity (ω), wind component (U), wind velocity component (V), geopotential height and air temperature at different levels, collected four times a day, were used. Also, Outgoing Longwave Radiation (OLR) prepared daily by the National Center for Environmental Forecast from two days before the rainfall was entered into GrADS software along with the previous parameters and analyzed using the software's capabilities. The findings show that the prevailing atmospheric patterns during the occurrence of rainfall is the existence of a wave with a north-southwest axis in the southern part of the Caspian Sea, which causes instability, raising and transferring moist air to the studied area, causing heavy rainfall in the area. According to the vertical maps of atmospheric moisture, it was determined that the highest amount of moisture in the atmosphere was at lower levels of the troposphere. By studying the maps of the convergence nuclei of moisture at different levels, the role of the Caspian Sea in providing the moisture of such heavy rainfall is visible. The status of the atmospheric river at upper levels of the atmosphere also contributes to more severe ascent of air, increased instability, and elevated atmospheric turbulence in the region. On the other hand, falling cold air has higher latitude, which creates a frontier, increases its intensity, and stretches the frontier to the upper levels of the atmosphere.

Keywords: Consolidation analysis, Extreme precipitation, Caspian Sea, North Khorasan