مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره هشتم، تابستان ۱۳۹۵
تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۴/۲۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۹/۱۰
صفحات: ۸۲-۵۳

تحلیل همدیدی ساز و کار وقوع بارش های سنگین بهاره در شمال غرب ایران

علی محمد خورشیددوست[۱]، عباس مفیدی[۲]، علی اکبر رسولی[۳]، کامل آزرم[۴]*

چکیده

هدف اصلی پژوهش حاضر تحلیل همدیدی سازوکار حاکم بر وقوع بارش‌های سنگین بهاره در شمال‌غرب ایران می‌باشد. بدین جهت داده‌های بارش روزانه فصل بهار تعداد ۱۵ ایستگاه همدید در منطقه شمال غرب کشور برای یک دوره ۳۴ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۱) مورد استفاده قرار گرفت و با بهره‌گیری از شاخص صدک و لحاظ نمودن صدک ۹۵٪ به بالا، ۹۸ روز بارش سنگین و فراگیر شناسایی شد. به منظور تعیین الگوی همدیدی با بهره‌گیری از داده‌های بازتحلیل شده NCEP\NCAR، نقشه‌های مربوط به ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار سطح دریا، خطوط جریان، تاوایی نسبی، شار رطوبت در ترازهای متفاوت به صورت ۶ ساعته تهیه شد و الگوی منطقه‌ای جریان و شرایط جوی حاکم از دو روز قبل از وقوع روز بارشی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. یافته‌ها بیانگر آن است که بارش‌های سنگین شمال غرب ایران در قالب ۴ الگوی همدیدی قابل دسته-بندی می‌باشند. در الگوی اول، علت اصلی وقوع بارش سنگین در منطقه، عبور چرخند یا سامانه کم‌فشار دینامیکی مهاجر و منطقه همگرایی و گردش چرخندی ناشی از آن است که عامل اصلی تزریق رطوبت به داخل این چرخندها، واچرخند مستقر بر روی دریای عرب می‌باشد. در الگوی دوم سامانه بندالی از نوع زوجی در تراز میانی وردسپهر با توقف حرکت سامانه‌های گردشی در تراز میانی و زیرین جو منجر به وقوع بارش سنگین شده است. در الگوی سوم یک مرکز کم‌فشار در تراز دریا مشاهده نمی‌گردد، اما یک مرکز گردش چرخندی بر روی منطقه شکل گرفته است و عمیق شدن یک ناوه برون‌حاره و تحریک شرایط همگرایی محلی به شکل دینامیکی سازوکار اصلی وقوع بارش بوده است. سازوکار اصلی در الگوی چهارم نیز استقرار سامانه بندالی از نوع امگا در عرض‌های میانی می‌باشد. در واقع در الگوی امگا شکل، کم‌ارتفاع بریده مستقر بر جانب غربی سامانه بندالی با استقرار بر روی منطقه و ماندگاری چند روزه، بارش‌های سنگین شمال غرب ایران را رقم زده است.

واژگان کلیدی: بارش های سنگین بهاره، تحلیل همدیدی، شمال‌غرب ایران، CHIRPS

[۱]- استاد گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز Khorshid@tabrizu.ac.ir
[۲]- استادیار گروه آب و هواشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد Abbasmofidi@um.ac.ir
[۳]- استاد گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز Rasouli@tabrizu.ac.ir
[۴]- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز K.azarm.tabrizu.ac.ir

مقدمه

بارش‌های سنگین از جمله آثار و شواهد ناهنجاری‌های اقلیمی است که کره زمین را با بحران‌های مختلف از جمله سیلاب‌های شدید، خسارات در بخش‌های مختلف کشاورزی، حمل و نقل و مرگ انسانی مواجه کرده است. بر این اساس، بررسی و شناخت سازوکار همدید شکل‌گیری این رخدادها به منظور پیش‌بینی دقیق و هشدار قبل از وقوع، نقش مهمی در مدیریت این حوادث ایفا می‌کند. به دلیل کوهستانی بودن منطقه شمال‌غرب ایران، تغییرات مکانی-زمانی بارش در این منطقه زیاد است. مهمترین مشخصه رژیم بارش شمال‌غرب ایران، سهم چشمگیر مقادیر بارش فصل بهار از مجموع بارش سالانه است. در این میان، بی‌گمان بارش‌های سنگین بهاره، بارزترین مشخصه اقلیمی منطقه شمال غرب ایران به شمار می‌آیند، به طوری که در این منطقه، بارش‌های سنگین بهاره سهم قابل ملاحظه‌ای از بارش‌های فصلی و سالانه را از آن خود نموده است. چنین ویژگی‌هایی موجب شده تا تحلیل سازوکار وقوع این بارش‌ها اهمیت یافته و بارش‌های فصل بهار به شکل اعم و بارش‌های سنگین بهاره به شکل اخص، موضوع بررسی تعدادی از پژوهش‌ها قرار گیرد. در فصل بهار بادهای غربی به طور کامل از شمال‌غرب ایران خارج نشده‌اند. لذا سامانه‌های دینامیکی محرک ناپایداری جو هنوز در منطقه وجود دارند. در این صورت، در برخی مواقع ترکیب شرایط دینامیکی ـ ترمودینامیکی، باعث وقوع بارش‌های بسیار شدید و متعاقباً ایجاد سیل و وارد آمدن خسارات جانی ـ مالی فراوانی در فصل بهار می‌گردد. مناطق مختلف دنیا و به تبع آن شمال‌غرب ایران در هر فصلی از سال تحت تاثیر الگوهای گردش جوی متفاوتی قرار می‌گیرند که بارش و دیگر رخدادهای اقلیمی نتیجه تسلط آنهاست، لذا به منظور فراهم نمودن درکی درست از نحوه عمل گردش جو در مقیاس منطقه‌ای، مطالعه سازوکار همدیدی رخدادهای جوی به صورت فصلی ضرورت می‌یابد.

بنابر مطالعات سابق، یکی از مشخصه‌های بارش‌های سنگین بهاره در شمال‌غرب ایران، رگباری و تندری بودن آنهاست. روزهای تندری نماینده‌ی ناپایداری‌های شدیدی هستند که با تندر و آذرخش همراه می‌باشند. با وجود کم بسامد بودن این توفان‌ها در ایران، اما میانگین آنها در گوشه‌ی شمال‌غربی ایران به بیش از ۵۰ روز در سال می‌رسد (مسعودیان، ۱۳۹۰). برجستگی میزان وقوع توفان‌های تندری در گوشه‌ی شمال‌غرب ایران سبب گردیده تا این پدیده موضوع اصلی برخی از مطالعات باشد. از آن جمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود:

سیف (۱۳۷۵)، به بررسی پدیده تگرگ با روش‌های آماری و همدیدی پرداخته و نشان داده است که بیشترین فراوانی وقوع تگرگ در شمال‌غرب و غرب کشور، همچنین مناطق شمال‌شرقی، شرق ایران و جنوب شرق دریای خزر مشاهده می‌گردد. ایشان عامل اصلی ناپایداری‌های شدید در شمال ایران را سامانه‌های جبهه‌ای برون‌حاره می‌داند که با فرارفت هوای گرم و مرطوب همراه می‌باشند. علیجانی (۱۳۸۷) با بررسی اقلیم‌شناسی بارش‌های شمال‌غرب ایران، وجود رطوبت مناسب در جو و حاکمیت ناپایداری‌های همرفتی بر اثر گرمایش سطح را علت وجودی بارش‌های سنگین و رگباری در این منطقه بر می‌شمارد. شایان ذکر است که ایشان مهم‌ترین عامل در ایجاد چنین بارش‌هایی را، فراهم شدن شرایط همرفت دامنه‌ای بر اثر تابش عمودی آفتاب بر دامنه‌های آفتاب‌گیر و گرم‌تر شدن هوای آن نسبت به جو مجاور می‌داند. از نظر ایشان افزایش بارندگی بهاره شمال‌غرب ایران نسبت به فصول دیگر به جهت وجود بادهای غربی و امکان ورود رطوبت دریای مدیترانه و شرایط جغرافیایی و محلی این منطقه است. رسولی و

جوان (۱۳۹۱)، با بهره‌گیری از آزمون‌های ناپارامتری به تحلیل روند وقوع توفان‌های رعد و برقی در نیمه غربی ایران پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که نیمه غربی کشور از لحاظ فراوانی وقوع پدیده رعد و برق و چگونگی روند آن دارای نظام همگنی نبوده، به طوری که از شمال به جنوب از فراوانی وقوع آن کاسته می‌شود. در طول زمان تغییرات معنی‌داری در وقوع پدیده رعد و برق در نیمه غربی ایران حادث شده است، به طوری که روند افزایشی در اکثر ایستگاه‌ها قابل اثبات است. در طی چند دهه گذشته، شناسایی و درک سازوکار حاکم بر وقوع بارش‌های سنگین، از جنبه‌ها و زوایای مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. اخیراً به واسطه افزایش انواع داده‌های اقلیمی، پژوهش‌های متعددی در زمینه ارتباط الگوهای همدید وردسپهر زیرین، میانی و فوقانی با بارش‌های سنگین در مناطق مختلف دنیا و به تبع آن شمال‌غرب ایران به انجام رسیده است. این جنبه از مطالعات، از سه رهیافت اصلی جهت مطالعه الگوهای همدید منجر به بارش و دیگر رخدادهای اقلیمی استفاده می‌نماید. در رهیافت اول، اساس مطالعات بر تحلیل دستی[1] و در رهیافت دوم بر روش‌های تحلیل کمّی[2] بنا نهاده شده است. علاوه بر دو رهیافت اولیه یاد شده، در سال‌های اخیر و در راستای فراهم نمودن درک عمیق‌تری از روابط بین الگوهای گردش جو و رخدادهای اقلیمی، روش تکامل یافته‌تری موسوم به روش‌های ترکیبی[3] جهت انجام پژوهش‌ها استفاده شده است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۳: ۳). از مهمترین مطالعاتی که در چارچوب سه رهیافت یاد شده به شناخت سازوکار وقوع بارش سنگین در مناطق مختلف دنیا و ایران به انجام رسیده اند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: زیو و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی الگوهای جوی حاکم بر بارش‌های جنوب لوانت[4]، گسترش یک ناوه تراز بالا از اروپای شرقی تا شرق مدیترانه را عامل اصلی بارش‌های این منطقه می‌دانند. این ناوه دو اثر بر بارش جنوب لوانت دارد: یکی به صورت دینامیکی و دیگری فرارفت سرد توسط جریانات شمال‌غربی داخل ناوه بر روی شرق مدیترانه است. شوماخر و جانسون (۲۰۰۸: ۳۹۶۵)، در مطالعه‌ای با استفاده از مشاهدات و شبیه‌سازی عددی به بررسی فرایندهای جوی میان‌مقیاس در شرق ایالت میسوری[5] که منجر به سیلاب‌های مخرب در دوره گرم سال می‌شوند، پرداختند. آنها مهم‌ترین سازوکار وقوع بارش‌های سیل‌آسای ایالت میسوری را برهمکنش جت ترازهای زیرین جو با تاوه[6] همرفتی میان‌مقیاس دانسته‌اند که صعود و بالابری را فراهم نموده است. ماسترانجلو و همکاران (۲۰۱۱)، در تحقیقی به بررسی سازوکار وقوع بارش‌های سنگین در جنوب کشور ایتالیا پرداختند. نتایج آنها نشان داد، یک جریان جت سطوح پایینی (LLJS)[7] ناشی از الگوهای بزرگ مقیاس، ناپایداری همرفتی محیط را حفظ کرده و وزش توده هواهای خیلی مرطوب در سطوح پایین، این رخداد را بوجود آورده است. خروجی‌های مدل نشان داد که تغییرات بارش از زمان اوج اول تا زمان اوج دوم توسط عبور یک چرخند میان‌مقیاس ضعیف و یک ناوه کوتاه ضعیف تراز بالایی به وجود آمده است. گیورگیان (۲۰۱۳) در تحقیقی به مهمترین سازوکار همدید و مولفه‌های گردشی مولد بارش سنگین در ارمنستان پرداخت.

1. Subjective
2. Objective
3. Combined
4. Levant
1. Missouri
2. Vortex
3. Low-level jet stream

نتایج تحلیل همدیدی ایشان نشان داد که فرآیندهای همدید مقارن با روزهای با رخداد بارش سنگین در هفت تیپ مجزا تقسیم‌بندی می‌شوند. در دوره گرم بیشتر رخدادهای بارش سنگین همراه با فرایندهای توده هوا (۳۱ درصد) و عبور جبهه سرد از شمال‌غرب (۲۳ درصد) هستند. رخدادهای بارش سنگین در ۱۵ درصد موارد همراه با عبور جبهه از روی ارمنستان، در ۱۱ درصد موارد همراه با عبور چرخند از جنوب شرق و در ۹ درصد موارد با عبور چرخند از جنوب همراه هستند. همچنین وقوع بارش ها در ۸ درصد موارد ناشی از سازوکار کوه‌بارش و در ۴ درصد موارد ناشی از عبور جبهه سرد از شمال‌شرق بوده‌اند. اما مهمترین فرایندهای همدید مقارن با وقوع بارش سنگین در دوره سرد به ترتیب، عبور چرخند از جنوب‌شرق (۳۸ درصد)، عبور جبهه‌های سرد از شمال‌غرب (۳۱ درصد)، عبور امواج جبهه‌ای (۱۳ درصد)، عبور چرخند از جنوب (۱۳ درصد)، انسداد ناشی از کوه‌بارش (۴ درصد) و عبور جبهه سرد از شمال‌شرق (۳ درصد) بوده است. مارتینز و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و درجه‌حرارت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به طبقه‌بندی و شناسایی الگوهای جوی رخدادهای بارش سنگین در نواحی غربی مدیترانه پرداختند. آنها با بکارگیری تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای، هشت الگوی جوی را شناسایی نمودند. آنها اذعان نمودند، با وجود آنکه این الگوهای جوی شرایطی از میانگین را ارائه می‌نمایند اما می-توانند به عنوان ابزاری جهت پیش‌بینی بارش سنگین مورد استفاده قرار گیرند. سوای مطالعاتی که در سایر مناطق جهان در رابطه با بارش‌های سنگین به انجام رسیده است، مهمترین مطالعاتی که از منظر تحلیل همدید بارش‌های سنگین بهاره در شمال‌غرب ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند، به شرح زیر می‌باشند: اشجعی باشکند (۱۳۷۹) در تحقیقی به بررسی و ارائه‌ی مدل‌های همدید بارش‌های سنگین بیش از ۳۰ میلی‌متر شمال‌غرب ایران پرداخت. ایشان معتقدند که سامانه‌های کم‌فشار مدیترانه‌ای به دلیل این‌که حاوی رطوبت زیاد می‌باشند بیش از سامانه‌های دیگر در ایجاد بارش‌های سنگین منطقه موثر بوده‌اند و در مواقعی که سردچال‌های ترازهای بالا در منطقه استقرار طولانی داشته باشند بارش‌های سنگین همراه با تگرگ خواهد بود. به‌علاوه زمانی که عبور سامانه‌های کم‌فشار مدیترانه‌ای با گسترش سامانه واچرخند اروپا بر روی قفقاز و شمال‌غرب ایران همراه می‌گردد، شدیدترین حالت جبهه‌زایی و همگرایی به وجود می‌آید و بارش سامانه چشم گیرتر خواهد بود. مفیدی (۱۳۷۹) در بررسی همدید نقش دریای سیاه در بارش ایران بیان می‌دارد، استقرار مراکز پرفشار دینامیکی بر روی اروپا موجب ریزش هوای سرد بر روی دریای سیاه و جنوب شرق اروپا می‌شود، این امر جبهه‌های سرد و حتی جبهه‌هایی که در مراحل پایانی عمر خود هستند را دوباره تقویت نموده و در ضمن عبور از دریای سیاه به سمت شمال و شمال‌غرب ایران می‌کشاند. در ماه آوریل منطقه دریای سیاه به دفعات تحت کنترل ناوه‌های کوچکی است که از عرض‌های بالاتر به منطقه دریای سیاه نفوذ کرده‌اند. در ماه می با خروج پرفشار آسیایی از روی منطقه و عدم گسترش پرفشار آزور، فضای اروپا و روسیه برای گسترش سیستم‌های کم‌فشار با منشأ اطلس و جابجایی آنها به سمت شرق فراهم می‌گردد. در این ماه در برخی مواقع در شمال‌غرب ایران بدون وجود سیستم کم‌فشاری در سطح زمین، یک کم‌ارتفاع با چند کنتور بسته و یا یک ناوه کوچک مستقر خواهد شد که با ایجاد همگرایی در سطوح پایین و واگرایی در سطوح میانی و فوقانی تروپوسفر باعث بارش قابل ملاحظه‌ای می‌شود. این سازوکار همراه با گرمایش سطحی ناشی از تابش خورشیدی در این موقع از سال ناپایداری قابل توجهی در منطقه ایجاد می‌نماید. از طرفی استقرار ناوه و یا کم‌ارتفاع در نیمه شرقی دریای سیاه

موجب انتقال رطوبت به شمال‌غرب ایران شده و با توجه به ناپایداری موجود در جانب راست ناوه و یا کم‌ارتفاع بیشینه بارش ماه می را در این مناطق موجب می‌گردد. حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی و شناسایی الگوهای همدید تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال سیلاب‌های مخرب حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. بر اساس نتایج آنها الگوی ناوه موج کوتاه بادهای غربی با فراوانی ۶۷/۳ درصد، مولد اصلی سیلاب‌ها به حساب می‌آید. آنها اذعان نمودند، الگوی همدید ناوه موج کوتاه نسبت به دیگر الگوهای همدید شناسایی شده توزیع ماهانه مناسب‌تری دارد. به طوری که، وقوع سیلاب‌های مخرب و فراگیر ناشی از حاکمیت این الگو در اکثر ماه‌های اول سال به ویژه اردیبهشت ماه قابل انتظار است. ساری‌صراف و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی همدید بارش‌های رگباری در حوضه جنوبی رود ارس به این نتیجه رسیدند که، مهم‌ترین علل وقوع بارش‌های رگباری در این منطقه عمدتاً دو عامل ناپایداری محلی (در فصل-های گرم سال) و ورود جبهه سرد (در فصل‌های سرد) است. غفاریان و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی به بررسی ساختار الگوی همدید دو مورد بارش فرین (۱۴ مارس ۲۰۰۹ به عنوان پربارش و ۴ مارس ۲۰۰۵ به عنوان کم‌بارش) ایستگاه ارومیه پرداختند. نتایج آنها نشان می‌دهد که برهم کنش دو رودباد جنب حاره و قطبی باعث چرخندزایی در منطقه‌ی شمال‌شرق دریای مدیترانه می‌شود و مشخص گردید که بی‌هنجاری فشار تراز دریا، ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و دمای سطح آب می‌تواند به عنوان ابزاری برای پیش‌بینی بارش‌های شدید استفاده شود. قویدل رحیمی (۱۳۹۰)، دلیل اصلی وقوع توفان تندری (بارش ۱۷/۵ میلی‌متری و بارش تگرگ) ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹ تبریز را ناپایداری محلی هوا و همرفت دامنه‌ای نمی‌داند، بلکه بیان می‌کند که وقوع ناپایداری شدید و توفان تندری مذکور به دلیل ورود جبهه هوای سرد و شرایط مساعد الگوی فشار در مقیاس همدید رخ داده است. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی به بررسی رابطه الگوهای گردشی جو بالا با بارش‌های ابر سنگین استان آذربایجان شرقی پرداختند. آنها با بکارگیری تحلیل خوشه‌ای با روش ادغام وارد، سه الگوی گردشی را شناسایی کردند. نتایج آنها نشان داد که الگوی پرفشار غرب دریای سیاه-شمال دریای مدیترانه و الگوی پرفشار دریای سیاه بیشترین ارتباط را با بارش‌های ابر سنگین منطقه دارند. رسولی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی با تحلیل سری‌های زمانی داده‌های فشار تراز دریا، به این نتیجه رسیدند که اکثر مراکز فشار به استثنای پرفشار سیبری در فصل بهار، در حال تضعیف شدن هستند. این افزایش فشار در فصل بهار می‌تواند موجب پدید آمدن گرادیان فشار در نواحی شمالی کشور و به تبع آن افزایش ناپایداری‌ها و بارش‌های بهاره گردد. لشکری و آقاسی (۱۳۹۲)، به تحلیل همدید یک نمونه توفان تندری تبریز (۲۸ می ۲۰۰۴) پرداختند. نتایج آنها نشان داد زبانه واچرخندی قوی بر روی روسیه که تا شمال‌غرب ایران امتداد یافته است، باعث افزایش اختلافات دمایی در منطقه شده است. همچنین با ادغام دو سلول کم‌فشار سودانی و مدیترانه‌ای بر روی کویت و جنوب عراق و گسترش زبانه آن به سمت شمال‌غرب ایران و همچنین وجود یک سلول پرفشار روی تنگه هرمز و شمال عربستان و انتقال گرما و رطوبت دریای عمان و خلیج فارس بر روی منطقه، شرایط لازم برای ناپایداری بیشتر و ایجاد رعد و برق، فراهم شده است. رضایی‌بنفشه و همکاران (۱۳۹۴)، به تحلیل الگوهای ضخامت بارش‌های سنگین شمال‌غرب پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که چهار الگوی ضخامت در به‌وجود آمدن این بارش‌ها موثر بوده است. الگوی شماره ۲ (ناوه عمیق در امتداد منتهی الیه غرب روسیه-شمال دریای سیاه و شرق مدیترانه) با بیشترین فراوانی، بیشتر بارش‌ها را توجیه می‌کند. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۴)، در مطالعه‌ای به

تحلیل همدید- ترمودینامیک بارش‌های ابرسنگین استان آذربایجان شرقی پرداختند. تحلیل همدیدی این الگوها نشان داد که در تمامی آنها ، کم‌فشار برون‌حاره و پرفشار جنب حاره‌ای ضمن انحراف از موقعیت به‌هنجار و بلند مدت خود، زبانه‌های آنها بر روی منطقه مدیترانه ـ خاورمیانه گسترش می‌یابد. لذا، شرایط به‌وجود آمده در مراکز ذیربط، باعث افزایش اختلافات دمایی و فشاری و برقراری گردش نصف‌النهاری و ایجاد سردچاله‌ها و سامانه مانع، در منطقه مدیترانه ـ خاورمیانه و به‌تبع در منطقه مورد تحقیق می‌گردد. اخیراً براتی و همکاران (۱۳۹۴)، به تحلیل همدیدی بارش‌های سنگین بهاره استان زنجان پرداختند. نتایج پژوهش، بیانگر انتقال رطوبت در لایه های زیرین وردسپهر از شرق دریای مدیترانه به استان زنجان می باشد. آنها اذعان داشتند که بالاترین فراوانی وقوع بارش های سنگین استان زنجان مربوط به فروردین ماه بوده و در عین حال، دریای مدیترانه در میان پهنه‌های آبی پیرامون ایران، مهم‌ترین نقش را در تغذیه رطوبتی سامانه های بارش زا در استان زنجان داشته است. طاهایی و همکاران (۱۳۹۵) نیز در تحقیقی با استفاده از تکنیک آماری تحلیل عاملی و خوشه‌بندی به روش وارد، به شناسایی و طبقه‌بندی الگوهای همدیدی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بارش‌های فوق سنگین غرب و جنوب غرب حوضه آبریز دریاچه ارومیه اقدام نمودند. نتایج آنها بیانگر حاکمیت هشت الگوی همدیدی در قالب دو گروه عمده سردچال و ناوه موج کوتاه بر روی منطقه شمال غرب ایران می باشد.

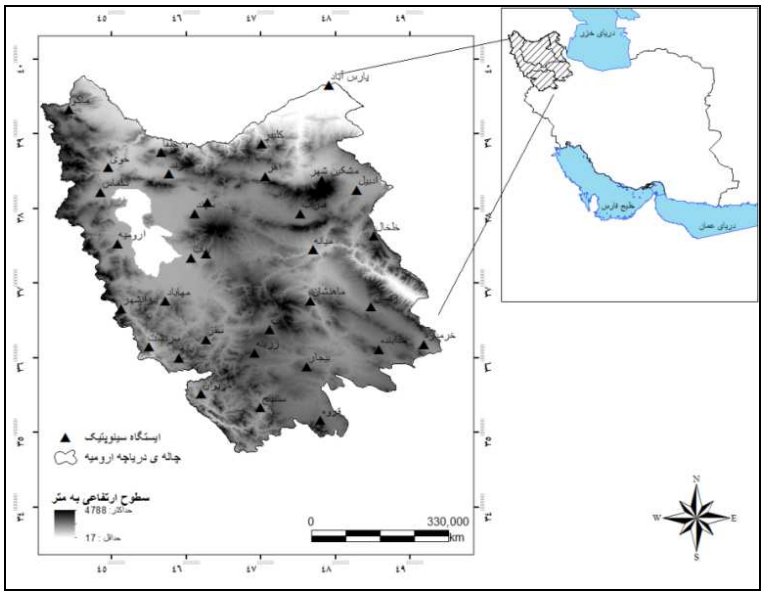
در بررسی بارش‌های سنگین در محدوده شمال‌غرب ایران با روش‌های تحلیل کمی، عمده تحلیل‌های همدیدی با بکارگیری تکنیک‌های آماری خاصی چون تحلیل همبستگی، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مولفه‌های اصلی، به انجام رسیده است. اگرچه روش‌های تحلیل کمّی، پردازش داده‌های حجیم را آسان نموده و ظرف زمانی پردازش‌ها را بسیار کوتاه ساخته است و در عین حال از کارکرد سلیقه‌ای که در روش دستی تیپ‌بندی همدیدی مشاهده می‌گردد، مبرّاست، اما برخی از پژوهشگران در پی فراهم نمودن درکی عمیق‌تر همراه با جزئیات بیشتر، درصدد استفاده از روش‌های ترکیبی برآمده‌اند (صادقی و همکاران، ۱۳۹۳). بکارگیری روش‌های دستی دیدی عمیق‌تر، همراه با باریک-بینی و دقت بیشتر را فراهم می‌آورند، این در حالی است که در روش‌های تیپ‌بندی آماری امکان از دست رفتن و یا پنهان ماندن این جزئیات وجود دارد (یارنال و همکاران، ۲۰۰۱). هوث و همکاران (۲۰۰۸)، در تحقیقی به آخرین پیشرفت‌ها و روش‌های طبقه‌بندی‌های الگوهای گردشی جو پرداختند. آنها در این تحقیق به بررسی هر سه گروه اصلی طبقه‌بندی: دستی ، کمّی و ترکیبی اقدام نمودند و به بررسی مزایا و معایب هر یک از این روش‌ها پرداختند. از مهمترین تحقیقات انجام شده در زمینه تحلیل الگوهای گردشی با بهره‌گیری از روش ترکیبی می‌توان به مطالعات بک و همکاران (۲۰۰۷)، جیمس (۲۰۰۷)، جنکینسون و کولیسون (۱۹۷۷) و جونس و همکاران (۱۹۸۷) اشاره نمود. بررسی نتایج مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که بارش‌های شمال‌غرب ایران، در طول سال ناشی از وقوع ترکیبی خاص از برهم‌کنش مولفه‌های گردشی بزرگ مقیاس با مؤلفه‌های مقیاس منطقه‌ای و محلی است.

مروری بر مطالعات انجام شده که به تبیین الگوهای همدیدی بارش‌های سنگین، به خصوص بارش‌های بهاره در شمال‌غرب ایران پرداخته‌اند، حاکی از آن است که عمده تمرکز پژوهشگران بر بررسی الگوهای همدیدی در وردسپهر میانی (تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) بویژه بر نقش ناوه‌ها در تشکیل و گسترش بارش‌ها بوده است. بنابراین، اطلاعات موجود در رابطه با الگوهای تراز زیرین و بررسی کمیت‌های دینامیکی موثر بر این بارش‌ها اعم از تاوایی نسبی،

فرارفت تاوایی، همگرایی، واگرایی و همچنین نحوه تأمین رطوبت بارش‌ها ناکافی و اندک است. از این رو مطالعه متمرکز و جامعی که ضمن بررسی بارش‌های سنگین بهاره شمال‌غرب ایران، سازوکار وقوع این بارش‌ها را از بعد همدیدی، در ترازهای زیرین و میانی وردسپهر مورد مطالعه قرار داده و در عین حال سامانه‌های بارش‌زا را از منظر منشأ و مسیر تامین رطوبت مورد بررسی قرار داده باشد، صورت نگرفته است. بر این اساس، هدف اصلی پژوهش حاضر این است که ساختار منطقه‌ای گردش جو و سازوکارهای همدیدی حاکم بر وقوع بارش‌های سنگین بهاره شمال‌غرب ایران در بلندمدت را مورد بررسی قرار داده و منابع تامین رطوبت بارش‌ها را نیز شناسایی کند. پژوهش حاضر از منظر روش‌شناسی یک روش تحلیل همدید ترکیبی برای شناسایی الگوهای منطقه‌ای گردش جو در روزهای بهاری همراه با وقوع بارش سنگین را مورد توجه قرار داده است. بررسی شرایط جوی غالب در قبل و در طی وقوع بارش‌های سنگین، درک بهتری از نحوه وقوع بارش‌های سنگین بر روی منطقه را فراهم خواهد ساخت.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شمال‌غرب ایران است که استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل، کردستان و زنجان را در بر می‌گیرد. در این منطقه وجود کوهستان‌های متعدد و درهم تنیدگی کوهستان و دشت، عرض جغرافیایی نسبتاً بالا، وجود دریاچه ارومیه از عوامل فیزیوگرافی و جغرافیایی تاثیرگذار روی اقلیم منطقه مورد مطالعه به شمار می‌روند (رسولی و همکاران، ۱۳۹۱). در شمال‌غرب ایران ناپایداری‌های جو در فصل بهار که از یک سو متاثر از شرایط ناهمواری و از سوی دیگر ناشی از سامانه‌های همدید می‌باشند بارش‌های شدید را بوجود می‌آورند. شکل ۱، موقعیت شمال‌غرب در کشور و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می دهد.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌ها و پراکندگی سطوح ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

در مطالعات آب و هواشناسی همدید دو رویکرد جهت مطالعه وجود دارد، الف: رویکرد گردش به محیط، ب: رویکرد محیط به گردش. در اکثر طبقه‌بندی‌های گردشی از فشار تراز دریا و یا ارتفاع ژئوپتانسیل در وردسپهر زیرین تا وردسپهر میانی (تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) استفاده می‌شود. در مطالعات همدید، مبنا قرار دادن گردش جو بر این اصل استوار است که هر الگوی گردش در جو می‌تواند یک ویژگی اقلیمی خاص را در سطح زیرین خود رقم زند. بنابراین استخراج الگوهای گردشی غالب جو در هر منطقه امکان شناسایی پدیده‌ها و ویژگی‌های خاص اقلیمی در آن منطقه را به راحتی فراهم خواهد ساخت. لذا در این تحقیق رویکرد محیط به گردش جهت انجام مطالعه در نظر گرفته شد. بدین منظور برای شناسایی روزهای با بارش شدید نخست داده‌های روزانه بارندگی فصل بهار ۱۵ ایستگاه همدید واقع در شمال‌غرب ایران به دلیل وجود آمار بلند مدت و پیوسته برای دوره زمانی ۳۴ ساله (۱۹۸۱ تا ۲۰۱۴) مورد استفاده قرار گرفت. سپس روزهای بارشی با آستانه حداقل ۱ میلی‌متر برای همه ایستگاه‌ها استخراج شد. روز بارشی در شمال‌غرب کشور روزی است که تمام ایستگاه‌ها در آن روز بارش حداقل ۱ میلی‌متر را دریافت کرده باشند. در پژوهش‌های صورت گرفته تعاریف متفاوتی از بارش‌های شدید و حدی ارائه شده است و شاخص‌های متفاوتی در این زمینه وجود دارد. یکی از شاخص‌ها برای تعیین بارش‌های شدید شاخص پایه« صدک» می‌باشد. این شاخص در حال حاضر رایج‌ترین روش محاسبه و تعیین بارش‌های شدید و حدی محسوب می‌شود عمدتا برای تعیین تعداد روزهای دارای بارش شدید، خیلی شدید و حدی براساس آستانه صدک خاص کاربرد دارد (مفیدی و همکاران۱۳۸۶). بر اساس چندک‌های یک توزیع (دهک یا صدک)، نوعی تقسیم‌بندی کلی برای عناصر اقلیمی امکان‌پذیر می‌گردد. برای مثال در یک مجموعه مشاهدات می‌توان خشکسالی‌ها، ترسالی‌ها، بارش سیلابی، سال سرد، سال گرم و ... را با استفاده از این نمایه‌ها برآورد نمود (عساکره، ۱۳۹۰). بنابراین، در این تحقیق به منظور شناسایی روزهای بارش سنگین از شاخص صدک ۹۵٪ به بالا استفاده شد. دلیل انتخاب آستانه حداقل ۱ میلی‌متر برای روز بارشی نیز آن است که بخصوص در استفاده از شاخص صدک، از غیر واقعی شدن تعداد روزها و مقدار بارش شدید و فرین جلوگیری شود (مفیدی و همکاران،۱۳۸۶). در نهایت در این مطالعه، بارش سنگین، بارشی تلقی می‌شود که مقدار آن حداقل در یک ایستگاه طی ۲۴ ساعت برابر یا بیشتر از صدک ۹۵ ام بارش فصل بهار باشد و در ۸۰ درصد از ایستگاه-ها حداقل بارش (بیش از ۱ میلی‌متر) نیز اتفاق افتاده باشد. در واقع با کاربرد این روش این امکان فراهم شد که بارش سنگین هر ایستگاه نسبت به میانگین بارش خود ایستگاه تعیین شود. بر اساس روش مورد نظر تعداد ۹۸ روز با بارش سنگین در فصل بهار (اول فرودین تا آخر خرداد) از ۱۵ ایستگاه سینوپتیک در طی دوره مورد مطالعه شناسایی شد.

پژوهش حاضر از منظر روش‌شناسی یک روش تحلیل همدیدی برای شناسایی الگوهای منطقه‌ای گردش جو در زمان وقوع بارش‌های سنگین بهاره در شمال‌غرب ایران می‌باشد. به منظور تفکیک الگوهای گردشی جو، مولفه و پارامترهای مختلفی به کار گرفته شد. پس از انتخاب روزهای بارشی سنگین، در مرحله بعد با بهره‌گیری از داده‌های رقومی دوباره تحلیل شده مربوط به ۹۸ روز بارشی، از پایگاه داده NCEP\NCAR با تفکیک مکانی ۲/۵×۲/۵ درجه در محدوده‌ی ۱۰ تا ۶۵ درجه‌ی شمالی و ۱۰ تا ۷۵ درجه‌ی شرقی، الگوی منطقه‌ای جریان و شرایط جوی حاکم از دو روز قبل از وقوع هر روز بارشی به صورت ۶ ساعته مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با بهره‌گیری از داده‌های

رقومی یاد شده، نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، فشار سطح دریا، میانگین خطوط جریان ترازهای ۱۰۰۰، ۹۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، تاوایی نسبی ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، میانگین نقشه‌های نم ویژه در ترازهای ۱۰۰۰، ۹۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال تهیه و تحلیل شدند. نقشه‌های خطوط جریان که برای تعیین مراکز همگرایی و واگرایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، الگوی جریان مسلط روی منطقه را به نمایش می‌گذارند. استفاده از نقشه‌های خطوط جریان در کنار نقشه‌های برداری باد (جهت و شدت باد) و نم ویژه، دید جامعی در خصوص موقعیت مراکز پرفشار و کم‌فشار و شدت جریان و نحوه انتقال و فرارفت رطوبت و همچنین منشأ رطوبت بارش‌ها را فراهم می‌کنند (مفیدی و همکاران، ۱۳۸۶). بنابراین جهت شناسایی منابع رطوبتی بارش‌های سنگین بهاره شمال‌غرب ایران مقادیر نم‌ویژه به همراه خطوط جریان تهیه شد. نقشه‌های تاوایی نیز برای تعیین نوع چرخش هوا، میزان شدت آن و به ویژه تعیین میزان گسترش سامانه‌های کم‌فشار و پرفشار در تراز پایین و میانی جو، مورد استفاده قرار گرفت.

مسیریابی چرخندها و واچرخندها

سامانه‌های همدید مانند چرخندها و واچرخندها عمده‌ترین تاثیرات را بر روی مناطقی که از آنها عبور می‌کنند به جای می‌گذارند. مسیریابی هر چه بهتر این سامانه‌ها ما را در درک رطوبت انتقال یافته از منابع مختلف و گردش هوا در مقیاس منطقه‌ای و همچنین تفکیک دقیق‌تر روزهای بارشی امکان‌پذیر می‌سازد. جهت فراهم نمودن درکی جامع-تر از الگوی گردش جو در زمان وقوع روزهای با بارش سنگین، با ردیابی مراکز چرخندی و واچرخندی از دو روز قبل از وقوع هر بارش سنگین، نحوه جابجایی چرخندها و واچرخندها در تراز فشار سطح دریا مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین خاستگاه و مسیر انتقال سامانه‌های چرخندی و واچرخندی، مسیریابی سامانه‌ها در محدوده‌ای از مرکز دریای مدیترانه تا نیمه شرقی ایران و از شمال دریای سیاه تا خلیج عدن به انجام رسید. ابتدا با تهیه نقشه‌های دو روز قبل از اوج بارش، بر روی هر نقشه مراکز چرخندها و واچرخندها مشخص شدند. در تشخیص مراکز فشار ملاک-های زیر مورد توجه قرار گرفت (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۳). در شناسایی مراکز فشار از مولفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و متغیرهای کمکی تاوایی‌نسبی و خطوط جریان استفاده خواهد شد. به این صورت که اگر سلول بسته مرکزی از ارتفاع ژئوپتانسیل براحتی قابل شناسایی نباشد و یا سلول مرکزی بسیار بزرگ باشد از دو متغیر تاوایی نسبی و خطوط جریان استفاده می‌شد. در این حالت در محدوده حداقل فشار (در محدوده حداکثر فشار)، مرکز همگرایی هوا همراه با بیشینه تاوایی مثبت (مرکز واگرایی هوا همراه با کمینه تاوایی منفی) را می‌توان مرکز چرخند (واچرخند) تلقی نمود. در صورتیکه دو مرکز کم فشار (مرکز پرفشار) نزدیک هم قرار گرفته باشند و یا یک مرکز بزرگ کم فشار (مرکز بزرگ پرفشار) با دو سلول مرکزی قابل شناسایی باشد در این حالت سلول بسته‌ای که مقادیر فشار کمتر (فشار بیشتر) را تجربه نموده انتخاب و از آوردن سلول دوم چشم‌پوشی شده است. به منظور تعیین مسیر چرخندها (واچرخندها)، پس از تعیین موقعیت مراکز کم‌فشار (پرفشار) در دو روز متوالی، می‌بایست موقعیت و وضعیت مراکز فشار در نقشه ساعت قبل تعقیب گردد. در نهایت در صورت وجود ارتباط در نحوه جابجایی آنها، مرکز دو کم‌فشار (پرفشار) متوالی به یکدیگر متصل گردیده است. بر این اساس، برای تمامی روزهای بارش سنگین، مراکز فشار و مسیر جابجایی آنها در منطقه خاورمیانه استخراج گردیده و به تفکیک برای هر یک از الگوهای همدیدی ارائه گردیده است.

در بخش بعدی پژوهش ابتدا به بررسی آماری بارش در فصل بهار و سپس به ویژگی‌های آماری بارش هر یک از الگوهای همدیدی بوجود آورنده بارش در شمال‌غرب ایران پرداخته شد. به منظور تحلیل‌های فضایی میانگین بارش-های روزانه مربوط به هر یک از الگوها، با استفاده از داده‌های بارش رقومی با قدرت تفکیک بالا CHIRPS[1]، از لحاظ توزیع جغرافیایی و شدت بارش‌ها با هم مقایسه شدند. CHIRPS یکی از پایگاه ثبت داده بارش مشاهداتی با دوره زمانی ۳۰ ساله است. گستردگی این داده‌ها به صورت جهانی، خشکی‌های عرض‌های بین ۵۰ درجه شمالی تا ۵۰ درجه جنوبی را پوشش می‌دهد. سال ثبت آن از ۱۹۸۱ میلادی شروع و تا زمان حاضر (۲۰۱۶ میلادی) ادامه دارد. CHIRPS حاصل ترکیب تصاویر ماهواره‌ای با وضوح ۰/۰۵ درجه با داده‌های ایستگاهی محلی است تا با ایجاد سری زمانی شبکه‌بندی شده از بارش به تجزیه و تحلیل روند و سنجش خشکسالی فصلی اقدام گردد (فانک، ۲۰۱۵). هدف از به‌کارگیری داده‌های بارش CHIRPS، فراهم آوردن داده‌های شبکه‌بندی شده بارش با تفکیک افقی زیاد، بوده است. تحلیل همدیدی و مسیریابی چرخندها و واچرخندها نیز در ادامه ارائه شده است.

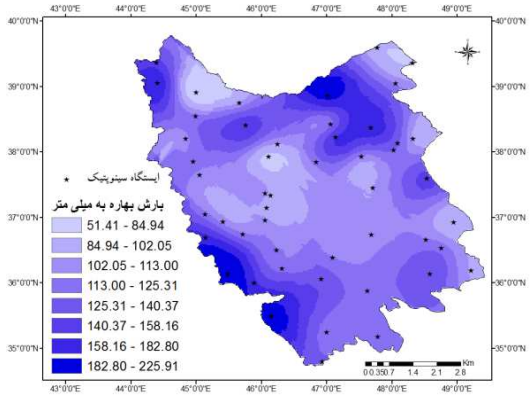
یافته‌های پژوهش

بررسی آماری بارش‌های سنگین بهاره شمال‌غرب ایران

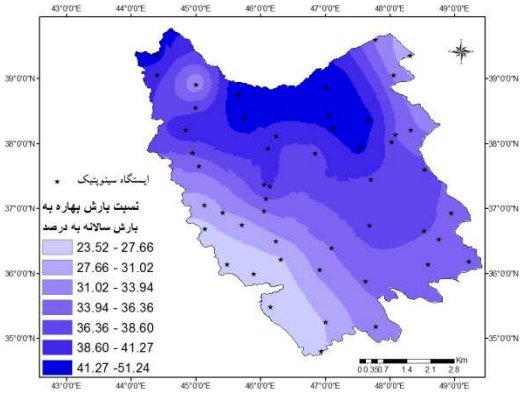
با بررسی بارش‌های بیشتر از یک میلی‌متر در ایستگاه‌های شمال‌غرب در دوره مورد مطالعه مشخص شد که، شمال-غرب ایران به طور متوسط در ۴۷ روز از فصل بهار بارش دریافت می‌کند. همچنین بررسی ماهانه روزهای بارشی نشان داد که ماههای می و آوریل، به ترتیب با متوسط ۱۹/۲ و ۱۷ روز بارشی بیشترین و ماههای ژوئن و مارس، به ترتیب با ۷/۲ و ۵/۲ روز بارشی، کمترین تعداد روز بارشی را دارا می‌باشند. ایستگاه مریوان و سردشت با میانگین ۲۲۵ میلی‌متر، بیشترین میزان بارش بهاره و ایستگاه جلفا با میانگین ۸۶ میلی‌متر، کمترین میزان بارش بهاره را به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۲). همچنین ایستگاه مراغه با اختصاص ۵۵ درصد از مجموع بارش سالانه به بارش بهاره و ایستگاه سنندج با اختصاص ۳۰ درصد از مجموع بارش سالانه به بارش بهاره، به ترتیب بیشترین و کمترین سهم از بارش بهاره را دارا می‌باشند (شکل ۳). پهنه شمال‌غرب ایران به طور متوسط ۴۰ درصد از بارش سالانه خود را در فصل بهار دریافت می‌نمایند. از نظر توزیع فضایی درصد وقوع و سهم بارش‌های بهاره می‌توان گفت که، با وجود آنکه جنوب‌غرب منطقه مورد مطالعه منطبق بر شهرستان‌های بانه و سردشت، یکی از پهنه‌های اصلی دریافت بارش بهاره می‌باشد (شکل۲) اما این بارش‌ها سهم کمی از نسبت بارش سالانه (کمتر از ۲۷ درصد) را در بر می‌گیرند (شکل۳). در واقع سهم زیادی از بارش این پهنه پربارش در فصول پاییز و زمستان دریافت می‌شود. اما در مقابل پهنه‌هایی از شمال‌غرب، منطبق بر شهرستان‌های کلیبر، مشکین‌شهر و ماکو، جدا از اینکه جزء پهنه‌های پربارش فصل بهار به شمار می‌آیند (شکل۲)، سهم زیادی از نسبت بارش سالانه آنها نیز به فصل بهار اختصاص دارد (شکل۳). متوسط توزیع روزانه بارش در یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۱۴-۱۹۹۵) مربوط به ۴۰ ایستگاه همدید شمال‌غرب ایران در

1. Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data

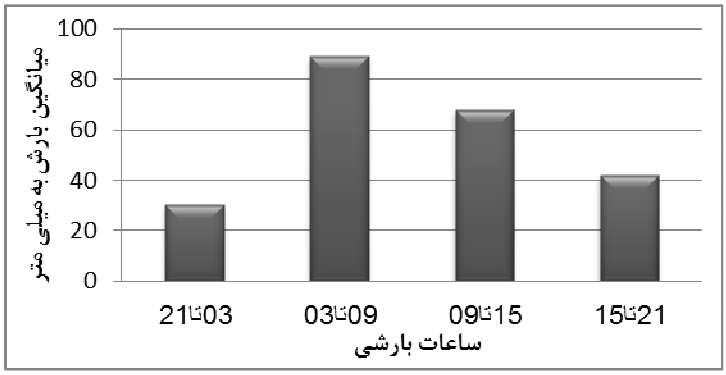
روزهای با بارش سنگین نشان داد که، بیشترین میزان بارش روزانه در بازه زمانی ساعت ۳ تا ۹ صبح به وقت محلی رخ داده است. میزان بارش در این بازه زمانی به طور متوسط ۹۵ میلی‌متر را شامل می‌شود. کمترین میزان توزیع شبانه‌روزی بارش نیز مربوط به ساعت ۲۱ تا ۳ به وقت محلی می‌باشد. متوسط بارش در این بازه زمانی ۳۰ میلی‌متر برآورد شده است(شکل ۴).



شکل۲: نقشه میانگین بارش بهاره به میلی متر



شکل ۳: نقشه نسبت بارش بهاره به بارش سالانه به درصد



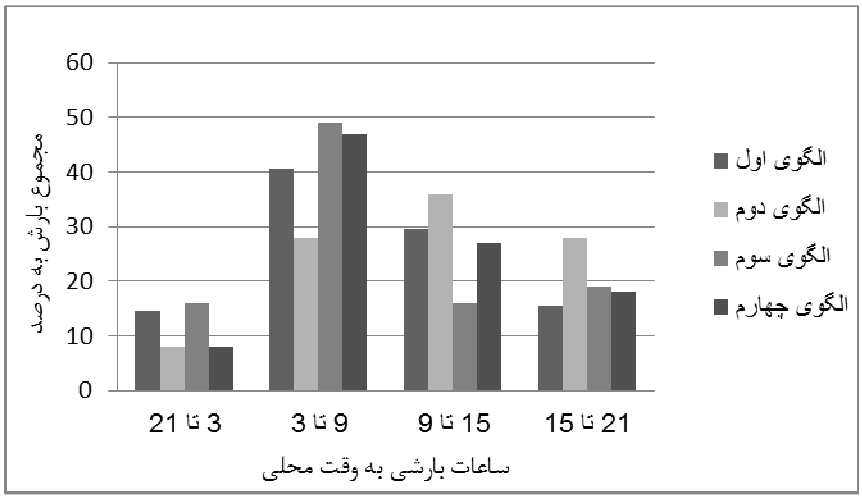
شکل ۴: مقادیر متوسط بارش در ساعات مختلف شبانه‌روز در دوره ۳۴ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۱)، متوسط‌گیری شده برای ایستگاه‌های همدید شمال‌غرب ایران در روزهای با بارش سنگین

با بهره‌گیری از مولفه‌ها و پارامترهای جوی تهیه شده از داده‌های رقومی، تمام روزهای با بارش سنگین در یک تحلیل همدیدی، در چهار الگوی گردش جوی اولیه دسته‌بندی شدند. جدول ۱، فروانی و توزیع ماهانه روزهای مربوط به هر یک از الگوهای همدیدی را نشان می‌دهد. الگوی اول با اختصاص ۵۷ روز و الگوی دوم با اختصاص ۱۱ روز از ۹۸ روز بارش سنگین، به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی را دارا می‌باشند. سه روز از روزهای با بارش سنگین نیز در هیچ یک از چهار الگوی ارائه شده قابل طبقه‌بندی نبودند. الگوی اول به عنوان الگوی غالب مولد بارش سنگین در شمال-غرب ایران به حساب می‌آید. بیشترین بارش‌های سنگین رخ داده و منتخب نیز مربوط به ماه آوریل می‌باشد.

جدول۱: برخی مشخصات آماری الگوهای استخراج شده

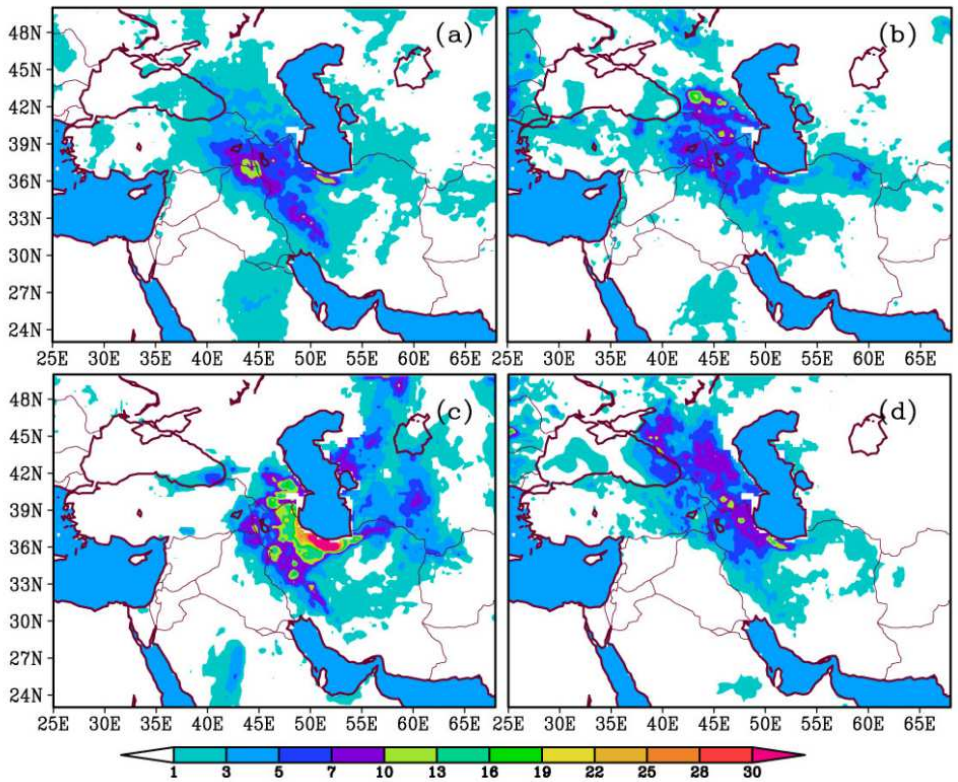
	تعداد روزها	مارس	آوریل	می	ژوئن
الگوی اول	۵۷	۹	۳۷	۱۱	۰
الگوی دوم	۱۱	۲	۲	۷	
الگوی سوم	۱۲	۳	۵	۳	۱
الگوی چهارم	۱۵	۰	۸	۶	۱
طبقه بندی نشده	۳				
جمع	۹۸				

شکل ۵، توزیع روزانه بارش در هر یک از الگوهای موجد بارش سنگین در شمال‌غرب ایران را نشان می‌دهد. مقادیر متوسط بارش برای بازه‌های ۶ ساعت در شبانه‌روز به درصد محاسبه شد. همانگونه که مشاهده می‌شود، به غیر از الگوی دوم، الگوهای اول و سوم و چهارم بیشترین بارش را در ساعت ۳ تا ۹ به وقت محلی دریافت کرده‌اند. الگوی سوم با دریافت ۴۹ درصد از بارش در ساعات ۳ تا ۹، بیشترین درصد را به خود اختصاص داده است. بیشتر بارش‌های الگوی دوم با اختصاص ۳۶ درصد سهم، در ساعات ۹ تا ۱۵ رخ داده است. در الگوی دوم، ساعات ۳ تا ۹ و ساعات ۱۵ تا ۲۱ هر یک با در برگرفتن ۲۸/۵ درصد از سهم بارش روزانه با هم برابر هستند. به طور کلی ۴۳/۵ درصد از بارش‌ها در ساعات ۳ تا ۹ به وقت محلی، ۲۶/۷۵ درصد از بارش‌ها در ساعات ۹ تا ۱۵، ۱۸ درصد از بارش‌ها در ساعات ۱۵ تا ۲۱ و در نهایت ۱۲/۲۵ درصد از بارش‌ها در ساعت ۲۱ روز قبل تا ساعت ۳ روز وقوع بارش رخ داده اند. یکی از دلایلی که می‌تواند باعث ثبت سهم کمی از بارش در ساعات مزبور باشد، ثبت بارش از ساعت ۲۱ یک روز قبل از وقوع بارش تا ساعت ۳ روز وقوع بارش است.



شکل ۵: توزیع روزانه بارش در هر یک از الگوهای موجد بارش سنگین در شمال‌غرب ایران

مقایسه و ارزیابی توزیع جغرافیایی و شدت میانگین بارش‌های روزانه هر یک از چهار الگو با استفاده از داده‌های بارش روزانه CHIRPS نشان داد که گسترده‌ترین بارش‌ها با بارش‌های کمتر از ۵ میلی‌متر با حاکمیت الگوی اول رخ داده است. در این الگو که به نظر می‌رسد رطوبت بارش‌ها از منابع رطوبتی گسترده‌ای تأمین می‌گردد، مقادیر بیشینه بارش در مرزهای غربی شمال غرب کشور مشاهده می‌شود (شکل ۶-a). در مقابل، در الگوی دوم مقادیر بیشینه بارش در منطقه قفقاز و بخش‌های شمالی منطقه بوقوع پیوسته است (شکل ۶-b)، در حالیکه در الگوی سوم بیشترین گستردگی و شدیدترین بارش‌ها در نیمه شرقی منطقه مورد مطالعه، همچنین بر روی رشته کوه البرز و سواحل جنوبی دریای خزر اتفاق افتاده است (شکل ۶-c). بطور کلی، در تمامی الگوها گستره و شدت بارش‌ها منطبق بر ارتفاعات می‌باشد. پهنه شمال‌غرب ایران در همه الگوها در کانون پهنه‌های بارشی قرار گرفته است (شکل ۶).



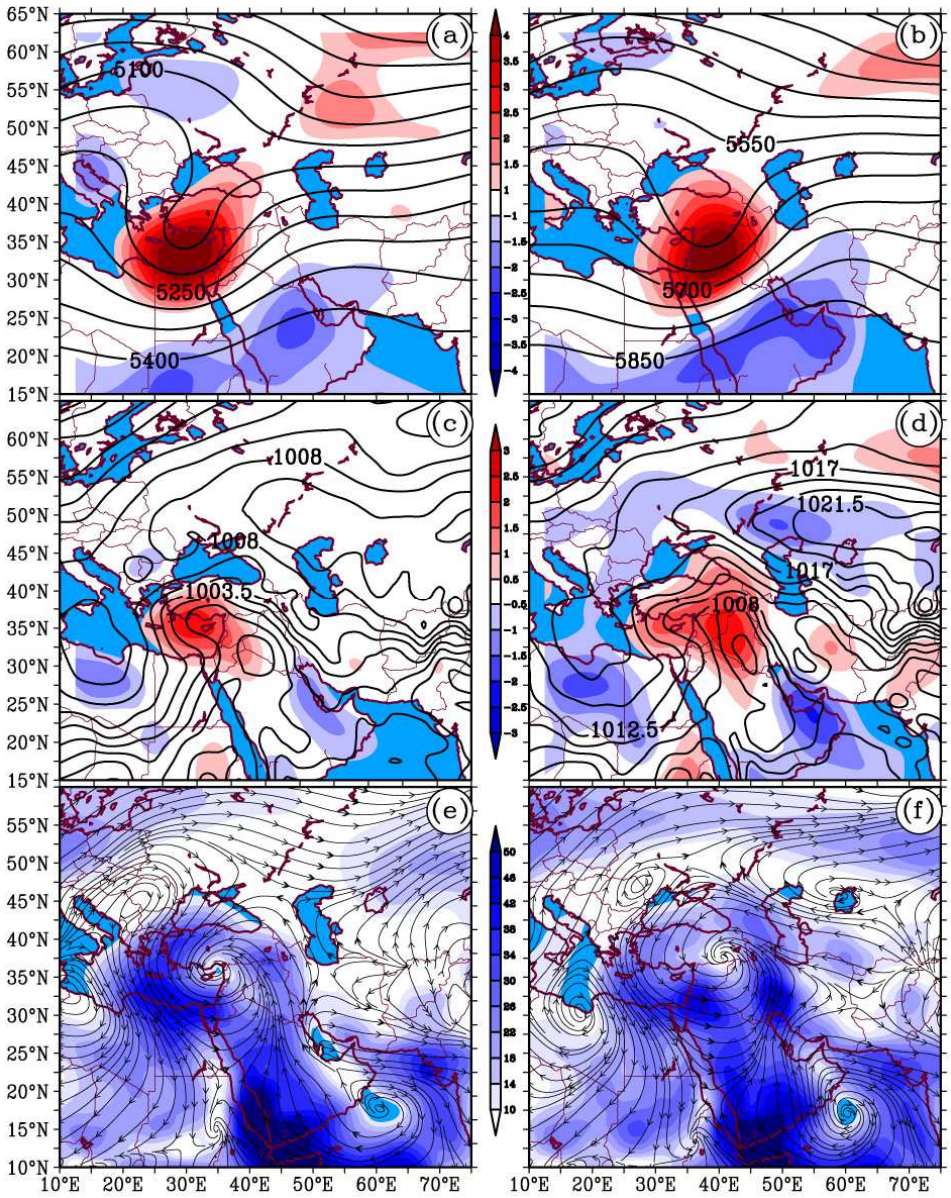
شکل ۶: مقادیر میانگین بارش روزانه (میلی‌متر) برای روزهای مربوط به هر یک از الگوها بر اساس داده‌های CHIRPS - (a) الگوی اول (b) الگوی دوم (c) الگوی سوم و (d) الگوی چهارم.

تحلیل همدیدی

الگوی اول- الگوی ناوه‌ی عمیق و چرخند مهاجر: این الگو به عنوان تیپ همدیدی غالب به شمار می‌آید، چرا که ۵۷ مورد از ۹۸ مورد بارش سنگین ثبت شده در طول دوره مطالعه را به خود اختصاص داده است. ورود چرخندهای

مهاجر با منشأ شرق مدیترانه و در برخی موارد در ترکیب با سامانه سودانی و عبور آنها از روی منطقه شمال غرب ایران، نقش اصلی را در وقوع بارش های سنگین و گسترده مربوط به این الگو داشته است. در این الگو علاوه بر جابجایی شرق سوی سامانه کم فشار دینامیکی بر روی منطقه، بطور همزمان استقرار یک واچرخند بر روی دریای عرب و واچرخندی دیگر بر روی شرق دریای خزر در ترازهای زیرین جو، استقرار یک ناوه عمیق مقیاس همدید در محدوده غرب خاورمیانه و گسترش پشته/ پرارتفاع جنب حاره بر نیمه شرقی ایران تا دریاچه آرال، ضمن افزایش شیو فشار و ایجاد ناپایداری گسترده، انتقال رطوبت مناسبی را به منطقه شمال غرب ایران سبب گردیده‌اند. در واقع در این الگو، علت اصلی وقوع بارش شدید در منطقه شمال‌غرب، عبور سامانه کم‌فشار دینامیکی و همگرایی و گردش چرخندی ناشی از آن است. در برخی از روزهای مربوط به این الگو، ایستگاه‌های مریوان، سردشت و ارومیه به ترتیب، ۱۳۱ میلی‌متر، ۹۱ میلی‌متر و ۶۱ میلی‌متر بارش دریافت کرده‌اند. بررسی نقشه‌های تراز میانی جو مرتبط با این الگو بیانگر آن است که، با استقرار پشته‌ای قوی بر روی اروپا، از دو روز قبل از وقوع بارش، ناوه‌ای عمیق در حدفاصل شرق مدیترانه و منتهی الیه غرب خاورمیانه به عرض‌های پایین‌تر نفوذ نموده است (شکل a-۷). در اغلب موارد، میزان گسترش جنوب سوی موج غربی به اندازه‌ای بوده است که علاوه بر شرق مدیترانه، بخش اعظم منطقه دریای سرخ نیز تحت سیطره ناوه موج غربی قرار گرفته است. به همین علت در این الگو به دفعات شاهد شکل گیری و جابجایی سامانه کم فشار سودانی چه به شکل مستقل و چه در ترکیب با سامانه کم فشار مدیترانه‌ای بر روی منطقه خاورمیانه بوده‌ایم که به واسطه جابجایی شمال سوی خود، در ایجاد بارش‌های سنگین بهاره در شمال‌غرب ایران نقش بازی نموده‌اند. ارزیابی‌های انجام شده بیانگر آن است که سامانه سودانی در ۳۲ روز از ۵۷ روز بارش سنگین نقش داشته است (رجوع شود به بخش مسیریابی سامانه‌های بارش زا). تاوایی مثبت مناسب در تراز میانی و سطح زمین بر جانب راست ناوه، امکان تشکیل و تکوین همزمان سامانه‌های چرخندی را بر روی نواحی شرقی مدیترانه و همچنین جنوب غرب دریای سرخ (بر روی سودان) فراهم ساخته است (شکل c-۷ و a-۱۱). در بسیاری از موارد، با حرکت شرق سوی ناوه تراز میانی (شکل b-۷)، چرخندهای تراز زیرین با منشأ سودان و شرق مدیترانه نیز حرکتی شرق‌سو را در پیش گرفته و یک روز قبل از وقوع بارش (شکل c-۷) بر روی قبرس، شرق مدیترانه و در مواردی کشور عراق ادغام شده‌اند. چرخند مهاجر شکل گرفته از شرایط دینامیکی مناسبی برخوردار گردیده بطوری که ناپایداری و صعود هوا در تمامی ترازهای زیرین و میانی جو قابل رؤیت بوده و با حرکت شرق سوی خود از اوایل روز وقوع بارش (شکل d-۷)، منطبق بر جانب راست محور ناوه و منطقه تاوایی مثبت، شمال‌غرب ایران را تحت تأثیر قرار داده است. همچنین بررسی نقشه‌ها نشان از وجود یک مرکز پرفشار ساکن بر روی نواحی مرکزی ایران و زاگرس جنوبی دارد که در روز وقوع بارش به طور پیوسته بر بخش های داخلی ایران تسلط داشته است (شکل d-۷). چرخند ادغام شده بر روی کشور عراق، توسط مرکز پرفشار ساکن مستقر بر روی زاگرس/ایران مرکزی از مسیر شرق سوی خود منحرف شده و مسیر شمال‌شرق سو را در راستای منطقه شمال‌غرب ایران طی کرده است (شکل d-۷). در این رابطه حرکت چرخندهای تراز زیرین در راستای حرکت محور ناوه بوده است. به عبارتی دیگر، چرخند تراز دریا، کمی جلوتر از ناوه تراز بالا و در زیر منطقه واگرایی تراز بالا قرار گرفته است که با گسترش گردش چرخندی و مقادیر بالای تاوایی مثبت بر روی منطقه شمال‌غرب ایران همراه گشته که در نهایت ناپایداری گسترده جو را در این منطقه سبب گردیده است.

همچنین در بررسی نقشه‌های تراز میانی مربوط به این الگو، استقرار یک پشته برجانب شرقی شبه جزیره عربستان و بر جانب جنوب‌شرقی ناوه عمیق برون‌حاره، شیب فشار قابل توجهی را در مقیاس منطقه‌ای در پی دارد (شکل b-۷). گسترش پشته‌ی یادشده در جهت شمال‌شرق سو تا شرق دریای خزر، منطبق بر واچرخند دریاچه آرال در تراز زیرین (شکل d-۷)، ضمن ایجاد مانع در حرکت شرق سوی موج برون‌حاره، ماندگاری بیشتر آن بر روی منطقه را سبب گردیده است. بررسی مقادیر تاوایی مثبت در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیانگر آن است که مقادیر بیشینه تاوایی مثبت با بخش شرقی ناوه تراز میانی که بر روی شرق مدیترانه قرار گرفته است، منطبق است. مضاف بر این، در زمان وقوع بارش‌ها مقادیر تاوایی مثبت در ترازهای زیرین و میانی جو بر روی محدوده شمال‌غرب ایران قابل ملاحظه بوده که زمینه حرکات صعودی و بارش را فراهم آورده است (شکل a-۷ تا d -۷). استقرار پشته برجانب شرقی شبه جزیره عربستان در تراز میانی، امکان تشکیل و تکوین سامانه واچرخندی در ترازهای زیرین بر جانب شرقی شبه جزیره عربستان را مهیا نموده است. در بررسی نقشه‌های فشار تراز دریا (شکل d-۷ و c-۷) و خطوط جریان میانگین ترازهای ۱۰۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکال (شکل f-۷ و e-۷) دو روز قبل از وقوع بارش این نتیجه بدست آمد که استقرار واچرخند عربستان بر جانب شرقی شبه جزیره عربستان نقش قابل ملاحظه‌ای را در انتقال رطوبت در این الگو بازی می‌کند. همان طوری که در نقشه‌های متوسط مربوط به این الگو مشاهده می‌گردد، استقرار پرفشار بر روی عربستان، گردش واچرخندی این سامانه بر روی دریای عرب، عربستان و خلیج فارس را در پی دارد (شکل f-۷ و e-۷).



شکل ۷: وضعیت متوسط همدیدی در الگوی چرخند مهاجر. (a) و (b) وضعیت متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتورها برحسب ژئوپتانسیل متر) و تاوایی نسبی (رنگها برحسب 10^{-5} s^{-1}) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. (c) و (d) وضعیت متوسط فشار تراز دریا (کنتورها برحسب هکتوپاسکال) و تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (رنگها برحسب 10^{-5} s^{-1}). (e) و (f) وضعیت متوسط خطوط جریان و شار رطوبت (رنگها، گرم بر ثانیه g^{s-1}) متوسط گیری شده برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکال. شکل‌های سمت چپ (a, c, e) دو روز قبل از وقوع بارش و شکل‌های سمت راست (b, d, f) روز اوج بارش.

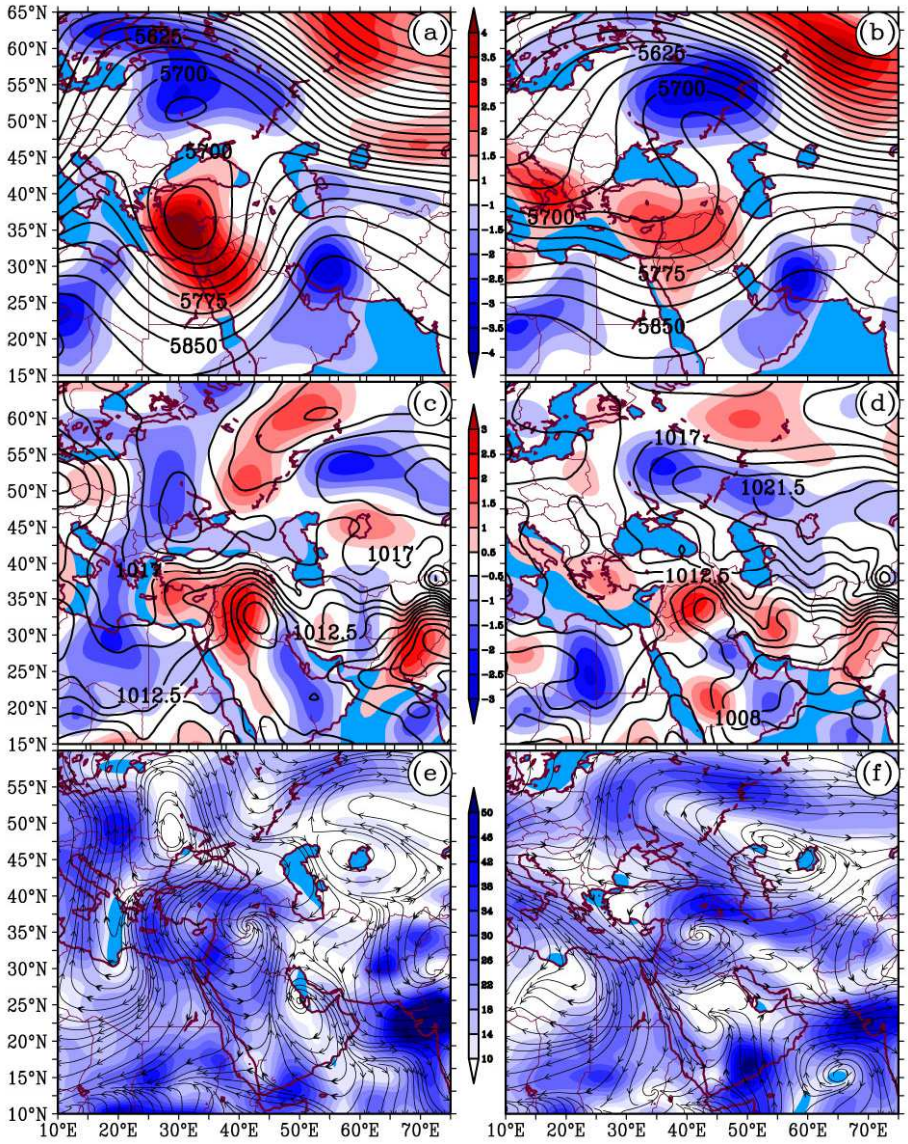
از سویی دیگر، یک مرکز واچرخندی شبه ساکن بر جانب شرقی دریای خزر منطبق بر دریاچه آرال مشاهده می‌شود (شکل f -۷). واچرخند واقع بر روی دریاچه آرال با گردش واچرخندی و گسترش تاوایی منفی، تفاوت های دمایی و شیو فشاری بر روی منطقه شمال‌غرب را افزایش داده و با ایجاد یک سامانه مانع در مقابل چرخند مهاجر زمینه لازم

برای ماندگاری چرخند و تشدید بارش را فراهم نموده است. بررسی سامانه های کم فشار مبین آن است که، با حرکت شرق سوی چرخند ادغامی مهاجر و رسیدن آن به عراق و سوریه، گردش چرخندی آن به واسطه برهمکنش این سامانه کم‌فشار با سامانه پرفشار مستقر بر روی شبه جزیره عربستان تقویت می گردد.

با بررسی نقشه‌های جریان باد و شار رطوبت در ترازهای زیرین جو (۱۰۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکال) از دو روز قبل از وقوع بارش سنگین، نحوه انتقال رطوبت در سامانه مورد نظر به خوبی آشکار می‌شود. در واقع در این الگو، استقرار و تقویت پشته/پرفشار بر روی دریای عرب امکان انتقال مستقیم رطوبت از دریای عرب به درون سامانه‌های کم‌فشار مهاجر منشأ گرفته از مدیترانه و سودان را فراهم می‌سازد. بررسی نقشه‌های شارطوبت و خطوط جریان در ترازهای زیرین جو بیانگر آن است که همچون الگوی ارائه شده توسط مفیدی و زرین (۱۳۸۴)، بخش قابل ملاحظه ای از رطوبت سامانه های بارش زا توسط پرفشار مستقر بر روی دریای عرب از قسمت‌های جنوب‌غربی دریای عرب و دریای سرخ به نیمه شمالی عربستان انتقال می یابد (شکل e -۷). رطوبت یادشده به داخل چرخندهای مهاجری تزریق می گردد که با حرکت شرق و شمال سوی خود چه به شکل مستقل و چه به شکل ادغامی (سودانی-مدیترانه‌ای) سبب وقوع بارش‌های سنگین در منطقه شمال‌غرب ایران می‌گردند (شکل f-۷). در واقع، همشارش ایجاد شده ناشی از گردش واچرخندی سامانه پرفشار عربستان و گردش چرخندی سامانه کم فشار، رطوبت قابل ملاحظه‌ای را به جانب شرقی سامانه کم فشار مهاجر منتقل می نماید. با تداوم فعالیت مراکز فوق، گردش چرخندی و انتقال رطوبت از دریاهای عرب و سرخ تا زمان اوج وقوع بارش ادامه یافته است. ارزیابی کلی منابع رطوبت در این الگو بیانگر آن است که نقش منابع رطوبتی با منشأ دریای عرب و نیمه جنوبی دریای سرخ بیش‌تر از سایر منابع رطوبتی از جمله دریای مدیترانه و نیمه شمالی دریای سرخ می باشد (شکل e-۷ و f-۷).

الگوی دوم- الگوی کم ارتفاع بریده به همراه چرخند ساکن: این الگو با اختصاص ۱۱ روز از ۹۸ روز بارش سنگین مورد مطالعه، به عنوان یکی از سه الگوی همدیدی غالب بارش‌های سنگین بهاره در شمال‌غرب ایران به شمار می‌آید. استقرار یک کم‌ارتفاع بریده (سردچال) در وردسپهر میانی به همراه یک چرخند ساکن بر روی عراق و واچرخند گسترده ساکن بر روی شمال دریای سیاه در وردسپهر زیرین، مهمترین مؤلفه های این الگو در رابطه با وقوع بارش سنگین بر روی منطقه شمال‌غرب ایران می‌باشد. در روزهای مربوط به این الگو، ایستگاه‌های ارومیه، سردشت و اردبیل به ترتیب ۴۳ میلی‌متر، ۴۱ میلی‌متر و ۲۱ میلی‌متر بارش را دریافت کرده‌اند. بررسی نقشه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از دو روز قبل از وقوع بارش، بیانگر آن است که، به جهت نصف النهاری شدن امواج برون حاره و گسترش قابل ملاحظه ناوه موج غربی به عرض‌های پایین، در منطقه خاورمیانه و جنوب شرق اروپا با بسته شدن چند منحنی ارتفاعی، کم ارتفاع‌های بریده، در الگوی امواج غربی ظاهر گردیده‌اند. الگوی ایجاد شده از دو روز قبل از بارش سنگین عمدتاً از نوع الگوی «زوجی» بوده است. در این الگو یک کم ارتفاع بریده و عمیق بر روی خاورمیانه مستقر گردیده که در بالادست این کم ارتفاع، پشته قوی بر روی شمال دریای سیاه قرار گرفته است (شکل a-۹). سامانه مورد نظر با ایجاد ناهنجاری منفی در مولفه باد مداری و ناهنجاری مثبت در مولفه نصف‌النهاری باد، تقویت تاوایی

مثبت و گردش چرخندی را بر روی منطقه در پی داشته که در نهایت شکل‌گیری چرخندهای نسبتاً عمیق در تراز دریا (با متوسط فشار ۱۰۰۸ هکتوپاسکال در مرکز) را موجب گردیده است (شکل c-۹).



شکل ۸: وضعیت متوسط همدیدی در الگوی کم‌ارتفاع بریده و چرخند ساکن. (a) و (b) وضعیت متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتورها) و تاوایی نسبی (رنگ‌ها) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. (c) و (d) وضعیت متوسط فشار تراز دریا (کنتورها) و تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (رنگ‌ها). (e) و (f) وضعیت متوسط خطوط جریان و شار رطوبت (رنگ‌ها) متوسط گیری شده برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکال. شکل‌های سمت چپ (a, c, e) دو روز قبل از وقوع بارش و شکل های سمت راست (b, d, f) روز اوج بارش. واحد همچون شکل ۷ تعریف گردیده‌اند.

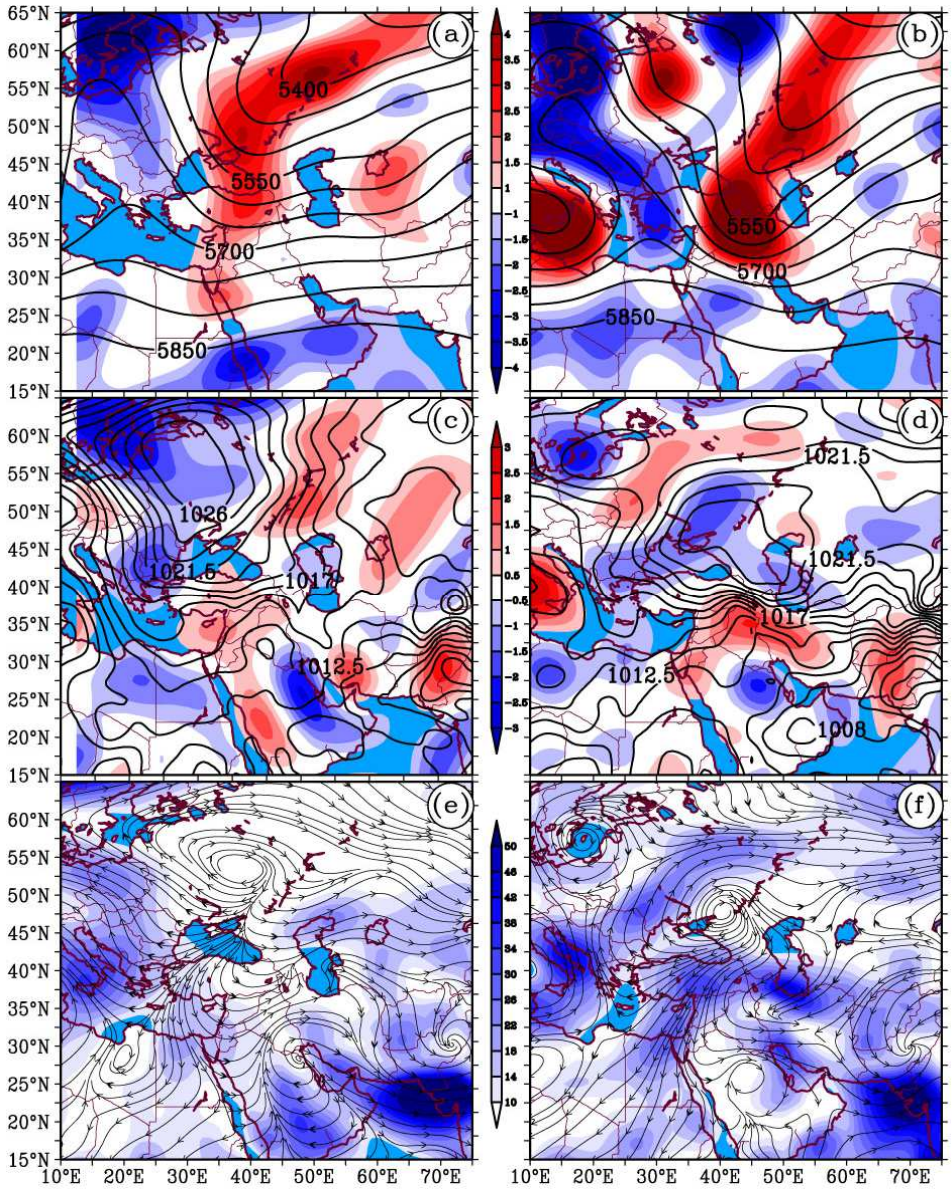
چرخندهای مذکور به تبعیت از الگوی کم ارتفاع بریده در وردسپهر میانی، از دو روز قبل از وقوع بارش به صورت ساکن بر روی مناطقی از عراق، شمال عربستان، سوریه و اردن استقرار یافته‌اند که تا زمان اوج بارش بر روی منطقه

تداوم داشته‌اند (شکل c-۹ و d-۹). در محدوده شمال دریای سیاه، در انطباق با پشته قوی در وردسپهر میانی، یک سامانه پرفشار همراه با تاوایی منفی گسترده نیز در ترازهای زیرین جو در منطقه مذکور شکل گرفته است (شکل d-۹) که تا روز وقوع بارش با گسترش زبانه‌هایی از آن بر روی شمال‌غرب ایران، شیو فشاری و دمایی قابل ملاحظه‌ای را بر روی منطقه موجب گردیده است. در واقع سامانه بندالی از نوع زوجی در تراز میانی وردسپهر به توقف حرکت سامانه‌های گردشی در تراز میانی و زیرین جو منجر شده است. در روز وقوع بارش، به جهت سرعت یافتن موج، الگوی جریان از حالت بندال خارج شده و قرارگیری جانب راست ناوه با بیشنه تاوایی مثبت در تراز میانی بر روی شمال‌غرب ایران و قرارگیری همزمان چرخند تراز زیرین همراه با گردش چرخندی و صعود قابل توجه بر روی منطقه، بارش‌های سنگین این الگوی همدیدی را رقم زده است.

مهمترین سامانه تزریق رطوبت در این الگو، چرخند ساکن غرب منطقه مورد مطالعه می‌باشد. چرخند یاد شده در روزهای قبل از وقوع بارش حجم قابل توجهی از رطوبت دریای مدیترانه را به منطقه غرب و شمال‌غرب ایران منتقل می‌نماید که در روز اوج بارش این انتقال با شدت کمتری صورت می‌پذیرد (شکل e-۸ و f-۸). علاوه بر سازوکار اصلی یاد شده، بررسی‌ها همچنین بیانگر آن است که مرکز واچرخندی مستقر بر روی عربستان در روزهای قبل از روز اوج بارش، رطوبت بخش‌های جنوبی دریای عرب را به غرب ایران و جانب شرقی چرخند ساکن غرب خاورمیانه منتقل می‌نماید (شکل e-۸). در این میان به نظر می‌رسد رطوبت محدودی نیز توسط سامانه پرفشار مستقر بر جانب شمالی دریای سیاه به داخل چرخند ساکن انتقال می یابد. چرخند ساکن غرب خاورمیانه در طی روز اوج بارش با ایجاد ناپایداری و صعود گسترده سبب وقوع بارش در منطقه مورد مطالعه می‌گردد. بدین ترتیب رطوبت رسیده از دریای مدیترانه و دیگر منابع رطوبتی موجبات وقوع بارش سنگین در شمال غرب ایران را فراهم می‌آورند.

الگوی سوم- الگوی ناوه‌ی گسترده برون حاره: در این الگو که ۱۲ روز از ۹۸ روز بارش سنگین را در بر می‌گیرد، عبور یک موج غربی از عرض‌های میانی و عمیق شدن ناوه‌ای از این موج به شکلی گذرا موجبات وقوع بارش سنگین در شمال‌غرب ایران را فراهم نموده است. این الگو در فصل بهار و ابتدای دوره گرم به وقوع می‌پیوندد. از نکات جالب این الگو عدم مشاهده یک سامانه کم فشار مقیاس همدید در نقشه‌های هوای سطح زمین است (شکل c-۹ و d- ۹). به عبارتی به نظر می‌رسد عمیق شدن یک ناوه برون حاره در تراز میانی و تحریک دینامیکی همگرایی محلی به سبب نفوذ ناوه، سازوکار اصلی وقوع بارش در این الگو بوده است. در این زمان از سال در مناطق کوهستانی شمالغرب ایران گرمایش محلی امکان وقوع پدیده همرفت را فراهم می‌نماید. به نظر می‌رسد در این الگو همرفت محلی با نفوذ ناوه موج غربی تقویت گردیده و بارش سنگینی را رقم زده است. در مقیاس همدید شکل‌گیری و تقویت یک پشته بر روی اروپا به شکلی گذرا امکان گسترش جنوب سو و نفوذ ناوه موج غربی را از عرض‌های بالا بر روی شمال غرب ایران امکان‌پذیر ساخته است (شکل a-۹ و b-۹). نفوذ این ناوه با مساعدت گرمایش محلی موجود در این زمان از سال، صعود و وقوع بارش را در پی داشته است. منابع تامین رطوبت بارش‌ها از دیگر نکات جالب الگوی ناوه برون حاره است. بررسی‌ها بیانگر آن است که الگوی ناوه برون حاره عمدتا از منابع رطوبتی محلی استفاده می‌نماید و دریای مدیترانه، دریای سیاه و دریاهای جنوبی نقش قابل ذکری در وقوع بارش‌های این الگو ندارند. در مقابل، با در نظر

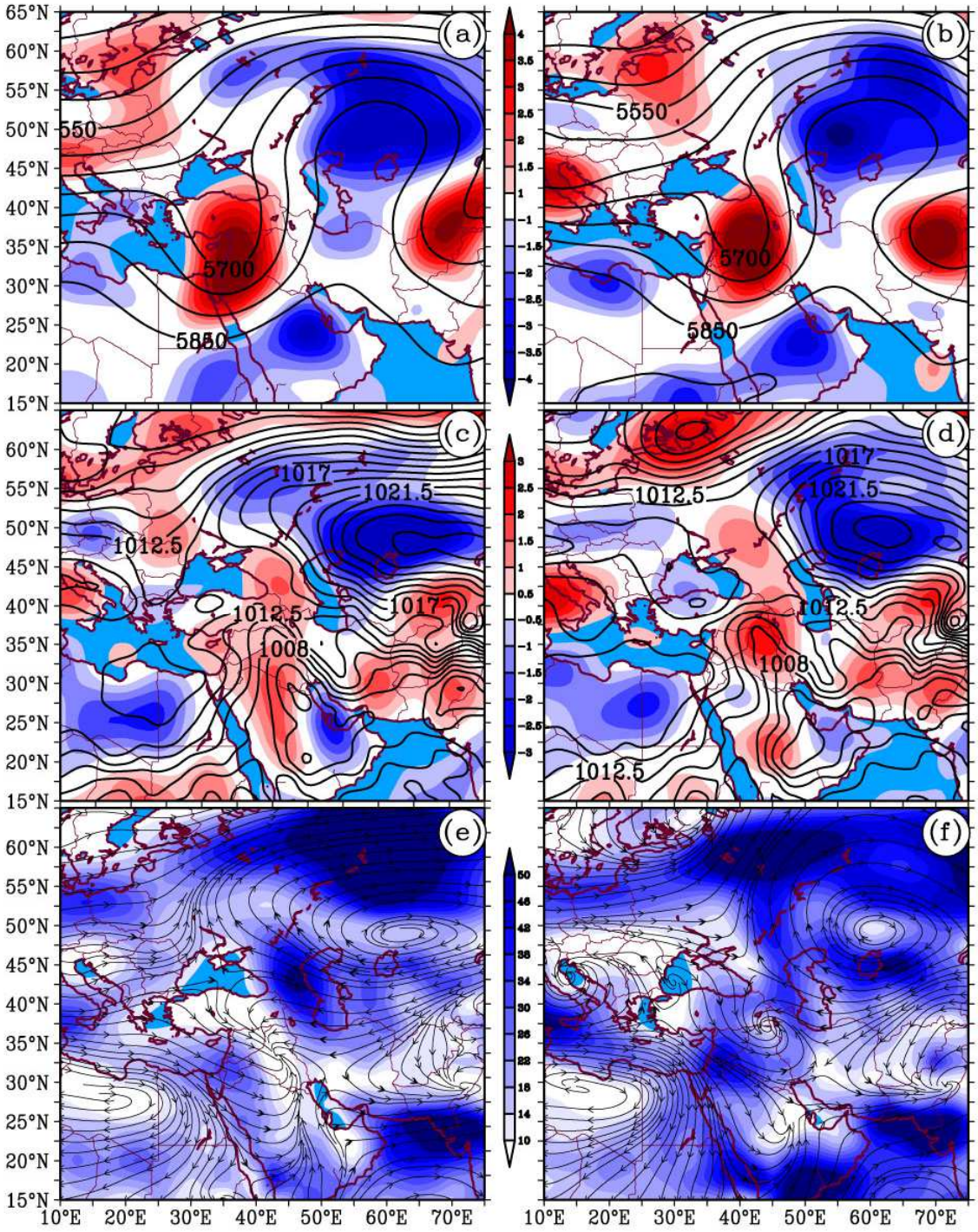
گرفتن الگوی جریان و شار رطوبت، منبع اصلی رطوبت بارش‌های شمالغرب ایران، دریای خزر می‌باشد. استقرار یک مرکز پرفشار بر جانب شمالی دریای سیاه و انتقال رطوبت دریای خزر به واسطه گردش واچرخندی حاصل از این سامانه فشاری، بارش‌های سنگین الگوی ناوه برون حاره را در پی داشته است (شکل e-۹ و f-۹). ایستگاه‌های کلیبر، مهاباد و بیجار به ترتیب ۲۷ میلی‌متر، ۲۲ میلی‌متر و ۲۰ میلی‌متر بارش را در روزهای با حاکمیت این الگو دریافت کرده‌اند.



شکل ۹: وضعیت متوسط همدیدی در الگوی ناوه برون حاره. (a) و (b) وضعیت متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتورها) و تاوایی نسبی (رنگها) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. (c) و (d) وضعیت متوسط فشار تراز دریا (کنتورها) و تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (رنگها). (e) و (f) وضعیت متوسط خطوط جریان و شار رطوبت (رنگ ها) متوسط گیری شده برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکال. شکل‌های سمت چپ (a, c, e) دو روز قبل از وقوع بارش و شکل های سمت راست (b, d, f) روز اوج بارش. واحد همچون شکل ۷ تعریف گردیده‌اند.

الگوی چهارم- الگوی سامانه بندالی از نوع امگا: این الگو با ۱۵ روز از ۹۸ روز بارشی، ۱۵/۳ درصد از بارش-های سنگین بهاره شمال‌غرب کشور را به خود اختصاص داده است. حاکم شدن سامانه بندالی از نوع امگا در عرض-های میانی و ماندگاری کم ارتفاع بریده منتج از این سامانه (کم ارتفاع بریده بر جانب غربی سامانه بندالی) به شکلی شبه ایستا سبب وقوع بارش سنگین در شمال‌غرب ایران می‌گردد. این الگو در مطالعه درگاهیان و همکاران (۱۳۹۳)، تحت عنوان «*الگوی امگا، تراف سمت چپ*» نام‌گذاری شده است. همه فراوانی وقوع این الگو مربوط به ماه‌های آوریل و می می‌باشد. بررسی نقشه‌های میانگین تراز میانی وردسپهر بیانگر آن است که از دو روز قبل از وقوع بارش، یک پشته‌ی قوی بر جانب شمالی دریاچه آرال و دریای خزر همراه با یک جفت ناوه بر جانب شرقی و غربی آن (در نقشه-های روزانه کم‌ارتفاع های بریده) در عرض‌های میانی و در گستره‌ی جغرافیایی ۳۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی به صورت شبه ایستا بر روی منطقه تسلط می‌یابند (شکل a-۱۰). این سامانه با ماندگاری متوسط سه روز تا روز اوج وقوع بارش و ایجاد ناهنجاری منفی در مولفه باد مداری و ناهنجاری مثبت در مولفه نصف‌النهاری باد، به توقف حرکت سامانه‌های گردشی در تراز میانی و زیرین جو منجر می‌گردد (شکل b- ۱۰). بررسی تمامی روزهای مربوط به این الگو مبین آن است که استقرار یک ناوه/کم ارتفاع بریده برجانب غربی بندال امگا شکل و بر روی پهنه‌ی شمال‌غرب ایران، تقویت تاوایی مثبت و گردش چرخندی را بر روی منطقه در پی داشته که در نهایت شکل‌گیری چرخندهای نسبتاً عمیق در تراز دریا (با متوسط فشار ۱۰۰۶ هکتوپاسکال در مرکز) را موجب گردیده است (شکل c-۱۰). چرخندهای مذکور به تبعیت از سامانه بندالی امگا شکل و ناوه/کم ارتفاع بریدهٔ ساکن آن در وردسپهر میانی، از دو روز قبل از وقوع بارش یا به صورت ساکن بر روی مناطقی از عراق، شمال عربستان، سوریه و اردن استقرار یافته‌اند یا به عرض‌های بالایی هدایت شده‌اند که تا زمان اوج بارش بر روی منطقه تداوم داشته‌اند (شکل d-۱۰). استقرار ناوه/کم ارتفاع بریده با بیشنه تاوایی مثبت در تراز میانی بر روی شمال‌غرب ایران و قرارگیری همزمان چرخند تراز زیرین همراه با گردش چرخندی و صعود قابل توجه بر روی منطقه، بارش‌های سنگین این الگوی همدیدی را در پی داشته‌اند.

مهمترین سامانه تزریق رطوبت در این الگو، چرخندهای ساکن مستقر بر جانب غربی منطقه مورد مطالعه می‌باشند. چرخندهای یاد شده در روزهای قبل از وقوع بارش، حجم قابل توجهی از رطوبت دریای مدیترانه و دریای سیاه را به منطقه غرب و شمال‌غرب ابران منتقل می‌نمایند که تا روز اوج بارش این انتقال تداوم می‌یابد (شکل e-۱۰ و f-۱۰). علاوه بر سازوکار اصلی یاد شده، بررسی‌ها همچنین بیانگر آن است که رطوبت قابل توجهی نیز توسط سامانه پرفشار مستقر بر جانب شمالی دریاچه آرال در روزهای قبل و روز اوج بارش از دریای خزر به داخل چرخندهای ساکن و بر روی شمال‌غرب ایران انتقال می‌یابد (شکل e-۱۰). در روزهای با حاکمیت این الگو، ایستگاه‌های گرمی، خدابنده و میانه به ترتیب ۴۷ میلی‌متر، ۴۴ میلی‌متر و ۴۳ میلی‌متر بارش دریافت نموده اند.



شکل ۱۰: وضعیت متوسط همدیدی در الگوی سامانه بندالی از نوع امگا. (a) و (b) وضعیت متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتورها) و تاوایی نسبی (رنگ‌ها) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. (c) و (d) وضعیت متوسط فشار تراز دریا (کنتورها) و تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (رنگ‌ها). (e) و (f) وضعیت متوسط خطوط جریان و شار رطوبت (رنگ‌ها) متوسط گیری شده برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکال. شکل‌های سمت چپ (a, c, e) دو روز قبل از وقوع بارش و شکل های سمت راست (b, d, f) روز اوج بارش. واحد همچون شکل ۷ تعریف گردیده‌اند.

مسیریابی چرخندها و واچرخندها

چرخندها و واچرخندهای مهاجر به عنوان عامل اصلی مبادله گرما و رطوبت در عرض‌های میانی به شمار می‌روند. شکل‌گیری شرایط ناپایدار به واسطه عبور چرخندها می‌تواند بارش‌های سنگین را در پی داشته باشد. یافته‌های تحقیق بیانگر آن است که فراوانی وقوع چرخندها و واچرخندها بر روی منطقه، همچنین جابجایی این مراکز فشاری، به‌ویژه در محدوده شرق دریای مدیترانه و دریای سرخ، نقش بسیار مهمی در وقوع بارش‌های سنگین در محدوده شمال‌غرب ایران دارد. بر این اساس، در این بخش از تحقیق، میزان فعالیت سامانه‌های چرخندی و واچرخندی و مسیرهای جابجایی آنها به تفکیک برای روزهای مربوط به هر یک از چهار الگوی همدیدی بررسی شد. شکل‌های (a-۱۱ تا h-۱۱)، به ترتیب موقعیت چرخندها و واچرخندها و مسیر جابجایی ۶ ساعته آنها را از دو روز قبل از وقوع بارش به تفکیک برای چهار الگوی همدیدی نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که در طی روزهای با بارش سنگین، میزان فعالیت مراکز چرخندی در عرض‌های میانی (پایین‌تر از ۴۰ درجه شمالی) و مراکز واچرخندی به جز واچرخند عربستان و واچرخند منطقه‌ای مستقر بر زاگرس/ایران مرکزی در عرض‌های بالاتر (بالاتر از عرض ۴۰ درجه شمالی)، افزایش می‌یابد.

بر اساس شکل (a-۱۱) می‌توان گفت که در الگوی اول، عبور چرخندها به واسطه سازوکاری که ایجاد می‌کنند، از مهمترین عوامل وقوع بارش‌های سنگین بهاره در شمال‌غرب ایران می‌باشند. چرخندهایی که از مدیترانه منشأ گرفته و با مسیر غربی شرقی منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرند به عنوان چرخندهای برون حاره‌ای و چرخندهای که از منطقه سودان و دریای سرخ در شمال‌شرق آفریقا منشأ می‌گیرند به عنوان چرخندهای حاره‌ای شناخته می‌شوند. در الگوی اول بیشترین فراوانی چرخندها مربوط به چرخندهای ادغامی حاصل از چرخند مدیترانه و چرخند سودانی می‌باشد که بر روی شرق مدیترانه و عراق با هم ادغام شده‌اند و در جهت شرق و شمال‌شرق حرکت کرده و شمال-غرب ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

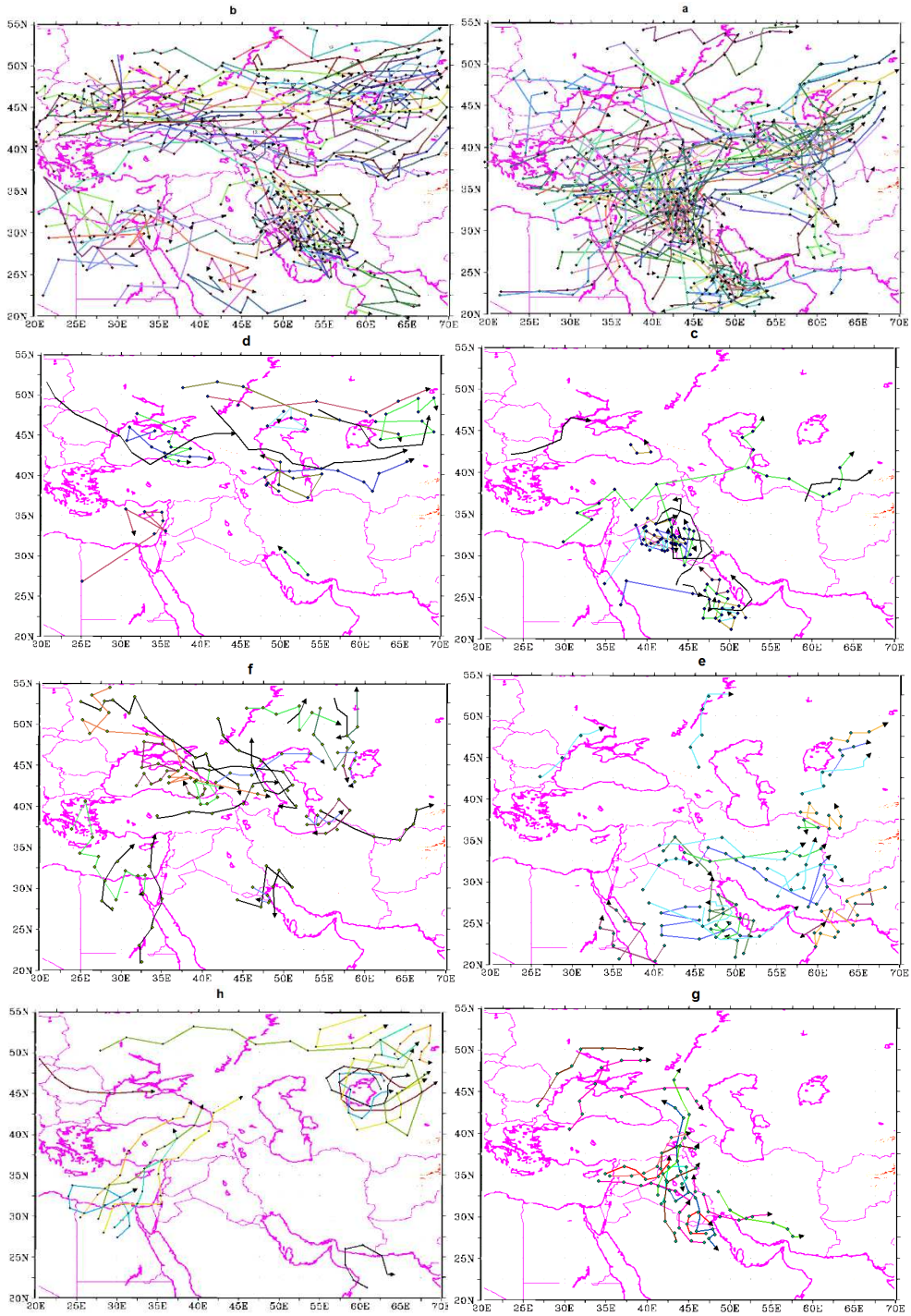
در الگوی اول ۲۵ چرخند از نوع ادغامی بوده و ۲۴ چرخند از نوع مدیترانه‌ای و ۸ چرخند هم به صورت مستقل از سودان منشأ گرفته است. مهمترین نقش چرخندهای ادغامی یا سودانی در انتقال رطوبت از دریاهای جنوب به شمال‌غرب ایران می‌باشد. به طوری که چرخندهای منشأ گرفته از سودان ضمن جذب رطوبت از دریای سرخ، رطوبت منتقل شده از دریای عرب به واسطه واچرخند عربستان را به عرض‌های بالاتر منتقل می‌نمایند و در ترکیب با رطوبت انتقال یافته از مدیترانه، بیشینه رطوبت را بر روی شمال‌غرب ایران فرارفت می‌کنند. بررسی موقعیت و مسیرهای جابجایی واچرخندهای الگوی اول نیز نشان داد که پرفشار مستقر بر روی دریاچه آرال یکی از مهم‌ترین مراکز واچرخندی می‌باشد. تعدادی از آنها نیز واچرخندهای مهاجری هستند که از عرض‌های شمالی اروپا منشأ گرفته و منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین در عرض‌های پایین‌تر منطبق بر دریای عرب و نیمه جنوبی عربستان، واچرخند قوی عربستان که در ترازهای پایین و میانی وردسپهر به صورت ساکن گسترده شده است، از مهمترین مولفه‌های تزریق رطوبت به سامانه‌های بارشی این الگو می‌باشد. واچرخند مستقر بر روی زاگرس و ایران مرکزی نیز در بیشتر روزهای این الگوی بارشی وجود داشته است شکل(b-۱۱).

در الگوی دوم با توقف حرکت سامانه‌های گردشی در تراز میانی و زیرین جو توسط سامانه بندالی، چرخندهای ساکنی که از دو روز قبل از وقوع بارش منطبق بر کم ارتفاع بریده (سردچال)، در منطقه مستقر بوده‌اند، بیشترین سهم را در وقوع بارش منطقه شمال‌غرب داشته‌اند. با ردیابی مراکز چرخندی مشخص شد که تعداد ۶ چرخند منشأ یافته از مدیترانه و سودان با حرکت شرق سوی خود بر روی عراق ساکن شده‌اند (شکل ۱۱-c). مهمترین مرکز واچرخندی فعال نیز، واچرخند مستقر بر روی دریای سیاه می‌باشد که به صورت شبه ساکن و گسترده فعالیت داشته است (شکل ۱۱-d).

همانطور که قبلاً توضیح داده شد در الگوی سوم، مرکز کم فشار بسته ای در زمان وقوع بارش ها در تراز زیرین بر روی منطقه شمال‌غرب مشاهده نشد. با نگاهی به شکل (۱۱-e) مشخص می‌شود که مهمترین مراکز چرخندی فعال، ۵ چرخند مهاجر می‌باشند که از عرض‌های پایین‌تر از منطقه شمال‌غرب ایران عبور کرده و به صورت مستقیم در بارش‌های سنگین منطقه شمال‌غرب ایران نقشی نداشته‌اند. هجوم واچرخندهای مهاجر از شمال اروپا که بر روی دریای سیاه و شمال‌غرب ایران (گسترش زبانه واچرخند) مستقر شده‌اند از مهمترین مراکز واچرخندی فعال در روز وقوع بارش سنگین الگوی ناوه برون حاره بوده‌اند (شکل ۱۱-f).

در الگوی چهارم چرخندهای شکل گرفته در زیر کم‌ارتفاع بریده مستقر بر جانب غربی سامانه بندالی امگا شکل، که به صورت ساکن بر روی مناطقی از عراق، شمال عربستان، سوریه و اردن استقرار یافته‌اند، از مهم‌ترین مراکز چرخندی فعال می‌باشند. از تعداد ۱۵ چرخندی که برای الگوی چهارم شناسایی شدند، تعداد ۳ چرخند با منشأ مدیترانه شروع به حرکت کرده و بر روی مناطق ذکر شده ساکن شده‌اند. مابقی چرخندها به دلیل حاکمیت سامانه بندالی از چند روز قبل از وقوع بارش بر روی محدوده عراق و شمال عربستان فعالیت داشته‌اند (شکل ۱۱-g). بررسی مسیر واچرخندهای الگوی چهارم نیز بیانگر آن است که واچرخند مستقر در محدوده دریاچه آرال از مهم‌ترین مراکز واچرخندی می‌باشد که به صورت پایدار در تمامی روزهای وقوع بارش در الگوی مذکور دیده می‌شود.

همچنین در این الگو، تعدادی واچرخند مهاجر با منشأ شمال‌شرق آفریقا ضمن عبور از شرق مدیترانه یک جابجایی شمال‌شرق سو را به سمت دریای سیاه تجربه نموده‌اند. این واچرخندها از طریق افزایش گرادیان‌های افقی دما و فشار، منطقه شمال‌غرب ایران را تحت تأثیر قرار داده‌اند. از مهمترین مولفه‌های تزریق رطوبت به سامانه‌های بارشی این الگو، چرخندهای ساکن بر روی عراق و سوریه و واچرخند مستقر بر روی دریاچه آرال می‌باشند (شکل ۱۱-h).



شکل۱۱: تعیین موقعیت و مسیر جابجایی ۶ ساعته چرخندها و واچرخندهای مهاجر و فعال به تفکیک برای روزهای متعلق به چهار الگوی همدیدی. (a) چرخندهای مربوط به الگوی اول (b) واچرخندهای مربوط به الگوی اول (c) چرخندهای مربوط به الگوی دوم (d) واچرخندهای مربوط به الگوی دوم (e) چرخندهای مربوط به الگوی سوم (f) واچرخندهای مربوط به الگوی سوم (g) چرخندهای مربوط به الگوی چهارم (h) واچرخندهای مربوط به الگوی چهارم. (خطوط هم‌رنگ، مسیر جابجایی چرخندها و واچرخندها فعال در هر روز را نمایش می‌دهد).

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر یک تحلیل همدیدی از سازوکار وقوع بارش‌های سنگین بهاره در منطقه شمال‌غرب ایران ارائه شد. ابتدا ویژگی‌های آماری روزهای بارش سنگین ارزیابی شد و سپس با بهره‌گیری از مولفه‌ها و پارامترهای جوی، تمام روزهای با بارش سنگین مورد تجزیه و تحلیل همدیدی قرار گرفت که در نهایت چهار الگوی همدیدی برای بارش-های سنگین بهاره در شمال غرب کشور استخراج شد. ارزیابی فضایی بارش‌ها با به‌کارگیری داده‌های شبکه‌بندی CHIRPS، مشخص کرد که گسترده‌ترین بارش‌ها با حاکمیت الگوی اول رخ داده است. الگوی سوم هم شدیدترین بارش‌ها را به خود اختصاص داده است. بررسی وضعیت همدیدی بیانگر آن است که در الگوی اول، علت اصلی وقوع بارش سنگین در منطقه شمال‌غرب، عبور چرخند یا سامانه کم‌فشار دینامیکی مهاجر و منطقه همگرایی و گردش چرخندی ناشی از آن است. بررسی نقشه‌های تراز میانی جو مرتبط با این الگو بیانگر آن است که، با استقرار پشته‌ای قوی بر روی اروپا، از دو روز قبل از وقوع بارش، ناوه‌ای عمیق در حدفاصل شرق مدیترانه و منتهی الیه غرب خاورمیانه به عرض‌های پایین‌تر نفوذ نموده است. در اغلب موارد، میزان گسترش جنوب سوی موج غربی به اندازه‌ای بوده است که علاوه بر شرق مدیترانه، بخش اعظم منطقه دریای سرخ نیز تحت سیطره ناوه موج غربی قرار گرفته است. به همین علت در این الگو به دفعات شاهد شکل‌گیری و جابجایی سامانه کم فشار سودانی چه به شکل مستقل و چه در ترکیب با سامانه کم فشار مدیترانه‌ای بر روی منطقه خاورمیانه بوده‌ایم. در اغلب موارد، در زمان وقوع بارش‌های سنگین، ادغام دو سامانه چرخندی با منشأ مدیترانه و سودان و متعاقب آن شکل‌گیری یک سامانه چرخندی ترکیبی با گستردگی و عمق مناسب، به شکل مطلوبی شرایط لازم را برای حرکات صعودی هوا، ناپایداری و وقوع بارش بر روی منطقه فراهم نموده است. استقرار واچرخند عربستان بر جانب شرقی شبه جزیره عربستان نقش قابل ملاحظه‌ای در انتقال رطوبت در این الگو داشته است. بر اساس نقشه‌های متوسط مربوط به این الگو، استقرار پرفشار بر روی عربستان، گردش واچرخندی این سامانه بر روی دریای عرب، عربستان و خلیج فارس را در پی دارد. با حرکت شرق سوی چرخند ادغامی مهاجر و رسیدن آن به عراق و سوریه، گردش چرخندی آن به واسطه برهمکنش این سامانه کم‌فشار با سامانه پرفشار مستقر بر روی شبه جزیره عربستان تقویت می‌گردد. در واقع در این الگو، استقرار و تقویت پشته/پرفشار بر روی دریای عرب امکان انتقال مستقیم رطوبت از دریای عرب به درون سامانه‌های کم‌فشار مهاجر منشأ گرفته از مدیترانه و سودان را فراهم می‌سازد. ارزیابی کلی منابع رطوبت در این الگو بیانگر آن است که نقش منابع رطوبتی با منشأ دریای عرب و نیمه جنوبی دریای سرخ بیشتر از سایر منابع رطوبتی از جمله دریای مدیترانه و نیمه شمالی دریای سرخ می باشد. این نتیجه از این جهت حائز اهمیت است که تحقیقات گذشته در رابطه با تامین منابع رطوبتی بارش‌های شمال‌غرب ایران، عمدتاً به سامانه‌های منشأ گرفته از برون حاره از قبیل منابع رطوبتی دریای مدیترانه و دریای سیاه اشاره نموده‌اند. در واقع یافته‌های پژوهش حاضر متفاوت با نتایج تحقیقات پیشین، که به نقش بلامعارض و برجسته‌ی سامانه‌های برون حاره به طور عام و چرخندهای مدیترانه‌ای بطور خاص، بر تأمین رطوبت بارش‌های شمال‌غرب ایران تأکید نموده‌اند (اشجعی باشکند، ۱۳۷۹؛ جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۳؛ براتی و همکاران، ۱۳۹۴؛ طاهایی و همکاران، ۱۳۹۵)، بر تقسیم این نقش بین سامانه‌های برون حاره (واچرخندها و چرخندهای مهاجر) از یک سو و سامانه‌های جنب‌حاره‌ای (پشته جنب حاره، واچرخند دریای عرب و کم فشار

سودانی) از سویی دیگر تأکید دارد. استقرار یک کم ارتفاع بریده (سردچال) در وردسپهر میانی به همراه یک چرخند ساکن بر روی عراق و واچرخند گسترده ساکن بر روی شمال دریای سیاه در وردسپهر زیرین، از آرایش اصلی فشار در الگوی دوم بوده است. در واقع سامانه بندالی از نوع زوجی در تراز میانی وردسپهر به توقف حرکت سامانه‌های گردشی در تراز میانی و زیرین جو منجر شده است. در روز وقوع بارش، به جهت سرعت یافتن موج، الگوی جریان از حالت بندال خارج شده و قرارگیری جانب راست ناوه با بیشنه تاوایی مثبت در تراز میانی بر روی شمال‌غرب ایران و قرارگیری همزمان چرخند تراز زیرین همراه با گردش چرخندی و صعود قابل توجه بر روی منطقه، بارش‌های سنگین این الگوی همدیدی را رقم زده است. مهمترین سامانه تزریق رطوبت در این الگو، چرخند ساکن غرب منطقه مورد مطالعه می‌باشد که در روزهای قبل از وقوع بارش حجم قابل توجهی از رطوبت دریای مدیترانه را به منطقه غرب و شمال‌غرب ایران منتقل نموده است. اما بررسی وضعیت همدیدی الگوی سوم بیانگر آن است که، عبور یک موج غربی از عرض‌های میانی و عمیق شدن ناوه‌ای از این موج به شکلی گذرا موجبات ناپایداری و صعود هوا را سبب شده است. در واقع در این الگو، یک مرکز کم فشار بسته بر روی منطقه شکل نگرفته و به نظر می‌رسد عمیق شدن یک ناوه برون حاره و تحریک شرایط همگرایی محلی به شکل دینامیکی سازوکار اصلی وقوع بارش بوده است. در این زمان از سال در مناطق کوهستانی شمالغرب ایران گرمایش محلی امکان وقوع پدیده همرفت را فراهم می‌نماید. به نظر می‌رسد در این الگو همرفت محلی با نفوذ ناوه موج غربی تحریک و یا تقویت گردیده و بارش‌های سنگینی را رقم زده است. در این الگو جریان‌های شمال‌شرقی با وزش بر روی دریای خزر نقش اصلی را در تزریق رطوبتی سامانه های بارشی دارا هستند. سازوکار اصلی وقوع بارش در الگوی چهارم، حاکم شدن سامانه بندالی از نوع امگا در عرض‌های میانی و ماندگاری کم ارتفاع بریده منتج از این سامانه (کم ارتفاع بریده بر جانب غربی سامانه بندالی) به شکلی شبه ایستا بر روی شمال‌غرب ایران می‌باشد. استقرار یک ناوه/کم ارتفاع بریده برجانب غربی بندال امگا شکل و بر روی پهنه‌ی شمال‌غرب ایران، تقویت تاوایی مثبت و گردش چرخندی را بر روی منطقه موجب گردیده که در نهایت شکل‌گیری چرخندهای نسبتاً عمیق در تراز دریا و به دنبال آن صعود قابل توجه و بارش‌های سنگین را در پی داشته است. مهمترین سامانه تزریق رطوبت در این الگو، چرخندهای ساکن در غرب منطقه مورد مطالعه می‌باشند که حجم قابل توجهی از رطوبت دریای مدیترانه و دریای سیاه را به منطقه منتقل می‌نمایند. علاوه بر این، رطوبت زیادی نیز توسط سامانه پرفشار مستقر بر جانب شمالی دریاچه آرال در روزهای قبل و روز اوج بارش از دریای خزر به داخل چرخندهای ساکن و بر روی شمال‌غرب ایران منتقل می‌گردد. نتایج حاصل از بررسی موقعیت و مسیر جابجایی سامانه‌های بارش‌زا نیز بیانگر آن است که چرخندهای منشأ یافته از مدیترانه و سودان که گاهاً به صورت ترکیبی و یا مستقل منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار می‌دهند از مهم‌ترین سامانه‌های بارش‌زا هستند. به طوری که مهمترین مولفه‌ی همدیدی فشار تراز زیرین وردسپهر در الگوی اول با فراوانی ۵۷ روز، چرخندهای مهاجر می‌باشند. با این وجود، عامل اصلی تزریق رطوبت به داخل این چرخندها، واچرخند مستقر بر روی دریای عرب و عربستان می‌باشد. چرخندهای ساکن که از دو روز قبل از وقوع بارش منطبق بر کم ارتفاع بریده از سامانه کم‌فشار در الگوی دوم و چرخندهای شکل گرفته در زیر کم‌ارتفاع بریده مستقر بر جانب غربی سامانه بندالی امگا شکل، که به صورت شبه ساکن و گسترده فعالیت داشته‌اند، بیشترین سهم را در وقوع بارش روزهای مربوط به این الگوها داشته‌اند.

منابع

اشجعی باشکند، محمد (۱۳۷۹)، بررسی و ارائه مدل های سینوپتیکی بارش های سنگین در شمال غرب ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر محمد خیراندیش، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، گروه هواشناسی.

براتی، غلام رضا، مرادی، محمد، سلیمی، رقیه (۱۳۹۴)، واکاوی همدید بارش‌های سنگین بهارهٔ استانِ زنجان، مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال چهارم، شماره ششم، صص ۸۸-۷۷.

جهانبخش، سعید، میرهاشمی، حمید، تدینی، معصومه (۱۳۹۴)، تحلیل همدید ـ ترمودینامیک بارش‌های ابرسنگین شمال‌غرب ایران (استان آذربایجان شرقی)، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۱، صص ۱۲۵-۱۰۷.

جهانبخش، سعید، جعفری شندی، فاطمه، حسین علی پور، فرشته (۱۳۹۳)، بررسی رابطه الگوهای گردشی جو بالا با بارش های ابر سنگین (مطالعه موردی استان آذربایجان شرقی)، نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۶، شماره ۴۲، صص۱۳۸-۱۱۳.

حجازی زاده، زهرا، جعفرپور، زین العابدین، پروین، نادر (۱۳۸۶)، بررسی و شناسایی الگوهای سینوپتیکی تراز ۵۰۰ هکتوپاسال مولد سیلاب های مخرب و فراگیر سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه، نشریه علوم جغرافیایی. شماره ۱۰، صص۱۵۴-۱۲۵.

درگاهیان، فاطمه، علیجانی، بهلول، محمدی، حسن (۱۳۹۳)، بررسی سینوپتیکی الگوهای فشار مرتبط با بلاکینگ های موثر بر رخدداد بارش های مداوم (۵ روز و بیشتر) و سنگین در ایران: در فصل سرد ۲۰۱۲-۱۹۵۳، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره دهم، صص ۱۷۳-۱۵۵.

رسولی، علی اکبر (۱۳۹۱)، تحلیل سری های زمانی فشار مراکز الگوهای سینوپتیکی موثر بر بارش های فصلی ایران، مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۲۷، صص ۸۸-۷۷.

رسولی، علی اکبر، جوان، خدیجه (۱۳۹۱)، تحلیل روند وقوع توفان های رعد و برقی در نیمه غربی ایران با کاربرد آزمون های ناپارامتری، فضای جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره ۳۸، صص ۱۲۶-۱۱۱.

رضایی بنفشه، مجید، حسین علی پور، فرشته، جعفری شندی، فاطمه، علی محمدی، مجید (۱۳۹۴)، تحلیل همدید بارش های سنگین پهنه شمال غرب ایران (با تاکید بر الگوهای ضخامت جو). نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۳، صص ۱۳۵-۱۱۷.

ساری صراف، بهروز، رسولی، علی اکبر، کیانی، طاهره، ملکیان، اشرف (۱۳۸۷)، تحلیل همدید بارش های رگباری در حوضه جنوبی رود ارس، فضای جغرافیایی، ش ۲۴، صص ۱۴۶-۱۲۳.

سیف، مهرزاد (۱۳۷۵)، بررسی توزیع بارش تگرگ در ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

صادقی، سلیمان، مفیدی، عباس، جهانشیری، مهین، دوستان، رضا (۱۳۹۳)، نقش الگوهای گردش مقیاس منطقه ای جو بر وقوع روزهای بسیار آلوده در شهر مشهد، جغرافیا و مخاطرات محیطی، جلد ۳، شماره ۱۰، صص ۳۵-۱.

طاهایی، فاطمه، سلکی، هیوا، حجازی زاده، زهرا (۱۳۹۵)، بررسی الگوهای همدید بارش های فوق سنگین غرب و جنوب غرب حوضه آب خیز دریاچه ارومیه، برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره ۲۰، شماره ۱، صص ۹۶-۷۹.

عساکره، حسین (۱۳۹۰)، مبانی اقلیم شناسی آماری، انتشارات دانشگاه زنجان، زنجان.

علیجانی، بهلول (۱۳۸۷)، آب و هوای ایران، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

غفاریان، پرویز، مشکواتی، امیر حسین، آزادی، مجید، مزرعه فراهانی، مجید، رحیم زاده، فاطمه (۱۳۸۹)، بررسی همدیدی بارش در شمال غرب ایران-مطالعه ی موردی بارش فرین ایستگاه ارومیه، نشریه پژوهش های اقلیم شناسی، شماره سوم و چهارم، صص ۱۲-۱.

فرج زاده اصل، منوچهر، فتح نیا، امان الله، لشکری، حسن (۱۳۸۷)، مسیریابی و فرکانس بندی سامانه های بارشی در غرب ایران (استان های کرمانشاه و ایلام)، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۱۵۹-۱۳۹.

قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۰)، تحلیل سینوپتیک بارش های رعد و برقی، ۴ و ۵ اردیبهشت ۱۳۸۹، تبریز، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۶، شماره ۴۲، صص ۲۳۸-۲۲۳.

کاوسی، رضا، موحدی، سعید (۱۳۹۳)، بررسی همدید کنش های چرخندی بر روی ایران در سال ۱۳۷۱، ش. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره چهارم، شماره پیاپی ۱۱۵، صص ۱۱۲-۹۷.

لشکری، حسن، آقاسی، نوشین (۱۳۹۲)، تحلیل سینوپتیکی توفان های تندری تبریز در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۶)، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، ۱۷(۴۵)، صص ۲۳۴-۲۰۳.

مفیدی، عباس، زرین، آذر، کارخانه، میثم (۱۳۹۳)، بررسی الگوی گردش جو در طول دوره های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر، ژئوفیزیک ایران، ۸، ش ۱، صص ۱۷۶-۱۴۰.

مفیدی، عباس، زرین، آذر، جانباز قبادی، غلام رضا (۱۳۸۷)، تعیین الگوی همدیدی بارش های شدید و حدی پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر، مجلهٔ فیزیک زمین و فضا دوره ۲، شماره ۳۳، صص ۱۵۴-۱۳۱.

مفیدی، عباس، زرین، آذر (۱۳۸۴)، تحلیل همدیدی ماهیت کم فشارهای سودانی، فصل نامه سرزمین، سال دوم، شماره ۶، صص ۴۸-۲۴.

مفیدی، عباس (۱۳۷۹)، بررسی همدیدی نقش دریای سیاه در بارش ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما دکتر بهلول علیجانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران.

Beck, C., Jacobeit, J., & Jones, P. D. (2007). Frequency and within type variations of large scale circulation types and their effects on low frequency climate variability in central europe since 1780. International Journal of Climatology, 27(4), 473-491.

Esteban, P., Martin-Vide, J., & Mases, M. (2006). Daily atmospheric circulation catalogue for Western Europe using multivariate techniques.International Journal of Climatology, 26(11), 1501-1515.

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations a new environmental record for monitoring extremes, Nature Sci. Data, vol. 2, pp. 150066.

Gevorgyan, A. (2013). Main types of synoptic processes and circulation types generating heavy precipitation events in Armenia. Meteorology and Atmospheric Physics, 122(1-2), 91-102.

Huth, R., Beck, C., Philipp, A., Demuzere, M., Ustrnul, Z., Cahynová, M., Tveito, O. E. (2008). Classifications of atmospheric circulation patterns.Annals of the New York Academy of Sciences, 1146(1), 105-152.

James, P. M. (2007). An objective classification method for Hess and Brezowsky Grosswetterlagen over Europe. Theoretical and Applied Climatology, 88(1-2), 17-42.

Jenkinson, A. F., & Collison, F. P. (1977). An initial climatology of gales over the North Sea. Synoptic climatology branch memorandum, 62, 18.

Jones, P. D., Hulme, M., & Briffa, K. R. (1993). A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme. International Journal of Climatology, 13(6), 655-663.

Mastrangelo, D., Horvath, K., Riccio, A., & Miglietta, M. M. (2011). Mechanisms for convection development in a long-lasting heavy precipitation event over southeastern Italy. Atmospheric Research, 100(4), 586-602.

Martinez, C., Campins, J., Jansü, A., & Genovés, A. (2008). Heavy rain events in the Western Mediterranean: an atmospheric pattern classification.Advances in Science and Research, 2, 61-64.

Schumacher, R. S., & Johnson, R. H. (2008). Mesoscale Processes Contributing to Extreme Rainfall in a Midlatitude Warm-Season Flash Flood. Monthly Weather Review, 136(10), 3964-3986.

Yarnal, B., Comrie, A. C., Frakes, B., & Brown, D. P. (2001). Developments and prospects in synoptic climatology. International Journal of Climatology,21(15), 1923-1950.

Ziv, B., Dayan, U., Kushnir, Y., Roth, C., & Enzel, Y. (2006). Regional and global atmospheric patterns governing rainfall in the southern Levant.International Journal of Climatology, 26(1), 55-73.

A Synoptic analysis for the occurrence of springtime heavy rainfall in the Northwest of Iran

Ali Mohammad Khorshiddoust[1], Abbas Mofidi[2], Ali Akbar Rasuly[3], Kamel Azarm[4*]

1- Professor at the Department of Climatology, University of Tabriz, Iran

2- Assistant Professor of Climatology, Geography Department, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran

3- Professor at the Department of Climatology, University of Tabriz, Iran

4- PhD. Candidate of Climatology, Department of Climatology, University of Tabriz, Iran

Email: k.azarm.tabrizu.ac.ir

Received: 2016.07.18 Accepted: 2016.08.31

Abstract

The main purpose of this research is synoptic analysis for the occurrence of springtime heavy rainfall in the Northwest of Iran. Therefore, daily precipitation data were obtained from 15 synoptic stations for a period of 34 years (1981-2014). Then by using percentile index of above 95th, it was identified 98 days with heavy precipitation. So, to determine the synoptic patterns by applied the NCEP/NCAR reanalysis dataset, the maps of geopotential height, sea level pressure, streamlines, vorticity, and specific humidity at different levels were prepared and the regional pattern flow and atmospheric conditions two days before the occurrence of precipitation analyzed. The results indicate that heavy precipitations in North West of Iran are categorized into four synoptic patterns. At the first pattern, the main cause of heavy precipitation in North West is passing cyclone or low-pressure migratory systems and the regional dynamic convergence and its association with cyclonic circulation. The main factor for the transferring of moisture to the inner side of these cyclones is the anti-cyclone stationed in Saudi Arabia. At the second pattern, the couple blocking system in the middle level of troposphere system is caused heavy precipitation with stop-motion circulation systems in the middle and lower levels of the atmosphere. At the third pattern, a deep cyclonic circulation center has not been formed on their area and seems to deepen a trough of extratropical and stimulates the local convergence condition dynamically, and is regarded as the main mechanism of precipitations occurrence. The main mechanism of the fourth pattern is the establishment of the omega-blocking system in mid-latitudes. In fact, at omega blocking pattern, Cut-off Low located on the western side blocking system with the establishment and the shelf life of a few days on the zone has caused the heavy precipitation.

Keywords: CHIRPS, Heavy Precipitation, Synoptic Climatology, North West of Iran.