

## تحلیل سازوکار همیدیدی بارش سنگین خسارت‌بار در شمال غرب ایران (مطالعه موردی: ۱۴ آوریل ۲۰۱۷)

عاطفه حسینی صدر<sup>۱</sup>  
غلامحسین محمدی<sup>۲</sup>  
فیروز عبدالعلی‌زاده<sup>۳</sup>  
وحید خجسته غلامی<sup>۴</sup>

### چکیده

در روز ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ (۲۴ فروردین ۱۳۹۶) بارش سنگینی در شمال غرب ایران به وقوع پیوست که منجر به ایجاد سیل و خسارات جانی و مالی در این منطقه شد. در این مطالعه به منظور بررسی سازوکارهای همیدیدی-دینامیکی وقوع این بارش، از داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی، پارامترهای همیدیدی ترازهای مختلف جو و نمودار ترمودینامیک SkewT استفاده شد. در ابتدا پراکندگی بارش پهنه‌بندی شد، سپس نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، چرخندگی، امگا، سمت و سرعت باد، رطوبت ویژه، تابع همگرایی شار رطوبت و نمودار هوف مولر ترسیم و تحلیل شد. نتایج تحقیق نشان داد کانون حداکثر بارش به صورت کریدری از جنوب غرب استان آذربایجان غربی، محدوده دریاچه ارومیه تا مناطق میانی استان آذربایجان شرقی بوده است که در بازه زمانی ۳۶ ساعت بین ۳۰ تا ۵۷ میلی‌متر بارندگی داشتند. نقشه‌های همیدیدی نشان داد در این روز استیلای

۱- مربی گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

Email: sadr85@yahoo.com

۲- دکتری آب و هواشناسی، سازمان هواشناسی، اداره کل هواشناسی آذربایجان شرقی

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی دانشگاه تبریز، کارشناس هواشناسی سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی آذربایجان شرقی،

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

منطقه چرخندی ناوه مدیترانه در تراز میانی جو به همراه جریان هسته رودباد قطبی در سطوح فوقانی شرایط مساعدی برای ناپایدار کردن جو و صعود هوا در منطقه شمال غرب ایران فراهم کرد به طوری که مقدار امگا به کمتر از  $0/3$  - پاسکال در ثانیه رسید. نقشه‌های رطوبت ویژه حاکیست که همزمان با استقرار منطقه چرخندی ناوه، شار رطوبتی قابل ملاحظه‌ای از مسیر دریای سرخ به سمت شمال غرب ایران صورت گرفته است. لذا تبدیل سریع رطوبت جو به بارش در منطقه چرخندی ناوه عامل اصلی وقوع بارش سنگین در این روز بوده است. این موضوع از طریق ترسیم نقشه همگرایی شار رطوبت و نمودار هوف مولر اثبات شد. نمودارهای SkewT و شاخص‌های ناپایداری نیز وجود رطوبت زیاد در جو و فراهم بودن شرایط مناسب جهت ناپایداری و صعود هوا در روز ۱۴ آوریل را تأیید کردند.

**واژگان کلیدی:** بارش سنگین، سازوکار همدیدی، وزش رطوبت، SkewT، شمال غرب ایران

### مقدمه

بارش سنگین و سیل‌آسای ۲۴ فروردین ۱۳۹۶ (۱۴ آوریل ۲۰۱۷) در شمال غرب ایران جزء خسارت‌بارترین مخاطرات جوی است که طی سال‌های اخیر اتفاق افتاده است. این سیل در منطقه آذرشهر و عجب شیر (استان آذربایجان شرقی)؛ باعث جان باختن ۴۸ نفر از هموطنان عزیزمان شد. همچنین طبق گزارشات منتشر شده از استانداری آذربایجان شرقی میزان خسارات ناشی از جریان سیل در این استان حدود ۳۰۰۰ میلیارد ریال برآورد شد (خبرگزاری جمهوری اسلامی-ایرنا). یافتن سازوکارهای جوی وقوع چنین بارش‌های سنگین و خسارت‌بار به گونه‌ای که بتواند در پیش‌بینی وقوع شرایط مشابه کمک کند؛ انگیزه اصلی انجام تحقیق حاضر بوده است.

براساس تحقیقات انجام شده در ایران مطالعات متعددی برای یافتن علل همدیدی وقوع بارش‌های سنگین انجام شده است. مسعودیان و محمدی (۱۳۸۹) در تحلیل همدید بارش‌های سنگین ایران به این نتیجه رسیدند که نقش الگوی پرفشار اروپا-کم فشار عراق در رویداد بارش‌ها قابل توجه است. لشکری و خوزانی (۱۳۸۹) در بررسی سیستم‌های سیل‌زای جنوب به این نتیجه رسیدند که طوفان‌های تندری جنوب ناشی از فعالیت سیستم

سودانی و همگرایی دریای سرخ و در مواردی ادغام آن با کمفشار مدیترانه و تشدید شرایط دینامیکی برای ناپایداری است. قائدی و همکاران (۱۳۹۱) بارش‌های سنگین ایران را در رابطه با فرود دریای سرخ مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که این فرود دلیل برخی از بارش‌های سنگین ایران می‌باشد. خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی رخداد سیلاب بهبهان به این نتیجه رسیدند که گسترش کم فشار مدیترانه-سودانی بدلیل قرارگیری بین مراکز پرفشار اروپا و جنب حاره جنوب شرق عربستان سبب تشکیل کمربند همگرایی از روی دریای سرخ می‌شود. براتی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی بارش‌های سیل‌آسای زنجان نقش رطوبتی دریای مدیترانه را بیشتر از دریای سیاه عنوان کرده و برخورد دو رودباد جنب حاره و جنب قطبی را در تشدید عوامل صعود دخیل می‌دانند. بلیانی و سلیقه (۱۳۹۵) در مطالعه خود در خصوص بارش‌های سنگین شمال خلیج فارس به این نتیجه رسیدند که استیلای ناوهی دو دامنه‌ای تأییدی بر زبانه کم فشار شرق مدیترانه در همراهی با زبانه کم فشار شمال شرق و جنوب دریای خزر مهمترین عامل ریزش بارش در این روز بوده که با ناوه سطوح میانی و بالایی همراه شده است. از دیگر مطالعات مرتبط با موضوع تحقیق حاضر می‌توان به تحقیق محمدی و قلی‌زاده (۱۳۹۰) در بررسی شرایط جبهه‌زایی در منطقه کردستان؛ نوری و ایلدرمی (۱۳۹۱) با موضوع تحلیل شرایط همدید و دینامیک رویدادهای بارش سنگین سواحل جنوبی خزر؛ عساکره (۱۳۹۱) در مطالعه روند بارش‌های سنگین زنجان؛ امیدوار و همکاران (۱۳۹۲) در واکاوی ترمودینامیکی بارش‌های سنگین ناشی از وقوع سردچال در نواحی مرکزی و جنوب غربی کشور؛ مسعودیان و کارساز (۱۳۹۳) در مورد تحلیل همدید الگوهای ضخامت در بارش سنگین زاگرس جنوبی؛ احمدی و جعفری (۱۳۹۴) در تحلیل سینوپتیکی بارش سنگین ۱۲ آوریل ۲۰۱۵ در قزوین و قویدل رحیمی و حاتمی (۱۳۹۵) در تحلیل اوضاع جوی بارش سنگین منجر به سیل ۸ اسفند سال ۱۳۸۸ در ایوان غرب؛ خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۵) در تحلیل همدیدی سازوکارهای وقوع بارش‌های سنگین بهاره در شمال غرب ایران اشاره نمود.

در خارج از ایران نیز مارک و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) به بررسی الگوهای سینوپتیک موثر در بارش‌های سنگین کشور چک پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بارش سنگین اغلب در کنار جبهه شبه ساکن مرز لایه‌های جوی اتفاق می‌افتد. ریچارد و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) به بررسی تاریخچه سینوپتیکی بارش‌های سنگین پرداخته و از نظر ضخامت جو الگوها را بررسی کردند. مبارک و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۱) در بررسی ارتباط بین بارش‌های شرق ایران با سیکلون واقع در مرکز مدیترانه به افزایش دما در لایه‌های بالایی جو با حرکات واگرایی و تغییر مسیر رودباد جنب حاره تاکید کردند. اولیوریا و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۳) به بررسی خصوصیات سینوپتیکی بارش‌های سنگین در قسمت‌های شمالی برزیل پرداختند و به این نتیجه رسیدند که توزیع بارندگی در سال‌های مربوط به لائینا بیشتر و در سال‌های مربوط به النینو کمتر است. میثائیل و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۴) به بررسی علت سینوپتیکی رخداد بارش‌های سنگین در دریاچه آبرو و فرام پرداختند و نقش پدیده لائینا و دورپیوند SOI را روی این بارشها مؤثر دانستند. جان و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۴) به مطالعه پیش بینی سینوپتیکی در مورد علت همرفت و وقوع بارش‌های سنگین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که برای پیش بینی بارش‌های همرفتی، مقیاس عددی سینوپتیک غیر قابل اعتماد است. لی و آلبرتوس<sup>۷</sup> (۲۰۱۵) به بررسی مسیر سینوپتیکی رطوبت‌رسانی در وقوع بارش سنگین ۲۱ ژوئیه در منطقه بیجینگ پرداختند و ورتکس شمال غربی در ترازهای پایین به همراه رطوبت قائم موجود در جو را علل وقوع بارش دانستند. سارات و ساریتا<sup>۸</sup> (۲۰۱۵) به مطالعه بارش‌های سنگین کشمیر با استفاده از تصاویر مودیس و مدل WRF پرداختند. هدایت و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۱۶) در بررسی علل رخداد بارش‌های سنگین در فصول مرطوب در دریای جاوا به این نتیجه رسیدند که همرفت بین نسیم دریا و خشکی و بازتابش امواج از سطح خشکی علت

<sup>۱</sup>. Marek et al.

<sup>۲</sup>. Richard et al.

<sup>۳</sup>. Mubarak et al.

<sup>۴</sup>. Oliveria et al.

<sup>۵</sup>. Michael et al.

<sup>۶</sup>. John et al.

<sup>۷</sup>. Li and Albertos

<sup>۸</sup>. Sarat and Sarita

<sup>۹</sup>. Hidayat et al.

بارش‌های سنگین است. فلونی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۶) به مطالعه سینوپتیکی علت وقوع بارش سنگین فصلی در منطقه آتیکا پرداختند. اوین و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) درباره مدل‌های پیش‌بینی بارش سنگین مطالعه کردند. کایی و ژوئی<sup>۳</sup> (۲۰۱۷) در بررسی جفت پارامترهای رطوبت‌دهی در بارش‌های سنگین منطقه‌ای، به این نتیجه رسیدند واگرایی و همگرایی، اساس تغییرات رودباد برای فراهم کردن رطوبت لازم برای بارش‌های سنگین است.

بررسی مطالعات صورت گرفته در رابطه بارش‌های سنگین، نشان می‌دهد تحلیل سینوپتیکی و در برخی موارد تحلیل‌های دینامیکی از روش‌های پرکاربرد در زمینه مطالعه بارش‌های سنگین می‌باشند. در مطالعات مذکور عوامل مختلفی برای ایجاد بارش سنگین شناسایی شده است که می‌توان به مواردی از قبیل سیستم‌های کم‌فشار و پرفشار، ناهه‌های تراز میانی جو، رودبادهای جبهه قطبی و جنب حاره، سردچال، بلاکینگ‌ها و دورپیوندها اشاره کرد. لذا هر بارش سنگین منشاء و سیستم‌های فشاری به وجود آورنده خاص خود را دارد و بررسی و شناسایی آنها به منظور انجام پیش‌بینی و ارائه هشدارهای لازم جهت جلوگیری و کاستن از خسارات جانی و مالی حائز اهمیت می‌باشد. در تحقیق حاضر، با استفاده از تحلیل‌های همدیدی به بررسی سازوکارهای جوی ایجاد کننده بارش سنگین منجر به سیل ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ شمال غرب و نیز عوامل ترمودینامیکی تقویت کننده این سامانه‌ها پرداخته شد.

### مبانی نظری

بارش سنگین از مهمترین مخاطرات اقلیمی ایران و دنیا محسوب می‌شود. در هر منطقه جغرافیایی تعریف خاصی برای بارش سنگین و سیل‌آسا ارائه شده است. تعریف جامعی از بارش‌های سنگین که بتوان برای مناطق مختلف به طور یکسان استفاده کرد وجود ندارد، زیرا در هر ناحیه‌ای بدون توجه به شرایط فیزیکی و محلی و تنها با توجه به شرایط سینوپتیکی به وجود آورنده این‌گونه رویدادها مقدار مشخصی از بارش می‌تواند سیلاب را به وجود آورد (محمدی و قلی‌زاده، ۱۳۹۰: ۲۰). کمیسیون اتحادیه اروپا اثر مخاطرات ناشی از

<sup>1</sup>. Feloni et al.

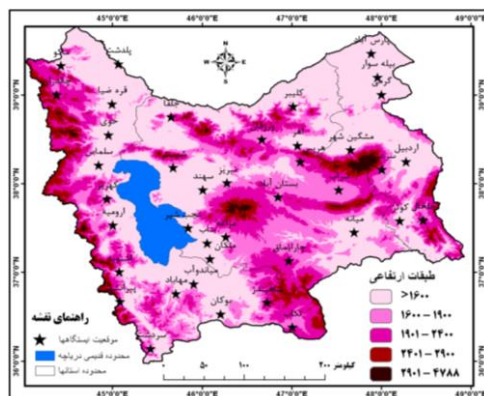
<sup>2</sup>. Evin et al.

<sup>3</sup>. Kai and Zhiwei

فرین‌های آب و هوایی را بررسی کرده و تنها عامل ایجاد کننده صدمه را عنصر بارش می‌داند (قویدل رحیمی و حاتمی، ۱۳۹۵: ۲). کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و شمال غرب آن دارای اقلیم نیمه خشک است و به دلیل حاکمیت شرایط خاص همدیدی و محیطی؛ وقوع بارش‌های سنگین باعث جاری شدن سیل و وارد آوردن خسارت‌های جانی و مالی سنگین می‌گردد.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شمال غرب ایران شامل استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اردبیل است (شکل ۱). در این تحقیق از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی و داده‌های همدیدی سطوح فوقانی استفاده شد. داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی شامل مقدار بارش در روزهای ۱۳ و ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ برای ۴۰ ایستگاه هواشناسی فعال در منطقه مورد مطالعه است. داده‌های سطوح فوقانی شامل ارتفاع ژئوپتانسیل، امگا، رطوبت ویژه، باد مداری و نصف‌النهاری و دما می‌باشند که برای ترازهای مختلف جو از داده‌های بازواکاوی شده‌ی NCEP/NCAR در قدرت تفکیک مکانی  $2/5 \times 2/5$  درجه از سایت نوا اخذ شدند. برای مطالعه بارش سنگین، ابتدا نقشه پهنه‌بندی بارش منطقه به روش درونیایی کریجینگ ترسیم شد. سپس، با استفاده از داده‌های سطوح فوقانی جو، نقشه‌های ترکیبی همدیدی ترسیم شدند. در انتها با استفاده از نمودارهای SkewT-LogP روزهای ۱۳ و ۱۴ آوریل برخی از شاخص‌های ناپایداری جو مورد بررسی قرار گرفتند. در ادامه هر یک از متغیرهای همدیدی تشریح می‌شوند: به لحاظ اهمیت اوضاع همدیدی تراز میانی جو در شناسایی سامانه‌های همدیدی، نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل و چرخندگی تراز ۵۰۰ ترسیم شد.



شکل (۱): نقشه ناهمواری‌ها و پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه

چرخندگی مهمترین عامل تشکیل و هدایت سیستم‌های سینوپتیک است (علیجانی، ۱۳۹۳: ۵۹). این پارامتر با استفاده از مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\zeta_R = \frac{\Delta v}{\Delta x} - \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $\Delta v$  تفاوت مؤلفه نصف‌النهاری باد بین دو نصف‌النهار،  $\Delta u$  تفاوت مؤلفه مداری باد بین دو مدار،  $\Delta x$  فاصله بین دو نصف‌النهار و  $\Delta y$  فاصله بین دو مدار می‌باشند. مقادیر مثبت چرخندگی باعث گردش سیکلونی و مقادیر منفی آن باعث گردش آنتی سیکلونی هوا می‌شوند (علیجانی، ۱۳۹۳: ۶۳). امگا پارامتر همدیدی دیگری است که سرعت حرکت عمودی هوا را بر حسب پاسکال بر ثانیه بیان می‌کند. لذا این پارامتر همدیدی نیز به همراه عامل چرخندگی مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که مقادیر منفی امگا بیانگر حرکات صعودی و مقادیر مثبت بیانگر جریان نزولی هوا است.

به جهت اهمیت رودبادها در ایجاد و تشدید ناپایداری‌ها در جو و از آنجایی که در ترازهای ۳۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال مسیر رودبادها مشخص‌تر می‌باشد (قویدل رحیمی، ۱۳۹۱: ۱۵۲) در این تحقیق، نقشه باد با در نظر گرفتن آستانه سرعت بیش از ۳۰ متربرثانیه در تراز ۲۵۰ هکتوپاسکال ترسیم شد. وجود رطوبت کافی در اتمسفر برای تشکیل ابر و

بارندگی ضروری است. لذا در این مطالعه به منظور بررسی مقدار موجودی رطوبت و منشاء آن از پارامتر رطوبت ویژه و وزش رطوبتی استفاده شد. به گونه‌ای که جمع رطوبت ویژه از تراز ۱۰۰۰ تا ۲۵۰ هکتوپاسکال محاسبه و نقشه‌ی آن ترسیم شد. همچنین برای بررسی دقیق‌تر جریان رطوبت در جو، تصویر ماهواره‌ی مودیس (ترا) در باند مرئی مورد استفاده قرار گرفت.

مشخص است که در وقوع بارش سنگین استیلای همزمان چرخندگی و رطوبت اتمسفری زیاد شرط لازم محسوب می‌شود. در این مطالعه به منظور بررسی دینامیک جو در این خصوص، تابع همگرایی شار رطوبت مورد استفاده قرار گرفت. فرمول محاسبه آن که توسط باناکوس و شولز<sup>۱</sup> (۲۰۰۵) ارائه شده بصورت زیر می‌باشد:

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

در این رابطه  $q$  رطوبت ویژه،  $u$  و  $v$  مؤلفه‌های مداری و نصف‌النه‌اری باد،  $x$  و  $y$  متغیرهای مستقل مکانی هستند. همچنین جمله اول وزش رطوبت و جمله دوم همگرایی رطوبت را نشان می‌دهند. تابع همگرایی شار رطوبت برحسب گرم بر کیلوگرم در ثانیه می‌باشد که مقادیر مثبت بیانگر همگرایی شار رطوبت و مقادیر منفی بیانگر واگرایی شار رطوبت می‌باشند. در مرحله بعد به منظور واکاوی تحولات همیدی در عمق اتمسفر، تغییرات زمانی شرایط عمودی جو از دو روز قبل از وقوع بارش تا دو روز بعد از خاتمه بارش به صورت پروفیل عمودی جو از تراز ۱۰۰۰ تا ۱۰۰ میلی‌باری ترسیم شد که به نمودار هوف مولر معروف است (قویدل رحیمی، ۱۳۹۱: ۱۹۶). نمودار هوف مولر مورد استفاده در این تحقیق، برای موقعیت جغرافیایی شهر تبریز (مکان وقوع بیشترین بارش) از ساعت ۰۰ گرینویچ ۱۲ آوریل تا ساعت ۰۰ گرینویچ روز ۱۶ آوریل ۲۰۱۷ ترسیم شده و شامل پارامترهای امگا، رطوبت ویژه، دما و سمت و سرعت باد برای ترازهای مختلف جو می‌باشد.

<sup>۱</sup>. Banacos and Schultz

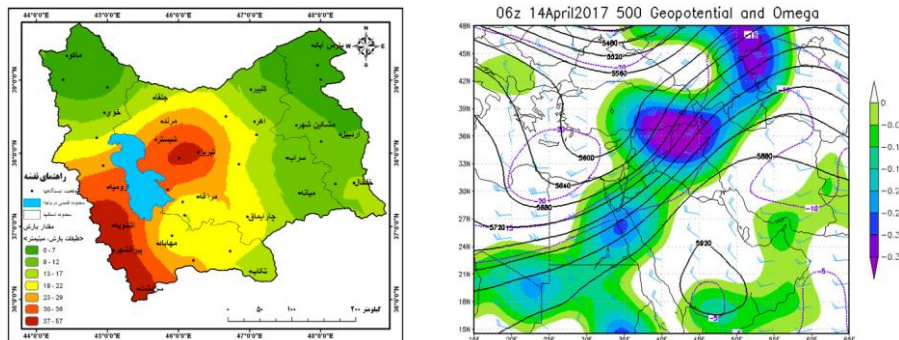


نمودار ترمودینامیک SkewT-LogP و شاخص‌های ناپایداری مستخرج از آن از دیگر اطلاعاتی است که برای بررسی شرایط دینامیکی وقوع بارش سنگین شمال غرب مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق از نمودارهای SkewT ساعت ۱۲ گرینویچ روزهای ۱۳ و ۱۴ آوریل ایستگاه جو بالای تبریز استفاده شد. شاخص‌های ناپایداری که از نمودارهای مذکور استخراج شد عبارتند از: الف- شاخص SWEAT؛ ب- شاخص KINX؛ ج- شاخص TOTL و شاخص CAPE.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

پهنه‌بندی مجموع بارش گزارش شده از ایستگاه‌های هواشناسی در روزهای ۱۳ و ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ (شکل ۲-چپ) حاکیست در اغلب مناطق شمال غرب ایران بارندگی گزارش شده است. کمترین میزان بارندگی در شمال شرق و شمال غرب منطقه مورد مطالعه و بیشترین میزان بارندگی به صورت کمربند بارشی با دو هسته‌ی بیشینه از جنوب غرب استان آذربایجان غربی شروع شده و به سمت مناطق میانی دریاچه ارومیه قدری از شدت بارندگی کاهش یافته و مجدداً در محدوده شهرستان تبریز افزایش یافته است. بطوریکه، میزان بارندگی در ایستگاه‌های تبریز، سهند، اشنویه، پیرانشهر و سردشت بین ۳۷ تا ۵۷ میلیمتر می‌باشد. با توجه به نتایج تحقیقات جهانبخش و همکاران (۱۳۹۴) که بارندگی بیش از ۳۵ میلی‌متر را به عنوان آستانه بارش‌های آبرسنگین برای استان آذربایجان شرقی تعیین کردند؛ بنابراین نمونه بارشی مورد بررسی در این تحقیق را می‌تواند در زمره‌ی بارش‌های آبرسنگین در شمال غرب کشور قلمداد کرد.

۱. نمودارهای SkewT و شاخص‌های ناپایداری از پایگاه اینترنتی دانشگاه وایومینگ ایالات متحده اخذ شده‌اند.

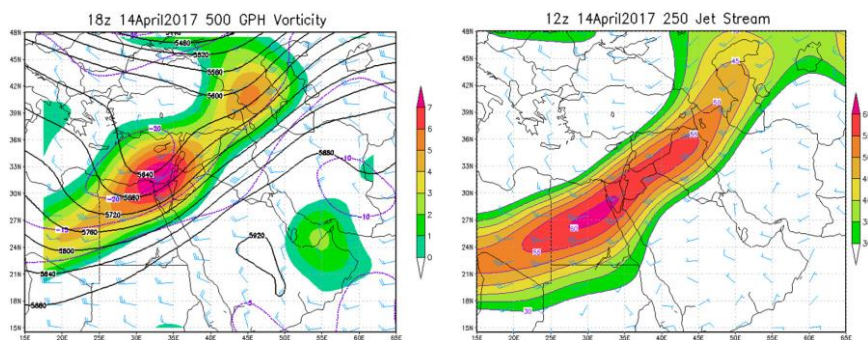


شکل (۲): (چپ) نقشه پهنه‌بندی مجموع بارش روزهای ۱۳ و ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ در منطقه مورد مطالعه؛ (راست) نقشه ترکیبی همدیدی از تراز میانی جو در ساعت ۰۶ گرینویچ روز ۱۴ آوریل ۲۰۱۷

بررسی نقشه‌های همدیدی تراز میانی جو (اشکال ۲ (راست) و ۳ (چپ)) نشان داد در زمان رخداد بارش سنگین در منطقه مورد مطالعه ناوه نسبتاً عمیقی بر روی خاورمیانه مستقر است که محور آن به صورت شمال شرقی-جنوب غربی در شرق مدیترانه واقع شده است. در این زمان شمال غرب ایران در قسمت شرقی این ناوه قرار دارد. استقرار ناوه مذکور در این ناحیه موجب نفوذ هوای سرد عرض‌های شمالی (در امتداد ناوه) و فرارفت هوای گرم عرض‌های جنوبی (در امتداد پشته) به منطقه شده که بررسی خطوط همدمای بیانگر این موضوع است. خط همدمای  $-20$  درجه تقریباً در محور ناوه بر روی مدیترانه بسته شده که بیانگر هوای سرد نفوذی از عرض‌های شمالی است. خطوط همدمای  $-15$  و  $-10$  درجه به موازات خطوط هم ارتفاع گسترش یافته و در پیشانی ناوه فشرده‌تر شده‌اند که از وجود گرادیان دمایی نسبتاً شدید حکایت می‌کند. این موضوع به همراه گرادیان فشاری شدید در قسمت پیشانی ناوه منجر به تشدید سرعت باد و واگرایی در سطوح بالا شد. این مسئله با بررسی مقادیر امگا تأیید می‌شود. براساس مقادیر امگا بیشینه حرکات صعودی در تراز میانی به میزان  $-0/3$  پاسکال در ثانیه در موقعیت شمال غرب ایران بوده است. با بررسی عامل چرخندگی نسبی در تراز میانی جو (شکل ۳-چپ) ملاحظه می‌شود در قسمت جلوی ناوه، جایی که خطوط هم ارتفاع فشرده‌ترند، تاوایی مثبت حاکم است. تاوایی مثبت در این منطقه نیرویی در جهت عمودی و به سمت بالا ایجاد کرده که موجب صعود دینامیکی هوا شده

است. حرکات صعودی مذکور با پارامتر امگای این تراز انطباق نسبی دارد. نکته جالب توجه اینکه پراکندگی مکانی بیشینه‌ی بارش در منطقه مورد مطالعه انطباق نسبتاً کاملی با هسته-ی حرکات صعودی جو دارد. بنابراین می‌توان گفت در مناطقی که شدیدترین ناپایداری حاکم بوده، بیشترین میزان بارندگی نیز رخ داده است.

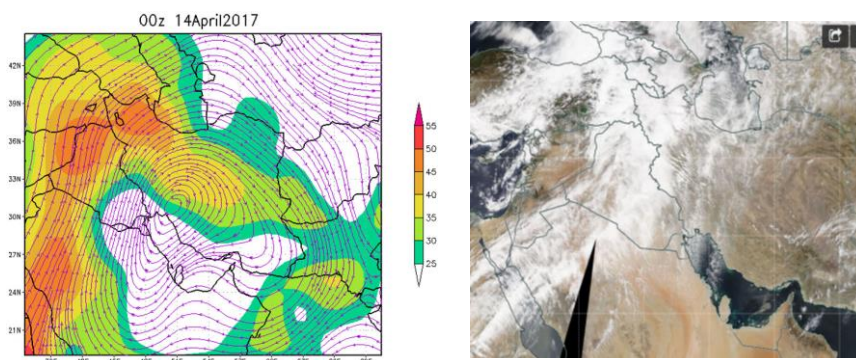
برای بررسی موقعیت و سرعت هسته رودباد؛ نقشه‌ی سرعت باد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکالی ترسیم شد (شکل ۳-راست). همانطور که ملاحظه می‌شود، رودباد جبهه قطبی با هسته مرکزی بیش از ۶۰ متر بر ثانیه از مسیر کشور مصر، شمال دریای سرخ، اردن و عراق به شمال غرب ایران کشیده شده است که کاملاً منطبق بر شرق ناوه مدیترانه بوده و در لایه-های فوقانی منطقه چرخندی ناوه جریان دارد.



شکل (۳): (چپ) نقشه تاوایی نسبی مثبت تراز ۵۰۰ میلی‌باری در ساعت ۱۸ گرینویچ؛ (راست) نقشه رودباد تراز ۲۵۰ میلی‌باری ساعت ۱۲ گرینویچ

مسلم است که در شرایط هوای ناپایدار؛ در صورت وجود رطوبت کافی، بارندگی شکل می‌گیرد. لذا در این بخش از تحقیق کل موجودی رطوبت در درون جو مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۷). در روز ۱۴ آوریل میزان قابل ملاحظه‌ای رطوبت در منطقه وجود داشته که در این میان چند هسته بیشینه مقدار رطوبت به میزان بیش از ۴۵ گرم بر کیلوگرم نشان دهنده‌ی مقدار زیادی از رطوبت قابل تبدیل به باران می‌باشد. دو هسته‌ی بیشینه‌ی رطوبت ویژه در شمال غرب ایران شکل گرفته است که این هسته‌های رطوبتی در برخورد با جریانات صعودی، بارش‌های شدید و سنگین این روز را بوجود آوردند. بررسی مسیر وزش

رطوبت نشان داد، رطوبت از مسیر دریای سرخ به سمت منطقه مورد مطالعه منتقل شده است.

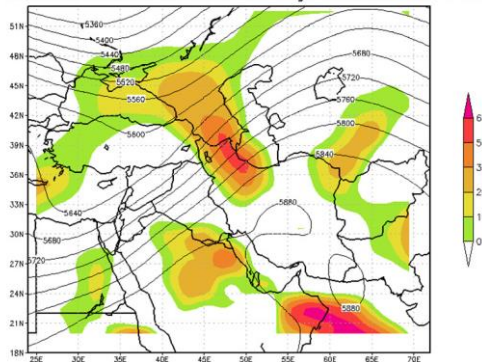


شکل (۴): (چپ) نقشه رطوبت ویژه و وزش رطوبتی. (راست) تصویر ماهواره مودیس (ترا)

تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه (شکل ۴-راست) نیز پوشش ابر را در زمان رخداد بارش نشان می‌دهد. ابرها در راستای مسیر وزش رطوبتی و جریانات سطوح فوقانی جو تشکیل شده‌اند. طبق انتظار در منطقه شمال غرب ایران به دلیل نفوذ رطوبت کافی و ناپایداری پوشش ابری قابل ملاحظه‌ای ایجاد شده است.

برای بررسی دینامیک جو در تبدیل رطوبت اتمسفر به بارندگی از تابع همگرایی شار رطوبت استفاده شد. تابع همگرایی شار رطوبت به صورت میانگین سطوح ۸۵۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال در شکل ۵ نشان داده شد. طبق این نقشه همگرایی شار رطوبت در شمال غرب ایران مثبت و مقدار نسبتاً بالایی می‌باشد، بطوریکه مقدار بیشینه آن در این ناحیه به ۶۵ گرم بر کیلوگرم در ثانیه می‌رسد.

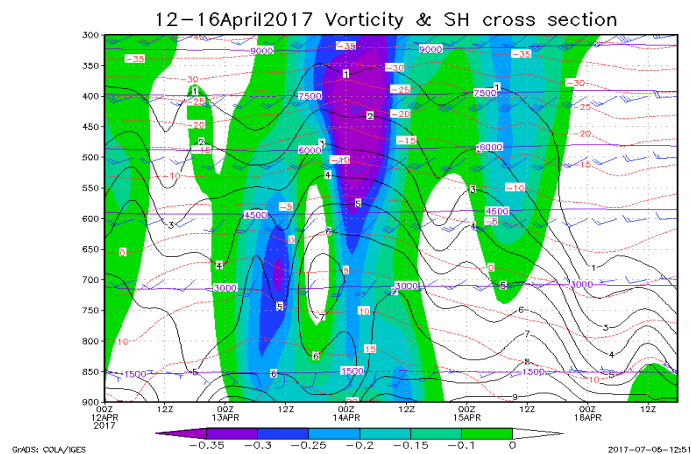
14 April 2017 850-300 Level Mean Convergence of Moisture Flux



شکل (۵): تابع همگرایی شار رطوبت برای سطوح ۸۵۰ تا ۳۰۰ هکتوپاسکال

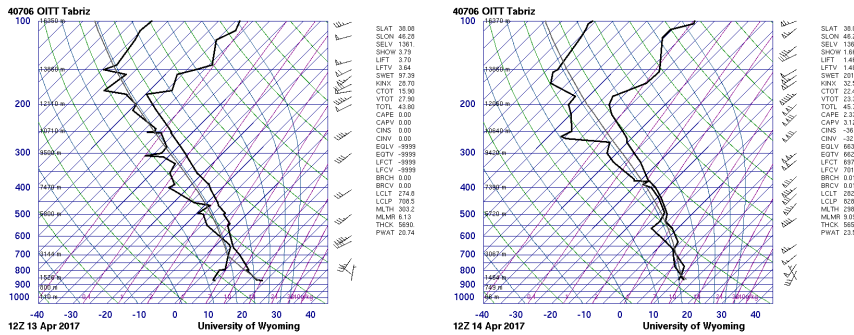
به منظور مطالعه تحولات درونی اتمسفر در هنگام گذر سامانه بارشی؛ تغییرات پارامترهای مهم جوی به صورت برش قائم از جو مابین تراز ۹۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌باری از دو روز قبل از وقوع بارش تا دو روز بعد از خاتمه بارش ترسیم گردید (شکل ۶). همانطور که در شکل مشخص است مقدار امگا از اوایل روز ۱۳ آوریل تا اواخر روز ۱۴ آوریل مقادیر منفی را نشان می‌دهد که بیانگر حاکمیت شرایط جوی ناپایدار در این روزهاست. در این میان دو هسته پیشینه حرکات صعودی قابل تشخیص است که اولی به شکل نسبتاً ضعیف در لایه‌های زیرین تراز میانی جو (یعنی ۸۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌باری) و قبل از ظهر روز ۱۳ آوریل حاکم بوده و دیگری به شکل کاملاً توسعه یافته از لایه‌های زیرین تراز میانی (۶۰۰ میلی‌باری) تا تراز فوقانی جو (۳۰۰ میلی‌باری) در طول روز ۱۴ آوریل حاکم بوده است. سرعت پیشینه‌ی حرکات صعودی در این روز بیش از ۰/۳۵ پاسکال در ثانیه بوده است. بررسی میزان رطوبت موجود حاکیست هر چند که از قبل نیز رطوبت نسبتاً زیادی در لایه‌های میانی جو وجود داشته است اما از روز ۱۳ آوریل مقدار موجودی در اغلب لایه‌ها به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. این ادعا از طریق افزایش مقادیر رطوبت ویژه و انحنای خطوط هم‌ارزش رطوبتی به سمت ترازهای بالاتر اثبات می‌شود. نکته قابل توجه اینکه بیشترین میزان موجودی رطوبت جو با شدیدترین حرکات صعودی هوا در روز ۱۴ ام به طور همزمان اتفاق افتاده است. مسئله قابل تأمل دیگر در این میان نوسانات درجه حرارت هواست. خطوط

همدما در همه ترازهای جوی در روزهای ۱۳ و ۱۴ آوریل انحنای خفیفی به سمت ترازهای فوقانی جو دارند که بیانگر افزایش نسبی دما در لایه‌های مختلف جو در روزهای مذکور است. افزایش نسبی دما و همچنین افزایش مقدار رطوبت در این روزها به دلیل فرارسیدن جریان هوایی گرم و مرطوب دریای سرخ به شمال غرب ایران است که در شکل ۴ مورد تحلیل قرار گرفت. به لحاظ استقرار حرکات صعودی از ترازهای نزدیک سطح زمین تا ترازهای فوقانی در روز ۱۴ آوریل؛ ضمن مشارکت رطوبت موجود در تمامی ترازهای جوی در تشکیل ابر و بارندگی، درجه حرارت هوا نیز در محدوده‌ی ارتفاعی فعالیت بیشینه‌ی حرکات صعودی (یعنی ۶۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌باری) بین صفر تا ۳۵- درجه سانتیگراد بوده است. این مسئله در تسریع فرایند تراکم و نهایتاً افزایش شدت بارش بسیار مؤثر بوده است. اما به دلیل استقرار هوای گرم در لایه زیرین جو (پایین‌تر از تراز ۶۵۰ میلی‌باری) منجر به بارش تگرگ یا برف نشد. عامل همدیدی اثرگذار دیگر، جریان همزمان هسته رودباد قطبی در شمال غرب ایران است. همانطور که در شکل ۶ مشخص است در محدوده‌ی فعالیت بیشینه امگای منفی در روز ۱۴ آوریل سرعت باد در سطوح فوقانی به بیش از ۴۰ متربرثانیه رسیده است که از فعالیت رودباد حکایت دارد. رودباد مذکور به سمت ترازهای زیرین عمیق شده است به گونه‌ای که سرعت وزش باد در ترازهای میانی جو بیش از ۳۰ متربرثانیه بوده است. استیلای هسته رودباد ضمن ایجاد واگرایی در لایه‌های فوقانی؛ باعث عمیق‌تر شدن جریان‌ات صعودی هوا (ایجاد ناپایداری از ترازهای نزدیک سطح زمین تا ترازهای فوقانی در ارتفاعی نزدیک به ۸۰۰۰ ژئوپتانسیل‌متر) شد. مهمتر از همه اینکه فعالیت هسته رودباد باعث جابجایی هسته‌ی بیشینه‌ی حرکات صعودی به ترازهای بالاتر شده است که قبلاً نقش آن در تشدید بارش‌های شمال غرب تشریح شد. براساس شکل ۶ از اواخر روز ۱۴ آوریل، با رد شدن منطقه چرخندی ناوه از فراز شمال غرب ایران به دلیل حرکت شرق سوی هسته رودباد و تضعیف وزش رطوبتی دریای سرخ؛ و نهایتاً با بی‌رمق شدن حرکات صعودی هوا بارندگی‌ها در شمال غرب ایران خاتمه یافت.



شکل (۶): نمودار ترکیبی همیدی از برش عمودی جو (معروف به نمودار هوف-مولر) از ۱۲ تا ۱۶ آوریل ۲۰۱۷ در شمال غرب ایران؛ در این نمودار سایه‌رنگ‌ها نشان‌دهنده‌ی مقادیر امگای منفی (پاسکال در ثانیه)، خطوط ممتد سیاه نشانگر مقدار رطوبت ویژه (برحسب گرم در کیلوگرم)، خط‌چین‌های قرمز درجه حرارت هوا (برحسب درجه سانتیگراد) و خطوط ممتد بنفش که به موازات ترازهای جوی کشیده شده‌اند ارتفاع ژئوپتانسیلی را نمایش می‌دهند.

در این مطالعه برای بررسی شرایط ترمودینامیکی جو در روزهای ۱۳ و ۱۴ آوریل در شمال غرب ایران از داده‌های جو بالای شهر تبریز در شکل ۷ و جدول ۱ ارائه شد. در این نمودارها، با توجه به اختلاف کم دمای نقطه شبنم (خط ممتد سیاه و ضخیم سمت چپ) از دمای خشک (خط ممتد سیاه و ضخیم سمت راست) در سطوح مختلف جو، وجود رطوبت اتمسفری قابل ملاحظه در هر دو روز اثبات می‌شود لکن مقدار رطوبت در روز ۱۴ آوریل مخصوصاً در تراز ۵۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌باری نزدیک به اشیاع بوده است. محتویات رطوبت جو در روز ۱۳ آوریل به صورت یکدست از تراز ۷۰۰ تا بالای ۲۰۰ میلی‌باری پخش شده است اما در روز ۱۴ بیشترین مقدار رطوبت در زیر تراز ۴۰۰ میلی‌باری متمرکز شده است. بنابراین شرایط تشکیل ابر و بارش از نظر تأمین رطوبت در هر دو روز فراهم بوده و تراکم بیشتر رطوبت در روز ۱۴م وقوع بارش‌های شدیدتر را توجیه می‌کند.



شکل (۷): نمودارهای ترمودینامیک اسکویته ایستگاه جو بالای تبریز برای ساعت ۱۲ گریونچ روزهای ۱۳ و ۱۴ آوریل ۲۰۱۷

جدول (۱): اطلاعات مربوط به شاخص‌های ناپایداری جو

۱۴ آوریل		۱۳ آوریل		شاخص‌ها
مقدار	شرایط ناپایداری	مقدار	شرایط ناپایداری	
۲۰/۱	کمی شدید	۹۷/۳۹	پایداری	SWEAT
۳۲/۵۰	۶۰-۸۰ درصد	۲۸/۷۰	۴۰-۶۰ درصد	KINX
۴۵/۷۰	احتمال وقوع طوفان تندی	۴۳/۸۰	احتمال همرفت وجود ندارد	TOTL
۲/۳۳	ناپایداری	۰/۰۰	پایداری	CAPE

بررسی چینش قائم باد در روزهای مورد بررسی حاکیست که در روز ۱۳ آوریل رودباد ضعیف با بیشینه سرعت ۳۰ متربرثانیه در تراز ۱۵۰ میلی‌باری جریان داشته است. اما در روز ۱۴ آوریل شرایط جوی از این نظر بسیار متفاوت بوده است. بیشینه سرعت باد با ۶۰ متربرثانیه به تراز ۲۵۰ میلی‌باری جابجا شده است. نکته بسیار مهم این است که در این روز هسته رودباد به ترازهای پایین‌تر جو عمیق شده و تا نزدیک سطح زمین نفوذ کرده است. همانطور که در نمودار اسکویته مشخص است سرعت باد در ترازهای بالاتر از ۷۰۰ میلی-باری از آستانه سرعت رودباد (۳۰ متربرثانیه) فراتر بوده است. همانطور که در شاخص‌های ناپایداری جو مستخرج از داده‌های اسکویته (جدول ۱) مشخص است در روز ۱۳ آوریل



تقریباً همه شاخص‌های مورد استفاده شرایط پایداری در جو را نشان می‌دهند در حالیکه در روز ۱۴ ام همه‌ی شاخص‌ها شرایط ناپایدار را تأیید می‌کنند. در این میان شاخص Total، احتمال وقوع توفان تندی را نشان می‌دهد که طبق گزارشات هوای حاضر (WW) ایستگاه تبریز این پدیده با آهنگ شدید (+TSRA) به همراه ابرهای جوشی توسعه یافته در اوایل شب مخابره شد. به طور کلی می‌توان چنین استنباط کرد که در روز ۱۴ آوریل شرایط ترمودینامیکی جو نیز به موازات دینامیک جو در ایجاد هوای ناپایدار و یا تشدید آن دخالت داشته است. اما در روز ۱۳ ام شرایط ترمودینامیکی جو هم‌راستا با دینامیک جو نبوده و اغلب به شرایط پایداری میل کرده است. بدین جهت میزان و شدت بارندگی‌ها در روز ۱۴ ام بیشتر از ۱۳ آوریل بوده است.

### یافته‌ها و بحث

همانطور که در مقدمه نیز بیان گردید، در رخداد بارش‌های سنگین در مناطق مختلف، عوامل متعددی تأثیرگذار می‌باشند. طبق نتایج حاصل از این تحقیق نیز عوامل مختلفی برای بارش سنگین ۱۴ آوریل شمال غرب ایران ذکر گردید. بطور کلی، اغتشاشات سطوح فوقانی جو از عوامل اصلی بارش سنگین بیان شد که از این نظر نتایج همسو با مطالعات و پژوهش‌های پیشین می‌باشد. اما بطور دقیق‌تر، در این تحقیق فرود عمیق دریای مدیترانه که تا شمال آفریقا گسترش یافته و شار رطوبت از دریای سرخ جزء عوامل اصلی بارش سنگین شناسایی شدند که می‌توان گفت این نتایج در راستای نتایج مطالعات لشکری و خوزانی (۱۳۸۹)، قانیدی و همکاران (۱۳۹۱)، خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۳)، بلیانی و سلیقه (۱۳۹۵) و خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۵) می‌باشند.

### نتیجه‌گیری

در روز ۲۴ فروردین ۱۳۹۶ (مصادف با ۱۴ آوریل ۲۰۱۷) به دلیل وقوع بارندگی شدید و جاری شدن سیل خسارت‌های مالی و جانی چشمگیری به برخی از مناطق شمال غرب ایران وارد شد. این تحقیق به منظور مطالعه سازوکارهای همدیدی وقوع این بارش انجام شد. به طور خلاصه نتایج حاصل از تحقیق حاضر حاکیست که سازوکارهای همدیدی مؤثر در وقوع بارش سنگین روز ۱۴ آوریل ۲۰۱۷ را می‌توان در ۴ دسته طبقه‌بندی کرد: الف-

برخورد منطقه چرخندی ناوه‌ی مدیترانه با جریان وزش رطوبتی دریای سرخ در شمال غرب کشور؛ اصلی‌ترین عامل همدیدی است که با ترکیب هوای سرد و نسبتاً مرطوب عرض‌های بالا با هوای گرم و مرطوب عرض‌های پایین جغرافیایی باعث رخداد بارش سنگین در منطقه مورد مطالعه شد. عوامل تأثیرگذار دیگر عامل تقویت کننده ناپایداری بوده‌اند که در تشدید حرکات صعودی، تشدید فرایند تراکم و وقوع بارش نقش داشته‌اند. ب- گذر همزمان هسته رودباد قطبی در فراز منطقه چرخندی ناوه و عمیق شدن آن به ترازهای پایین جو تا سطح ۷۰۰ میلی‌باری؛ سازوکار همدیدی دیگری است که به لحاظ سرعت زیاد وزش باد در هسته (۶۰ متربرثانیه) باعث تشدید واگرایی در سطوح فوقانی گردید. ج- استقرار سلول پیشینه حرکات صعودی در ترازهای بالاتر جو در روز ۱۴ آوریل باعث صعود رطوبت به ارتفاعات بالاتر از ۷۵۰۰ ژئوپتانسیل متری گردید که به لحاظ وجود هوای بسیار سرد (پایین-تر از ۲۰- درجه سانتیگراد) باعث تشدید فرایند تراکم و تشکیل ابر و نهایتاً بارندگی شد. د- همراهی و هم‌راستا بودن شرایط ترومودینامیکی با دینامیک جو در ایجاد شرایط ناپایدار جوی در شمال غرب ایران؛ عامل دیگری است که نقش اثربخش آن به لحاظ گزارش پدیده‌ی رگبار شدید باران همراه با رعدوبرق در ایستگاه هواشناسی تبریز به اثبات می‌رسد.

## منابع

- احمدی، محمود؛ جعفری همبری، فرزانه. (۱۳۹۴)، «واکاوی بارش فوق سنگین ۲۳ اسفند ۱۳۹۲ مولد سیلاب مخرب در شهرستان بندرعباس»، *فصلنامه دانش مخاطرات*، دوره ۲، شماره ۳، صص ۳۰۷-۳۲۶.
- احمدی، محمود و جعفری همبری، فرزانه، (۱۳۹۵)، «تحلیل همدیدی سیل ویرانگر تیرماه ۱۳۹۴ شمال ایران»، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، دوره ۹، شماره ۳۴، صص ۸۳-۱۰۴.
- امیدوار، کمال؛ الفتی، سعید؛ اقبالی بابادی؛ فریبا؛ مرادی، خدیجه (۱۳۹۲)، «واکاوی ترمودینامیکی بارش‌های سنگین ناشی از پدیده سردچال در نواحی مرکزی و جنوب غرب ایران»، *فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، دوره ۲، شماره ۵، صص ۱۹-۱.
- براتی، غلامرضا؛ مرادی، محمد؛ سلیمی، رقیه (۱۳۹۴)، «واکاوی همدید بارش‌های سنگین بهاره استان زنجان»، *مجله مخاطرات محیطی طبیعی*، دوره ۴، شماره ۶، صص ۷۷-۸۸.
- بلیاتی، سعید و سلیقه، محمد (۱۳۹۵)، «تحلیل و استخراج الگوهای جوی منجر به بارش‌های سنگین روزانه منطقه شمالی خلیج فارس»، *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، دوره ۳، شماره ۲، صص ۷۹-۹۸.
- حلبیان، امیرحسین؛ دهقانپور، علیرضا؛ عاشوری قلعه رودخانه، زینب (۱۳۹۵)، «تحلیل همدید بارش‌های حدی و فراگیر در کرانه‌های شرقی خزر»، *فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، دوره ۵، شماره ۱۹، صص ۳۷-۵۷.
- خورشیددوست، علی محمد؛ مفیدی، عباس؛ رسولی، علی اکبر و کامل آزر (۱۳۹۵)، «تحلیل همدیدی سازوکار وقوع بارش‌های سنگین بهاره در شمال غرب ایران»، *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، سال پنجم، شماره هشتم، صص ۵۳-۸۲.
- خوش اخلاق، فرامرز؛ صفایی راد، رضا؛ سلمانی، داود (۱۳۹۳)، «واکاوی همدید رخداد سیلاب آبان ماه ۱۳۹۰ در شهرستان‌های بهبهان و لیکک»، *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، دوره ۴۶، شماره ۴، صص ۵۰۹-۵۲۴.
- فرج زاده، منوچهر (۱۳۹۲)، «مخاطرات اقلیمی ایران»، چاپ ۱، تهران: انتشارات سمت.

- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۹۱)، «نگاشت و تفسیر سینوپتیک اقلیم با استفاده از نرم‌افزار GRADS»، چاپ ۲، تهران، انتشارات سهادانش.
- قویدل رحیمی، یوسف؛ حاتمی، داریوش (۱۳۹۵)، «تحلیلی از اوضاع جوی بارش سنگین منجر به مخاطره سیل ۸ اسفند ماه ۱۳۸۸ ایوان غرب»، فصلنامه فضای جغرافیایی، دوره ۱۶، شماره ۵۵، صص ۱۶-۱.
- علیجانی، بهلول (۱۳۹۳)، «اقلیم‌شناسی سینوپتیک»، چاپ ۸، تهران: انتشارات سمت.
- عساکره، حسین (۱۳۹۱)، «تحلیل روند بارش‌های سنگین زنجان»، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۶، شماره ۳۹، صص ۷۳-۸۸.
- قائدی، سهراب؛ موحدی، سعید؛ مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۹۱)، «رابطه فرود دریای سرخ با بارش‌های سنگین ایران»، فصلنامه جغرافیا و پایداری محیط، دوره ۲، شماره ۲، صص ۱۸-۱.
- لشکری، حسن و پرند خوزانی، اکرم، (۱۳۸۹)، «بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زا در جنوب کشور»، فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۶، شماره ۱، صص ۷۳-۶۶.
- محمدی، بختیار و قلی‌زاده، محمدحسین (۱۳۹۰)، «تحلیل شرایط جبهه‌زایی در زمان بارش‌های سنگین کردستان»، فصلنامه فضای جغرافیایی، دوره ۱۱، شماره ۳۵، صص ۳۶-۱۹.
- مسعودیان، سید ابوالفضل و محمدی، بختیار، (۱۳۸۹)، «تحلیل همدید بارش‌های سنگین ایران مطالعه موردی آبان ماه ۱۳۷۳»، فصلنامه جغرافیا و توسعه، دوره ۸، شماره ۱۹، صص ۷۰-۴۷.
- مسعودیان، سید ابوالفضل و کارساز، سکینه (۱۳۹۳)، «تحلیل همدید الگوهای ضخامت بارش‌های سنگین ناحیه زاگرس جنوبی»، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۱۲، شماره ۳۷، صص ۲۸-۱۵.
- نوری، حمید و ایلدرمی، علیرضا (۱۳۹۱)، «تحلیل شرایط همدید و دینامیک رویدادهای بارش سنگین سواحل جنوبی دریای خزر در مقایسه با ایران زمین»، فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۶، شماره ۴۱، صص ۲۳۶-۱۹۷.
- Banacos, P., Schultz, D., (2005), "The use of moisture flux convergence in forecasting convective initiation: Historical & Operational Perspectives", *Weather Forecasting*, 20, pp. 351-366.

- Evin, G., Balanchet, J., Paquet, E., Garavaglia, F., Penot, D., (2016), "A regional model for extreme Rainfall based on weather patterns subsampling", *Journal of Hydrology*, 541, pp. 1185-1198.
- Feloni, E., Nastos, P.T., Mastanguras, I., (2016), "Seasonal Synoptic characteristics of heavy rain events In the Attica region", *13<sup>th</sup> International Conference on Meteorology Climatology and Atmospheric Physics*, pp. 1-16.
- Hidayat, R., Pawitan, H., Aldrian, E., Nuryanto, D., (2016), "Heavy Rainfall distributions over Java Sea in wet season", *Procedia Environmental Sciences*, 33, pp. 178-186.
- John, M.P., Pauls, J.R., (2014), "Synoptic Control of Heavy –Rain Producing Convective Training Episodes", *MONTHLY WEATHER REVIEW*, pp. 2464-2482.
- Kai, Y., Zhiwei, Z., (2017), "A pair of new moisture dynamic diagnostic parameters for Heavy rain location", Springer- verlag Wien.
- Li L., Albertus J. D., (2015), "Trajectory Analysis of the Heavy rain in Beijing", *Earth and Climate Cluster*, pp. 23-24.
- Marek, K., Miloslav, Muller., (2010), "Variants of synoptic-scale patterns inducing heavy Rains in the Czech Republic", *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, pp. 477-483.
- Mubarak, H.E., Varshosaz, K., (2011), "The Divergence Field in Western Iran Heavy Rain Associated with Central Mediterranean Cyclone", *Advances in Environmental Biology*, pp. 3425-3433.
- Michael J. P., James S.R., Caroline C.U., Peter R.B., (2014), "A synoptic climatology of heavy rain events in the Lake Eyre and Frome catchments Frontiers in Environmental Science", *Atmospheric Science*.
- Oliveria P.T., Lima K.C., Santos E.S., (2013), "Synoptic environment associated with heavy rainfall events on the coastland of Northeast Brazil", *Advances in Geoscience*, 35, pp. 73-78.

- Richard H.G., Michael K., (2010), “The Historic Synoptic-Hybrid rainfall event”, *National Weather Service State College*, PA 1680330.
- Sarat C.K., Sarita T., (2015), “Model simulations of heavy precipitation in Kashmir-India, in September 2014”, *National Hazards* 81, pp. 167-188.