



Research Article

Identifying and tracking cut-off lows effective in Iranian heavy rains

Shahram Lotfi Qaranchai¹, Tayebeh Akbari Azirani*¹ , Alireza Shakiba², Ameneh DashtBozorgi², Fatemeh Rabbani³

1-Department of Physical Geography, Faculty of earth sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2-Department of R.S. and GIS Studies, Faculty of earth sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3-Payam Noor University, Parand Branch, Tehran, Iran

Received: 06 Aug 2023 Accepted: 12 Jul 2024

Extended Abstract

Introduction

Cut-off lows are cold -core cyclones in the upper troposphere that are identified as local minimums of geopotential elevation fields in the range of 500 and 200 hPa (Nito et al, 2008; Pinheiro et al, 2017; Muñoz et al, 2020). Cut-off lows occur in most seasons, often in late winter and early spring. One of the synoptic patterns affecting temperature and precipitation as well as heavy rainfall in Iran is cut-off lows. This study has been compiled according to the importance and relationship between cut-off lows and heavy rainfall in the statistical period of 33 years (1986-2018). In this study, the climatology of cut-off lows systems at the level of 500 hPa of the northern hemisphere effective on heavy rainfall in Iran has been discussed. The ECMWF reanalysis data were used to identify and track cut-off lows that lasted for more than 48 hours in the statistical period of 33 years (1986-2018). For this purpose, geopotential, wind, and temperature data also were used.

Materials and Methods

In this study, from the average daily data: Geopotential height, wind orbit, and temperature level of 500 hPa of the re-analyzed ECMWF European site with a grid step of 0.125 * 0.125 in the statistical period of 33 years (1986-2018) Used in areas including 0 to 80 degrees north latitude and 0 to 80 degrees east longitude. The Tibaldi-Multney index was used to identify Cut-Off low. And the Cut-Off lows that were effective in Iran's heavy rainfall were studied.

Results and Discussion

Annual, monthly and seasonal distribution of cut-off lows during the statistical period

In the statistical period of 33 years (1986-2018), a total of 632 cut-off lows with a lifespan of 2 days and more were identified. The average was 18.87 days for each year. The trend line or regression during the statistical period shows that the amount of cut-off lows is increasing.

Citation: Lotfi Qaranchai, Sh. et al, 2024. Identifying and tracking cut-off lows effective in Iranian heavy rains, *Res. Earth. Sci.* 15(3), (137-155) DOI: 10.48308/esrj.2023.103188

* Corresponding author E-mail address: T_akbari@sbu.ac.ir





The share of cut-off lows in heavy rainfall in the four regions of Iran

In the northwestern region of Iran, the highest percentage of the effect of shear compressions on heavy rainfall is in Kashan, Takab, Mahabad, Maragheh, and Tabriz stations, respectively. The lowest percentage of the impact of this phenomenon on heavy rainfall was in Khorramabad, Karaj, Babolsar, and Parsabad stations, respectively. In the southeast region, the highest percentage in Chabahar, Bandar Abbas, and Sirjan stations and the lowest percentage were in Jask, Zabol, and Khash stations. In the southwestern region, the highest effect is in Bushehr and Kish stations and the least effect is in Omidieh and Masjed Soleiman stations. In the Northeast, the highest share was in Birjand, Ferdows, and Tabas stations and the lowest impact was in Gorgan, Mashhad, Quchan, and Bojnourd stations.

The amount of heavy rainfall and the effect of cut-off lows in it in different regions and Iran

The highest occurrence of heavy rainfall due to cut-off lows was in the northwest region with (36.62 occurrences) and the lowest in the southeast region with (8.5 occurrences). In research study stations (76 stations), the frequency of heavy rainfall during the study period was average (124.76 events) and the effect of shear cut-off lows on heavy rainfall in total (26.1 events) in the station has been.

Conclusion

A total of 632 cut-off lows with a lifespan of 2 days or more were identified in the research area. The trend line of the statistical period has a slight positive and increasing slope; the most occurrences of cut-off lows is in October, March, and January. The lowest incidence of cut-off lows is in July, August, and June. Seasonally, the highest number of cut-off low events was in spring, winter, and autumn. The highest occurrence of heavy rainfall under the influence cut-off lows was in the northwest region and the lowest in the southeast region during the study period. Therefore, it can be concluded that the entry of cut-off lows from the northwest and the proximity of the northwest region to the formation location of cut-off lows may be a factor contributing to the highest frequency of heavy precipitation events influenced by cut-off lows. Furthermore, the distance of the southeast region from cut-off lows indicates a lesser impact of this phenomenon on heavy precipitation in this area.

Keywords: IRAN, Heavy Rain, Jet Stream, Index (TIBALDI - MULTENI), Cut-Off Lows.



شناسایی و ردیابی کم‌ارتفاع‌های بریده موثر در بارش‌های سنگین ایران

شهرام لطفی قرانچای^۱، طیبه اکبری ازیرانی^{۱*} , علیرضا شکیبیا^۲، آمنه دشت‌بزرگی^۲، فاطمه ربانی^۳

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- دانشگاه پیام نور تهران، واحد پرند، تهران، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۲۲

چکیده گسترده

مقدمه

کم‌ارتفاع‌های بریده، سیکلون‌های هسته سرد در وردسپهر فوقانی هستند که معمولاً به عنوان کمینه‌های محلی میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در محدوده سطوح ۵۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال شناسایی می‌شوند (Muñoz et al, 2020; Pinheiro et al, 2017; Nito et al, 2008). کم‌ارتفاع‌های بریده در بیشتر فصول سال و اغلب در اواخر زمستان و اوایل بهار جلوه می‌کنند. یکی از الگوهای همدیدی موثر در دما و بارش و همچنین بارش‌های سنگین در ایران، کم‌ارتفاع‌های بریده هستند. این پژوهش با توجه به اهمیت و ارتباط بین کم‌ارتفاع‌های بریده و بارش‌های سنگین در دوره آماری ۳۳ ساله (۲۰۱۸-۱۹۸۶) تدوین شده است. در این پژوهش به اقلیم‌شناسی سیستم‌های کم‌ارتفاع بریده سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نیم‌کره شمالی موثر در بارش سنگین ایران پرداخته شد. برای شناسایی و ردیابی کم‌ارتفاع‌های بریده از داده‌های بازتحلیل شده سایت ECMWF، و کم‌ارتفاع‌های بریده با عمر بیش از ۴۸ ساعت در دوره آماری ۳۳ سال (۲۰۱۸-۱۹۸۶) استفاده شد. داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز برای تحلیل همدید به کار رفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های متوسط روزانه: ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بازتحلیل شده ECMWF سایت اروپا با گام شبکه‌ای ۰/۱۲۵ * ۰/۱۲۵ درجه‌ای در دوره آماری ۳۳ سال (۱۹۸۶-۲۰۱۸) در منطقه‌ای شامل ۰ تا ۸۰ درجه عرض شمالی و ۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی استفاده شد. برای شناسایی کم‌ارتفاع‌های بریده از شاخص تیبالدی-مولتنی استفاده گردید. و کم‌ارتفاع‌های بریده‌ای که در بارش سنگین ایران موثر بودند مورد مطالعه قرار گرفت.

نتایج و بحث

توزیع سالانه، ماهانه و فصلی کم‌ارتفاع‌های بریده در طول دوره آماری

در دوره آماری ۳۳ سال (۱۹۸۶-۲۰۱۸) در مجموع ۶۳۲ رخداد کم‌ارتفاع بریده با طول عمر ۲ روز و بیشتر با میانگین ۱۸/۸۷ رخداد برای هر سال شناسایی شد. خط روند یا رگرسیون در طول دوره آماری نشان می‌دهد مقدار کم‌ارتفاع‌های بریده رو به افزایش است.

استناد: لطفی قرانچای، ش. و همکاران، ۱۴۰۳. شناسایی و ردیابی کم‌ارتفاع‌های بریده موثر در بارش‌های سنگین ایران، پژوهشهای

دانش زمین: ۱۵(۳)، (۱۳۷-۱۵۵)، DOI: 10.48308/esrj.2023.103188

E-mail: T_akbari@sbu.ac.ir

* نویسنده مسئول:



سهم کم‌ارتفاع بریده در بارش سنگین مناطق چهارگانه ایران

در منطقه شمال غرب ایران بیشترین درصد اثر کم‌ارتفاع‌های بریده بر بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های کاشان، تکاب، مهاباد، مراغه و تبریز و کمترین درصد تاثیر این پدیده در بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های خرم‌آباد، کرج، بابلسر و پارس‌آباد بود. در منطقه جنوب شرق بیشترین درصد تاثیر در ایستگاه‌های چابهار، بندرعباس و سیرجان و کمترین درصد تاثیر در ایستگاه‌های جاسک، زابل، خاش بوده است. در منطقه جنوب غرب بیشترین درصد تاثیر در ایستگاه‌های بوشهر و کیش و کمترین تاثیر در ایستگاه‌های امیدیه و مسجدسلیمان است. در شمال شرق بیشترین درصد تاثیر در ایستگاه‌های بیرجند، فردوس و طبس و کمترین تاثیر در ایستگاه‌های گرگان، مشهد، قوچان و بجنورد بوده است.

مقدار بارش سنگین و تاثیر کم‌ارتفاع بریده در آن در مناطق مختلف و ایران

بیشترین رخداد بارش سنگین در اثر کم‌ارتفاع بریده در منطقه شمال غرب با (۳۶/۶۲ رخداد) و کمترین در منطقه جنوب شرق با (۸/۵ رخداد) بوده است. در ایستگاه‌های مطالعاتی پژوهش (۷۶ ایستگاه) نیز فراوانی رخداد بارش سنگین در طول دوره مطالعاتی به‌طور میانگین (۱۲۴/۷۶ رخداد) بوده است و تاثیر کم‌ارتفاع بریده در بارش سنگین در کل (۲۶/۱ رخداد) در ایستگاه‌ها بوده است.

نتیجه‌گیری

در مجموع ۶۳۲ کم‌ارتفاع بریده با طول عمر ۲ روز و بیشتر در منطقه پژوهش شناسایی شد. خط روند طول دوره آماری دارای شیب ملایم مثبت و افزایشی است، بیشترین رخداد کم‌ارتفاع بریده در ماه‌های اکتبر، مارس و ژانویه است. کمترین فراوانی رخداد کم‌ارتفاع بریده در ماه‌های جولای، آگوست و ژوئن است. از لحاظ فصلی، بیشترین تعداد رخداد کم‌ارتفاع بریده در فصول بهار، زمستان و پاییز بود. همچنین بیشترین رخداد بارش سنگین تحت تاثیر کم‌ارتفاع بریده در منطقه شمال غرب و کمترین در منطقه جنوب شرق در طول دوره مطالعاتی بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ورود کم‌ارتفاع‌های بریده از شمال غرب و نزدیکی منطقه شمال غرب به محل تشکیل کم‌ارتفاع‌های بریده می‌تواند عامل فراوانی بیشترین رخداد بارش سنگین تحت تاثیر کم‌ارتفاع بریده باشد. همچنین دوری منطقه جنوب شرق از کم‌ارتفاع‌های بریده، تاثیر کم این پدیده در بارش سنگین این منطقه را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: ایران، بارش سنگین، رودباد، شاخص (تیبالدی - مولتنی)، کم‌ارتفاع بریده.

مقدمه

مناطق قطبی به عرض‌های متوسط به صورت چرخه‌ای در گردش هستند (Wernli and Sprenger, 2007). اکثر کم‌ارتفاع‌های بریده دارای مقیاس‌های مکانی و زمانی همدیدی در حدود صدها کیلومتر و چندین روز هستند (Muñoz et al, 2020; Singleton and Reason, 2007; Fuenzalida et al, 2005; Nieto et al, 2005; Kentarchos and Davies, 1998). کم‌ارتفاع‌های بریده در بیشتر فصول سال و اغلب در اواخر زمستان و اوایل بهار جلوه می‌کنند و ویژگی‌ها و مکانیسم فرود اولیه ایجاد کننده خود را تا پایان حیات خود حفظ می‌کنند. در مدت حضور کم‌ارتفاع بریده

کم‌ارتفاع‌های بریده (پدیده سردچال)، سیکلون‌های هسته سرد در وردسپهر فوقانی هستند که معمولاً به عنوان کمینه‌های محلی میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیل در محدوده سطوح ۵۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال شناسایی می‌شوند (Muñoz et al, 2020; Pinheiro et al, 2017; Nito et al, 2008). به‌طور خاص، کم‌ارتفاع‌های بریده، در عرض‌های میانی و مناطق نیمه‌گرمسیری بسته می‌شوند که بعد از جدا شدن از بادهای غربی توسط رویدادهای شکست موج رزبای (Ndarana and Waugh, 2010) یا نفوذ هوای پوش‌سپهر

اسپانیا با کم‌ارتفاع بریده مرتبط بوده است. (حیدری‌منفرد، ۱۳۹۲)، نشان داد که قرارگیری سردچال‌های ناشی از فعالیت بادهای غربی باعث ایجاد بیشترین فراوانی وقوع تگرگ در ماه مارس تا می با اوج بارش در آوریل شده است. همچنین سردچال‌های عرض‌های میانی باعث ایجاد و تداوم بارش‌های غرب ایران شده‌اند (Haji Khani, N., 2017). راستی و امیدوار (Rasti and Omidar, 2014)، بر این باورند که الگوهای فشار موثر در هنگام بارش شدید مشهود، حاصل ورود سیکلون غربی در سطح زمین و نفوذ بادهای غربی در سطوح بالا و ورود سردچال به همراه ریزش هوای مرطوب است. امیدوار و همکاران (Omidar et al, 2014)، عامل اصلی ایجاد بارش‌های سنگین در شیراز را تقویت فرود شرق مدیترانه در وردسپهر میانی و همچنین تشکیل سردچال دانست. سلیقه و بلیانی (Balyani and Saligheh, 2015)، نشان دادند که کم‌ارتفاع‌های شرق، شمال و جنوب دریای خزر در رخداد بارش‌های سنگین روزانه منطقه شمالی خلیج فارس نقش کلیدی دارند. صلاحی و همکاران (Salahi, 2017)، سامانه کم‌ارتفاع و پرفشار مهاجر اروپایی و ناهه‌های وارده از غرب ایران را عامل ریزش بارش رگباری شهرستان بهشهر دانستند. امیدوار و همکاران (Omidar et al, 2013, 2014)، عامل اصلی ایجاد بارش‌های سنگین در مرکز و جنوب غرب ایران را نفوذ و استقرار سامانه پرفشار سیبری و تشکیل کم‌ارتفاع بریده وسیع بر روی جنوب دریای خزر و مرکز ایران معرفی نمودند. شفیع‌ی (Shafiei, 2016)، نشان داد که قرارگیری کم‌ارتفاع‌های بریده با فرارفت هوای گرم و مرطوب در سطح زمین و هوای سرد سطوح فوقانی عامل اصلی ناپایداری‌های شدید جنوب غرب کشور منجر به بارش‌های حدی (فرین) شده است. رضایی (Rezaei, 2016)، نشان داد که در پی وقوع بلاکینگ‌ها، سردچال‌ها در فاصله جلو و عقب آن‌ها شکل می‌گیرند و موجب ناهه‌های عمیق می‌شوند و بر بارش ایران اثر می‌گذارد. عزیزی و همکاران (Azizi et al, 2017)، به اقلیم-شناسی کم‌ارتفاع‌های بریده مؤثر بر ایران و ارتباط آن با ENSO و NAO پرداختند. و نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی کم‌ارتفاع‌های بریده در ایران، در فصل بهار و با یک بیشینه در ماه مارس می‌باشند. این پژوهش با توجه به اهمیت موضوع و ارتباط بین کم‌ارتفاع‌های بریده و بارش-های سنگین و خسارات ناشی از آن تدوین شده است. از

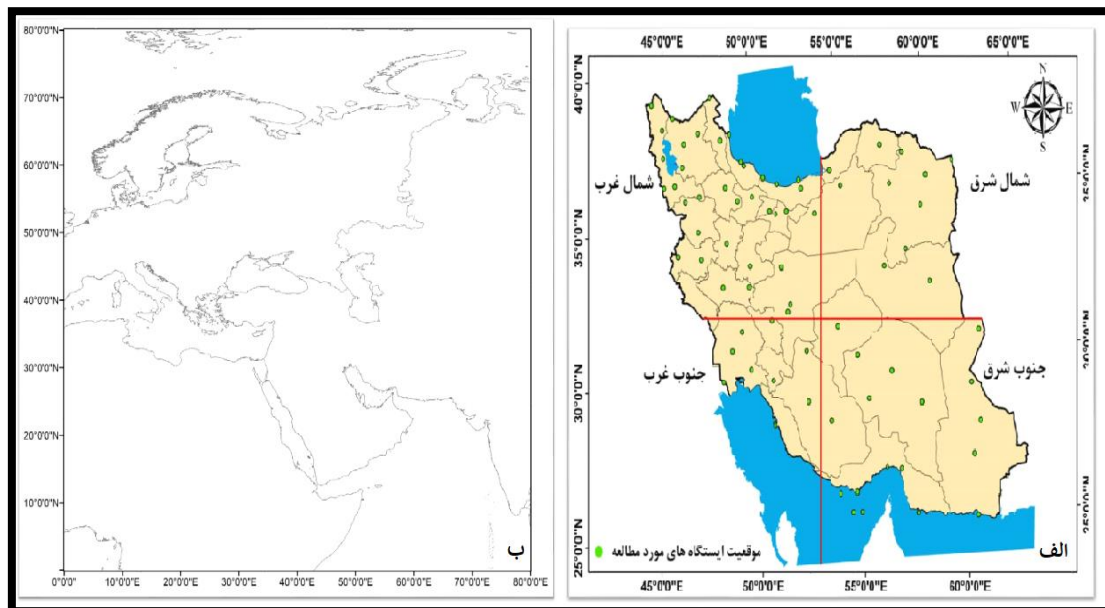
در شرق آن جریان صعودی و در غرب آن جریان نزولی ادامه دارد (Nito, 2005). از تحقیقاتی که در رابطه با شناسایی کم‌ارتفاع‌های بریده صورت گرفته می‌توان به تحقیقات پارکر و همکاران (Parker et al, 1989)، بل و بوسارت (Bell and Bosart, 1989)، اسمیت و همکاران (Smith et al, 2002)، نیتو و همکاران (Nieto et al, 2005)، فوئنزالیدا و همکاران (Fuenzalida et al, 2005)، ورنلی و اسپرنگر (Wernli and Sprenger, 2007)، سینگلتن و ریزان (Singleton and Reason, 2007)، ربویتا و همکاران (Reboita et al, 2010)، اندارانا و واق (Ndarana and Waugh, 2010)، فاوره و همکاران (Favre et al, 2012)، پینهرو و همکاران (Pinheiro et al, 2017) و مونوز و همکاران (Muñoz et al, 2020) اشاره کرد. کم‌ارتفاع‌های بریده اغلب با اختلالات در مقیاس متوسط همراه است که می‌تواند باعث ایجاد رویدادهای نامطلوب مرتبط با آب‌وهوا، مانند بارش سنگین، سیلاب شدید و ناگهانی (Griffiths et al, 1998; Schumacher and Johnson, 2008; Singleton and Reason, 2007)، رانش زمین به دلیل باران شدید (Tsuboki and Ogura, 2016)، رعد و برق (Hirota et al, 2016)، تگرگ (Zhao and Sun, 2007; Mohr et al, 2020; Davies, 2006; Homar et al, 2001; Seko et al, 2015) و گردبادها (Buckley et al, 2007) باشد. نشان دادند که کم‌ارتفاع بریده با ایجاد یک باند ابری رکورد ۲۷۴ ساعت بارندگی در شمال غربی و غرب استرالیا را برای این زمان از سال رقم زد. پورثو و همکاران (Porcu et al, 2007)، با بررسی ساختار عمودی کم‌ارتفاع بریده، رخداد بارش در منطقه مدیترانه را مطالعه کردند. و مشخص شد که رخداد کم‌ارتفاع بریده با باران نسبتاً زیاد و سنگین در مناطق وسیع همراه است. فیور و همکاران (Favre et al, 2012)، با بررسی کم‌ارتفاع‌های بریده در منطقه آفریقای جنوبی و تاثیر آن‌ها در بارندگی نشان داد که وقوع بارندگی با کم‌ارتفاع‌های بریده به ویژه در فصل بهار در ارتباط است. بوزکورت و همکاران (Bozkurt et al, 2016) کم‌ارتفاع بریده سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال اوایل پاییز را با یک رویداد سیل در منطقه آتاکامای شیلی مرتبط دانستند که ۳۱ کشته، ۱۶ مفقود و ۱۶۵۸۸ نفر متاثر از سیل بر جای گذاشت. لاسات و همکاران (Lasat et al, 2007) دریافتند که بارش سنگین و به دنبال آن ۷ مورد از ۲۲ رخداد سیل فاجعه آمیز بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ در سواحل مدیترانه در

تشکیل، مسیر حرکت، منطقه تحت نفوذ و استیلا و منطقه میرای آن در یک منطقه وسیع رخ می‌دهد، در این پژوهش برای مطالعه تاثیر کم‌ارتفاع‌های بریده موثر بر بارش سنگین ایران، محدوده‌ای انتخاب شد که ویژگی‌های کلی یک کم‌ارتفاع بریده را به خوبی نشان دهد. بنابراین از داده‌های متوسط روزانه: ارتفاع ژئوپتانسیل، باد مداری (U) و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال باز تحلیل شده ECMWF سایت اروپا با گام شبکه‌ای $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ درجه‌ای در دوره آماری ۳۳ سال (۲۰۱۸-۱۹۸۶) در منطقه‌ای شامل ۰ تا ۸۰ درجه عرض شمالی و ۰ تا ۸۰ درجه طول شرقی استفاده شد. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه کم‌ارتفاع‌های بریده در پژوهش و نقشه ایران برای مطالعه اثر کم‌ارتفاع‌های بریده روی بارش سنگین ایران به همراه موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

آن‌جا که مطالعات پیشین به بررسی اثرات خاصی از کم‌ارتفاع‌های بریده در بازه زمانی گذشته و بخش‌هایی از ایران پرداخته‌اند و همچنین از روش‌ها و شاخص‌های ثابت استفاده نموده‌اند بنابراین از جمله اهداف این پژوهش رسیدن به درک بهتری از اثر کم‌ارتفاع‌های بریده بر بارش‌های سنگین ایران در دوره آماری ۳۳ ساله (۲۰۱۸-۱۹۸۶) است. دستاوردهای این پژوهش می‌تواند در پیش بینی این اثرات در دوره‌های آتی و مدیریت مخاطرات جوی نظیر سیل راهگشا باشد.

مواد و روش‌ها

کم‌ارتفاع‌های بریده بخشی از سیستم گردش عمومی جو هستند و در مقیاس همدیدی عمل می‌کنند و محل



شکل ۱: الف: موقعیت ایستگاه‌های همدید و چهار منطقه مطالعه بارش سنگین، ب: محدوده‌ی مطالعه کم‌ارتفاع‌های بریده

گرفت و از کم‌ارتفاع‌هایی که یک روز عمر و یا ماندگاری داشتند صرف‌نظر شد. در ابتدا داده‌های ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال دریافت شد و در ادامه با تبدیل داده‌ها به داده‌های tXt، شاخص تیبالدی - مولتنی بر داده‌ها اعمال گردید، مبنای این شاخص به لحاظ نظری همان ارتفاع کمتر یک نقطه مرکزی نسبت به ۸ نقطه اطراف می‌باشد. البته برای اینکه نتایج بهتری گرفته شود، قبل از اعمال شاخص، میانگین‌های متحرک ۵ و بالاتر از داده‌ها تهیه شد تا نویزها از داده‌ها حذف و واقعیت بهتر مشخص گردد. در مرحله بعد

برای شناسایی کم‌ارتفاع‌های بریده نیازمند الگوریتم خاصی بود که این الگوریتم در محیط نرم افزار متلب (MATLAB) با استفاده از شاخص تیبالدی - مولتنی انجام گرفت تا به صورت خودکار کم‌ارتفاع‌های بریده را شناسایی کند. از آنجایی که هدف پژوهش مطالعه اثر کم‌ارتفاع‌های بریده موثر در بارش سنگین ایران است، در مرحله شناسایی، کم‌ارتفاع‌های بریده‌ای که در بارش سنگین ایران اثر داشته‌اند از سایر کم‌ارتفاع‌ها جداسازی شد. همچنین کم‌ارتفاع‌های بریده با طول عمر دو روز یا بیشتر، مورد مطالعه قرار

ارتفاع ژئوپتانسیل بر حسب متر در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و Φ : عرض جغرافیایی است.

۸۰،۴۰۰،۰ سه عرض جغرافیایی مورد استفاده در شاخص تیبالدی - مولتنی هستند. به دلیل استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده ۰/۱۲۵ درجه از شاخص تیبالدی - مولتنی معادل ۴،۰۰۴- استفاده شده است. در خصوص روش شناسایی، کم‌ارتفاع‌های بریده‌ای معرفی شدند، که دارای حداقل یکی از شرایط زیر باشند:

(۱) تمام یا قسمتی از منحنی بسته کم‌ارتفاع بریده بر روی بخشی از ایران قرار گرفته باشد.

(۲) مناطقی از ایران، در شعاع ۱۰۰۰ کیلومتری از مرکز کم‌ارتفاع بریده، قرار داشته باشد (Rezaei, 2016).

با استفاده از شاخص تیبالدی - مولتنی، روزهایی که کم‌ارتفاع بریده در آن وجود داشت استخراج شد. شاخص تیبالدی - مولتنی در شناسایی کم‌ارتفاع‌های بریده با استفاده از معادله‌های روابط ۱ و ۲ بدست آمد:

رابطه (۱)

$$GHGS = \frac{Z(\Phi_0) - Z(\Phi_S)}{(\Phi_0 - \Phi_S)}$$

رابطه (۲)

$$GHGN = \frac{Z(\Phi_n) - Z(\Phi_0)}{(\Phi_n - \Phi_0)}$$

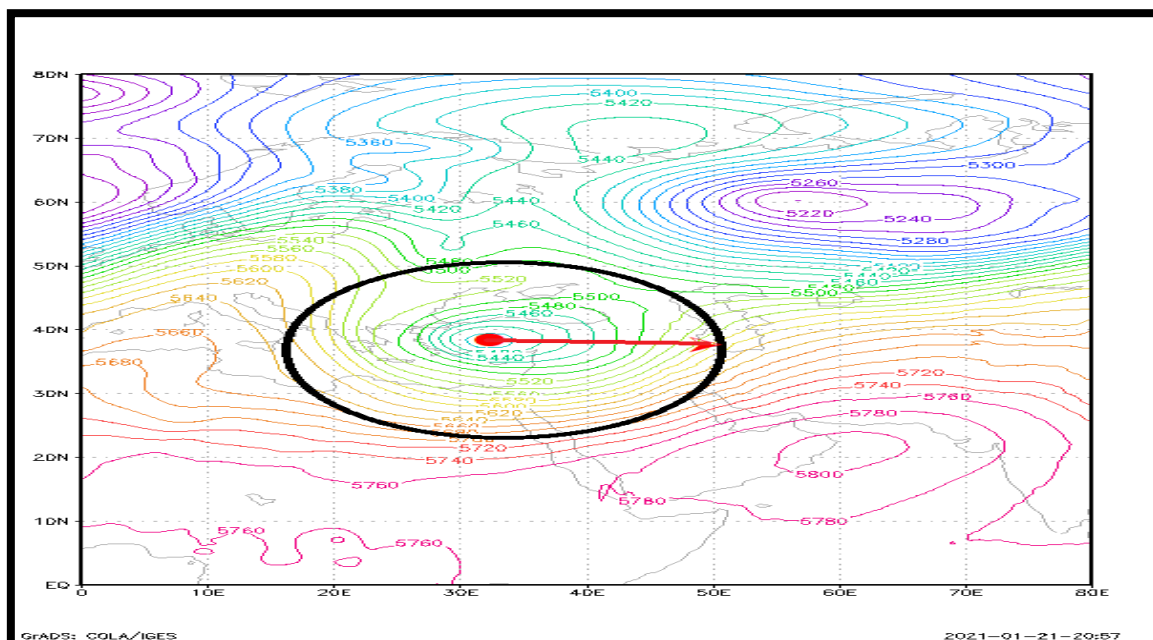
$$\Phi_n = 0^\circ N + \theta, \Phi_0 = 40^\circ N + \theta, \Phi_S = 80^\circ N + \theta, \theta = -4^\circ, 0^\circ, 4^\circ.$$

$$GHGS > 0 \quad (1)$$

$$GHGN < -10 \text{ m/deg latitude} \quad (2)$$

در معادله رابطه ۱، GHGN: شاخه شمالی سامانه بندالی،

در معادله رابطه ۲، GHGS: شاخه جنوبی سامانه بندالی، Z



شکل ۲: نقشه‌ی کم‌ارتفاع بریده شکل گرفته در تاریخ ۱۹۸۷/۴/۲۸، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال: که محدوده اثرگذاری ۱۰۰۰ کیلومتری در آن با دایره سیاه نشان داده شده است و نقطه قرمز رنگ مرکز کم‌ارتفاع بریده و خط و علامت فلش نیز مسیر حرکت کم‌ارتفاع بریده را نشان می‌دهد که این کم‌ارتفاع از طرف غرب کشور ایران را تحت تاثیر قرار داده است.

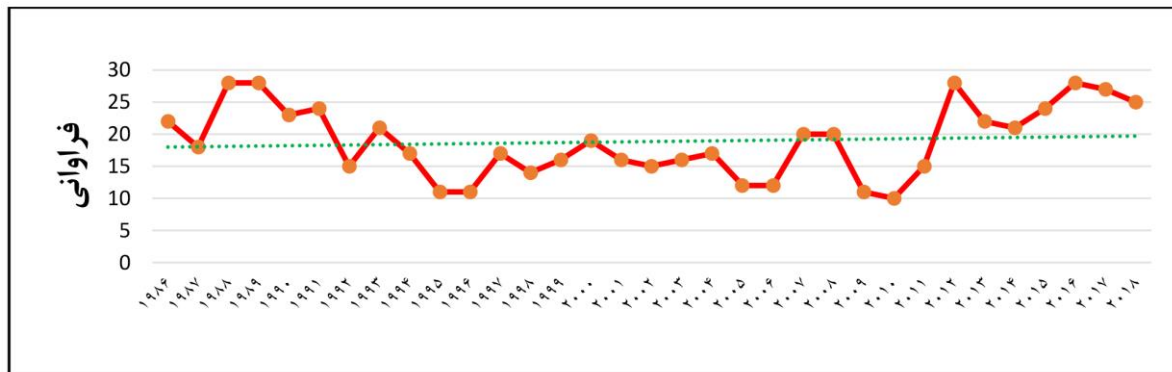
بحث و نتایج

توزیع سالانه کم‌ارتفاع‌های بریده در طول دوره آماری در دوره آماری ۳۳ سال (۲۰۱۸ - ۱۹۸۶) در مجموع ۶۳۲ کم‌ارتفاع بریده با طول عمر ۲ روز و بیشتر در منطقه مورد پژوهش شناسایی شد. بنابراین تعداد کم‌ارتفاع‌های بریده به‌طور میانگین ۱۸/۸۷ در طول دوره آماری برای هر سال شناسایی شد که تقریباً با میانگین سالانه ۱۵/۷ کم‌ارتفاع

برای تحلیل همدید و نشان دادن اثر کم‌ارتفاع بریده در بارش سنگین ایستگاه‌های مطالعاتی، از نقشه‌های فشار و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای تاریخ‌های ۱۶ تا ۲۰ فوریه سال ۲۰۱۵ استفاده گردید. نمونه‌ای از کم‌ارتفاع بریده که باعث ایجاد بارش و به‌ویژه بارش سنگین در ایستگاه‌های جنوب غرب، شمال غرب و چند ایستگاه در شمال شرق منطقه مطالعاتی شده است مورد بررسی و تحلیل همدید قرار گرفت.

رخداد مربوط به سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۸۹، ۲۰۱۲، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ است. همچنین در سال ۲۰۱۷ تعداد ۲۷ رخداد کم-ارتفاع بریده شناسایی شده است. کمترین فراوانی کم‌ارتفاع بریده با ۱۰ رخداد در سال ۲۰۱۰، تعداد ۱۱ رخداد در سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۹ و تعداد ۱۲ رخداد در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ است. خط روند یا رگرسیون در طول دوره آماری در شکل ۳ دارای شیب ملایم مثبت است، که در مجموع نشان می‌دهد مقدار کم‌ارتفاع‌های بریده در طول دوره آماری رو به افزایش است و در سال‌های اخیر افزایش قابل ملاحظه‌ای در فراوانی آن‌ها اتفاق افتاده است. به نظر می‌رسد این مسئله، اثرات گرمایش جهانی و تغییر اقلیم روی پدیده‌های جوی و از جمله کم‌ارتفاع‌های بریده را به خوبی نمایان می‌سازد و تغییرات اقلیمی باعث تضعیف روادها و در نتیجه افزایش حرکت نصف‌النهاری و احتمال بیشتر تشکیل کم‌ارتفاع‌های بریده در عرض‌های میانی شده است. همچنین روند افزایشی در فراوانی رخداد کم‌ارتفاع‌های بریده در نیم‌کره جنوبی در دوره ۱۹۷۹-۲۰۰۸ (Favre et al, 2012) و نیم‌کره شمالی در دوره ۲۰۱۵-۱۹۷۵ (Azizi et al, 2017) نیز تأیید شده است.

بریده در هر سال در کار (Rezaei, 2016) مطابقت دارد. براساس روند تعداد کم‌ارتفاع‌های بریده، تعداد آن‌ها در طول سال دارای نوسان است و روند افزایشی یا کاهش خاصی نسبت به سال قبل ندارند. به طوری که تعداد کم‌ارتفاع‌های بریده از سال ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۶ روند کاهشی داشته و از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۴ روند افزایشی نسبی را نشان داده است. به غیر از دو سال ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ تعداد کم‌ارتفاع‌های بریده از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ کاهش یافته است (شکل ۳). از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ افزایش تعداد کم‌ارتفاع‌های بریده مشهود است که این مسئله می‌تواند ناشی از اثرات گرمایش و تغییر اقلیم در سطح منطقه پژوهش باشد که با نوسان افزایش یا کاهش دمای منطقه، جابجایی و گسترش پرفشار جنب حاره و بادهای غربی ناهنجاری‌های شدیدی را موجب شده و با نتایج پارکر و همکاران (Parker et al, 1989) مبنی بر روند کاهشی فراوانی کم‌ارتفاع‌های بریده در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال از سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ و روند افزایشی از سال ۱۹۷۱ تا ۱۹۸۵ مطابقت دارد. در مجموع تعداد کم‌ارتفاع‌های بریده به ویژه در سال‌های اخیر دارای روند افزایشی بوده است. بیشترین فراوانی رخداد کم‌ارتفاع بریده با ۲۸



شکل ۳: نمودار فراوانی کم‌ارتفاع‌های بریده در سال‌های دوره آماری پژوهش

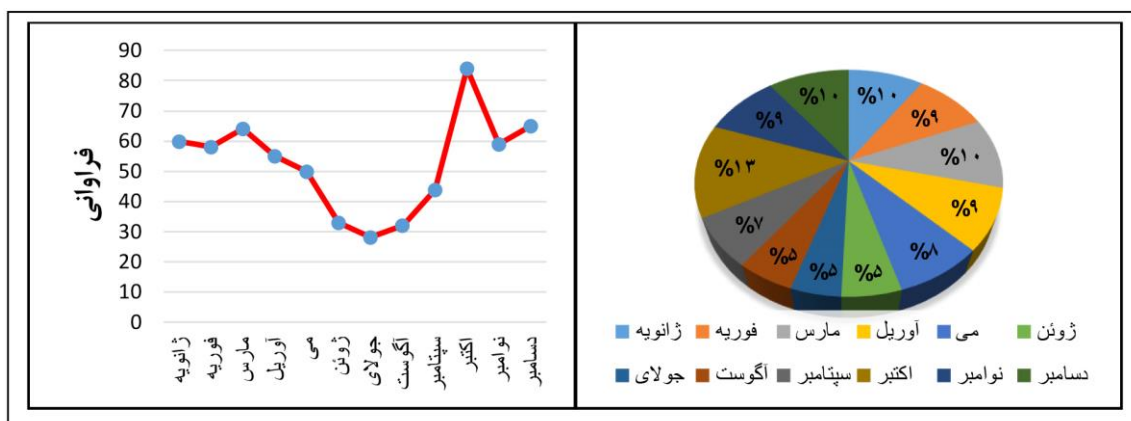
کم‌ارتفاع‌های بریده با توجه به جابجایی روادها و بادهای غربی به سمت عرض‌های بالاتر کمتر از سایر ماه‌ها است. به تدریج در ماه‌های اکتبر و نوامبر و دسامبر تعداد رخداد کم‌ارتفاع‌های بریده بیشتر شده، که نشان‌دهنده حرکت بادهای غربی به سمت عرض‌های پایین و خصوصاً کشور ایران است. براساس شکل ۴، بیشترین درصد توزیع کم‌ارتفاع‌های بریده در ماه‌های دوره آماری ۳۳ سال به ترتیب ماه‌های اکتبر (۱۳٪)، دسامبر، ژانویه و مارس (۱۰٪) است. کمترین درصد رخداد کم‌ارتفاع بریده به ترتیب در ماه‌های جولای، ژوئن و

توزیع ماهانه کم‌ارتفاع‌های بریده

براساس توزیع ماهانه، بیشترین تعداد رخداد کم‌ارتفاع بریده به ترتیب در ماه‌های اکتبر (۸۴)، دسامبر (۶۵)، مارس (۶۴) و ژانویه (۶۰) است (شکل ۴). کمترین رخداد کم‌ارتفاع بریده نیز در ماه‌های جولای (۲۸)، آگوست (۳۲) و ژوئن (۳۳) است. با توجه به روند نمودار کم‌ارتفاع‌های بریده تا ماه آوریل، دارای تعداد ثابت و میانگین بالای ۵۵ رخداد است که نشان‌دهنده منطقه استیلای بادهای غربی در عرض‌های متوسط است. از ماه می تا ماه سپتامبر تعداد

و آگوست است. در استرالیا نیز کویی و همکاران (Qi et al, 2000) با استفاده از ارتفاع ژئوتپانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان دادند که کم‌ارتفاع‌های بریده بیشتر در طول ماه‌های سرد سال رخ می‌دهند.

آگوست با (۵٪) است. رضایی (Rezaei, 2016) نیز نشان داد که از ۶۲۸ کم‌ارتفاع بریده شناسایی شده موثر بر ایران، ماه مارس، دسامبر، آوریل و ژانویه دارای بیشترین فراوانی و کمترین فراوانی مربوط به ماه‌های ژوئن، سپتامبر، ژوئیه



شکل ۴: نمودار فراوانی و درصد توزیع فراوانی کم‌ارتفاع‌های بریده در ماه‌های دوره مطالعاتی

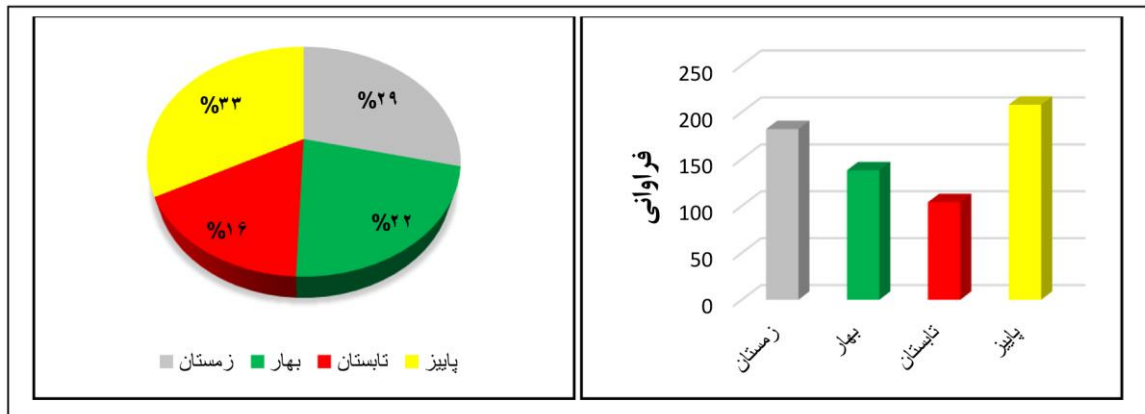
نشینی به سمت عرض‌های بالاتر بیشتر در بین هوای گرم حاصل از پیش‌روی پرفشار جنب حاره محاصره شده و کم‌ارتفاع‌های بریده بیشتری در این موقع از سال تشکیل می‌شود. فصل تابستان با ۱۰۴ (۱۶٪) رخداد کم‌ارتفاع بریده در بین فصل‌ها کمترین تعداد کم‌ارتفاع بریده را دارد، که به دلیل عقب‌نشینی بادهای غربی به سمت عرض‌های بالاتر و استیلای پرفشار آزور و همچنین حضور دائمی پرفشار جنب‌حاره‌ای در این مناطق است که اجازه ورود و فعالیت سیستم‌های بارشی و از جمله کم‌ارتفاع بریده را نمی‌دهد. رضایی (Rezaei, 2016)، در تحقیق خود نشان دادند که کم‌ارتفاع‌های بریده در فصل بهار با ۳۸/۲ درصد بیشترین فراوانی را دارد. فصل زمستان ۳۵/۵ درصد، فصل پاییز ۱۹/۷ و در نهایت فصل تابستان با ۶/۵ درصد فراوانی قرار دارند. تفاوت فصلی وقوع این سیستم‌ها در ایران در مقایسه با اروپا و سایر نقاط در عرض‌های بالاتر، ناشی از حضور دائمی پرفشار جنب حاره در فصل تابستان در ایران است که اجازه ورود این سیستم‌های باران‌زا را نمی‌دهد. لذا ایران از کم‌فشارهای بریده در فصل تابستان که بیشترین فراوانی را در نیمکره شمالی دارند بی‌بهره است و گاهی خشکسالی‌ها در ایران رقم می‌خورد (Rahimi et al, 2021). نیتو و همکاران (Nieto et al, 2005)، نشان دادند که بیشترین فراوانی وقوع فصلی کم‌ارتفاع بریده در فصل زمستان و کمترین فراوانی وقوع در فصل تابستان است. تلجارد

توزیع فصلی کم‌ارتفاع‌های بریده دوره مطالعاتی

شکل ۵، توزیع کم‌ارتفاع‌های بریده در فصول سال را نشان می‌دهد. از لحاظ فصلی، فصل پاییز با مجموع ۲۰۸ (۳۳٪) بیشترین تعداد رخداد کم‌ارتفاع بریده را داشته است. که با توجه به حرکت بادهای غربی به سمت عرض‌های پایین و قرارگیری در عرض‌های متوسط و اطراف دریای مدیترانه و دریای سیاه که منطقه اصلی شکل‌گیری کم‌ارتفاع‌های بریده موثر در بارش ایران هستند مطابقت دارد. با توجه به اینکه هرچه به اواسط فصل پاییز نزدیک می‌شویم بادهای غربی در منطقه عرض‌های متوسط حاکمیت بیشتری پیدا می‌کند، در ماه آخر فصل پاییز کم‌ارتفاع‌های بریده بیشتر رخ می‌دهد. فصل زمستان با ۱۸۲ (۲۹٪) رخداد کم‌ارتفاع بریده در رتبه دوم در بین فصول سال قرار دارد، که نشان دهنده حاکمیت حداکثری بادهای غربی و حرکات نصف‌النهاری این جریانات و در نتیجه تشکیل کم‌ارتفاع‌های بریده در این زمان از سال می‌باشد. فصل بهار نیز با تعداد ۱۳۸ (۲۲٪) رخداد در رتبه بعدی قرار دارد. که با تعاریف شکل‌گیری سیستم‌های کم‌ارتفاع بریده مبنی بر تضعیف رودباد در فصل بهار سازگار است. مطالعات نشان می‌دهد که تغییرات فصلی کم‌ارتفاع بریده با رودباد مرتبط است، به طوری که کم‌ارتفاع‌های بریده بیشتر وقتی تمایل به شکل‌گیری دارند که رودباد ضعیف است (Darana and Wag, 2010). در این حالت بادهای غربی در هنگام عقب

همکاران (Reboita et al, 2010) خصوصیات اقلیمی سیستم‌های کم‌ارتفاع بریده در نیمکره جنوبی را بررسی کرد و نشان داد که فراوانی توزیع فصلی آن‌ها در پاییز و زمستان بیشتر از بهار بود.

(Telgard, 1985) وضعیت کم‌ارتفاع‌های بریده را به مدت ۱۰ سال روی آفریقای جنوبی مورد مطالعه قرار داد و خواص، فراوانی و رابطه آن با بارش را بررسی کرد. او در هر سال بطور متوسط ۱۱ کم ارتفاع بریده را شناسایی کرد. که دارای بیشترین تعداد در فصول بهار و پاییز بود. ربویتا و



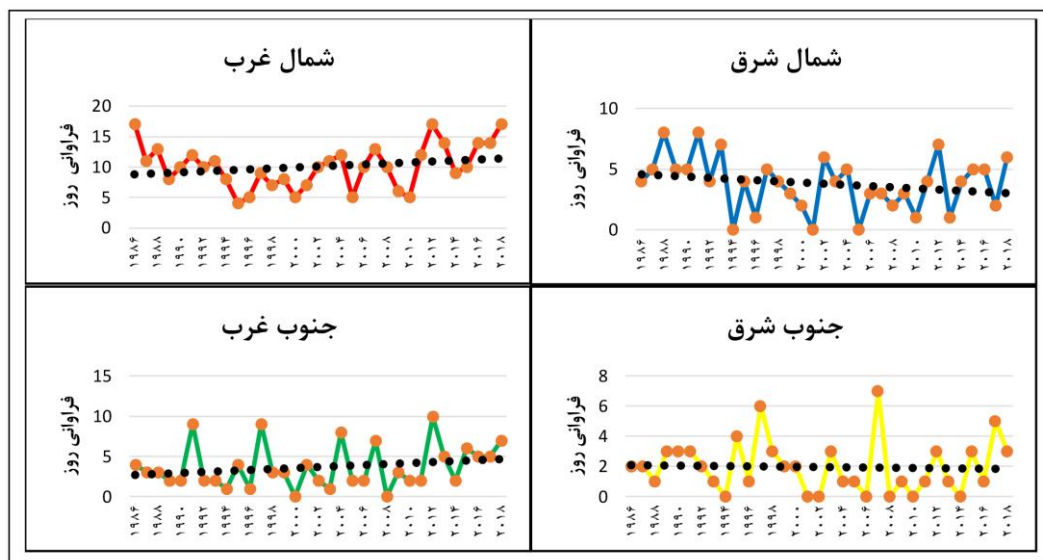
شکل ۵: نمودار فراوانی و درصد توزیع کم‌ارتفاع‌های بریده در فصول دوره مطالعاتی

شمال شرقی، جنوب غربی و جنوب شرقی تقسیم کردند. شکل ۶ توزیع کم‌ارتفاع‌های بریده در مناطق مختلف ایران را با توجه به تقسیم‌بندی که انجام شد نشان می‌دهد، کم ارتفاع‌های بریده در این مناطق براساس تعداد روزهای بارش سنگین شناسایی شد. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است در منطقه شمال غرب ایران، به ترتیب سال ۱۹۹۵ (با ۴ رخداد) و سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ (با ۵ رخداد) دارای کمترین رخداد کم‌ارتفاع بریده است. بیشترین فراوانی کم‌ارتفاع بریده نیز در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ (۱۴ رخداد) و ۱۹۸۶، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۸ (۱۷ رخداد) است. خط روند رخداد کم‌ارتفاع بریده در منطقه شمال غرب ایران نشان می‌دهد که تعداد کم‌ارتفاع‌های بریده روند افزایشی دارد. رضایی (2016, Rezaei)، نشان دادند که در منطقه شمال غرب مطالعاتی خط رگرسیون شیب ملایم مثبت دارد که نشان از افزایش ملایم این روند در طول دوره آماری می‌باشد. در منطقه شمال شرق ایران بیشترین فراوانی کم‌ارتفاع‌های بریده به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۱۲ (۷ رخداد) و سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۹۱ (۸ رخداد) بوده است. و کمترین تعداد کم‌ارتفاع‌های بریده به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ (بدون رخداد) و سال‌های ۱۹۹۶، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ (۱ رخداد) بوده است. با توجه به نمودار، روند و تعداد کم‌ارتفاع‌های بریده کمتر شده است.

توزیع سالانه کم‌ارتفاع بریده در مناطق چهارگانه ایران به منظور مطالعه توزیع سالانه کم‌ارتفاع‌های بریده و تاثیر آن‌ها بر بارش سنگین ایستگاه‌های هم‌دید منتخب پژوهش، لازم بود تا ایران به مناطق کوچکتری تقسیم شود تا اثرات کم‌ارتفاع‌های بریده در هر یک از مناطق به صورت دقیق‌تر و جامع‌تر مورد بررسی قرار گیرد، که بر این اساس کشور ایران به چهار منطقه جغرافیایی تقسیم شد. در کارهای مشابه، (Rezaei, 2016) در بررسی کم‌ارتفاع‌های بریده موثر در بارش ایران، ایران را به چهار منطقه A (شمال غرب)، B (جنوب غرب)، C (شمال شرق) و D (جنوب شرق) تقسیم کرده‌اند. از تحقیقات خارجی می‌توان به کار کی و همکاران (Qi et al, 2000) که در بررسی کم‌فشارهای بریده مرتبط با جنوب استرالیا، این منطقه را به ۴ بخش تقسیم نمودند، که هر منطقه ۱۰ درجه طول و ۱۵ درجه عرض جغرافیایی را شامل می‌شد. در تحقیقی دیگر سینگلتن و همکاران (Singleton et al, 2007) در بررسی کم‌ارتفاع‌های بریده در آفریقای جنوبی در دوره ۲۰۰۲-۱۹۷۳ آن را به ۴ منطقه تقسیم کردند. که مناطق شامل، شمال غرب، شمال شرق، جنوب غرب و جنوب شرق آفریقای جنوبی می‌گردید. نیتو و همکاران (Nieto et al, 2007) ابرناکی و بارش مرتبط با کم‌ارتفاع بریده را در شبه جزیره ایبری بررسی کردند. این محققان شبه جزیره ایبری را به چهار ناحیه شمال غربی،

تحقیق رضایی (Rezaei, 2016)، هم‌خوانی داشته و نشان داد که خط رگرسیون دارای شیب مثبت و فراوانی رخداد کم فشارهای بریده در طول دوره آماری رو به افزایش بوده است. در جنوب شرق ایران فراوانی رخداد کم ارتفاع بریده نسبت به مناطق دیگر ایران کمتر بوده است. بیشترین فراوانی کم ارتفاع بریده به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۷ (۵ رخداد)، ۱۹۹۷ (۶ رخداد) و ۲۰۰۷ (۷ رخداد) است و کمترین فراوانی مربوط به سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ (۰ رخداد) و ۱۹۹۳، ۱۹۹۶، ۱۹۹۶، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ (۱ رخداد) بود. با توجه به پراکندگی تعداد فراوانی در جنوب شرق کشور مشخص شد که بیشتر رخدادها با فراوانی ۰ تا ۴ رخداد در سال‌های دوره مطالعاتی تمرکز دارند که نشان دهنده آن است که کم ارتفاع‌های بریده در بارش سنگین این منطقه از کشور اثر کمتری دارد، که می‌تواند دلیل آن دور بودن این منطقه از کشور از اثرات رودبادهای و بادهای غربی است که عرض‌های پایین حتی در زمان اوج نفوذ و گسترش سامانه‌ها در ایران کمتر متاثر شده است و در کل روند رخداد و اثر کم ارتفاع بریده در منطقه جنوب شرق ایران ثابت و کاهشی است.

در شمال شرق ایران با توجه به فعالیت و حضور پرفشار سرد سبیری هر چند تعداد رخداد کم ارتفاع‌های بریده‌ای که از سمت شمال شرق وارد می‌شود، قابل توجه است، ولی این منطقه از کم ارتفاع‌های بریده تشکیل شده در منطقه غرب کشور و محدوده مدیترانه دور است، علاوه بر این با توجه به کمبود و نبود رطوبت کافی و سایر شرایط ترمودینامیکی، بارش سنگین کمتری در این منطقه از کشور اتفاق افتاده است و بالتبع سهم کم ارتفاع‌های بریده در بارش سنگین این منطقه نیز کم بوده است. با توجه به تحقیق رضایی (Rezaei, 2016)، خط رگرسیون در منطقه شمال شرق شیب منفی دارد که نشان از کم شدن رخداد کم ارتفاع‌های بریده در طول دوره آماری دارد. فراوانی کم ارتفاع بریده در بخش جنوب غرب پژوهش مشابه شمال غرب است. بیشترین فراوانی کم ارتفاع بریده به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۸ (۷ رخداد)، ۲۰۰۴ (۸ رخداد)، ۱۹۹۱ و ۱۹۹۷ (۹ رخداد) و ۲۰۱۲ (۱۰ رخداد) است. و کمترین تعداد مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ (۰ رخداد)، ۱۹۹۴، ۱۹۹۶ و ۱۹۹۶ (۱ رخداد) و ۱۹۹۰، ۱۹۹۲، ۱۹۹۳، ۱۹۹۳، ۱۹۹۳، ۲۰۰۲، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ (۲ رخداد) است. روند فراوانی رخداد کم ارتفاع بریده در منطقه جنوب غرب افزایش داشته است. که با نتیجه



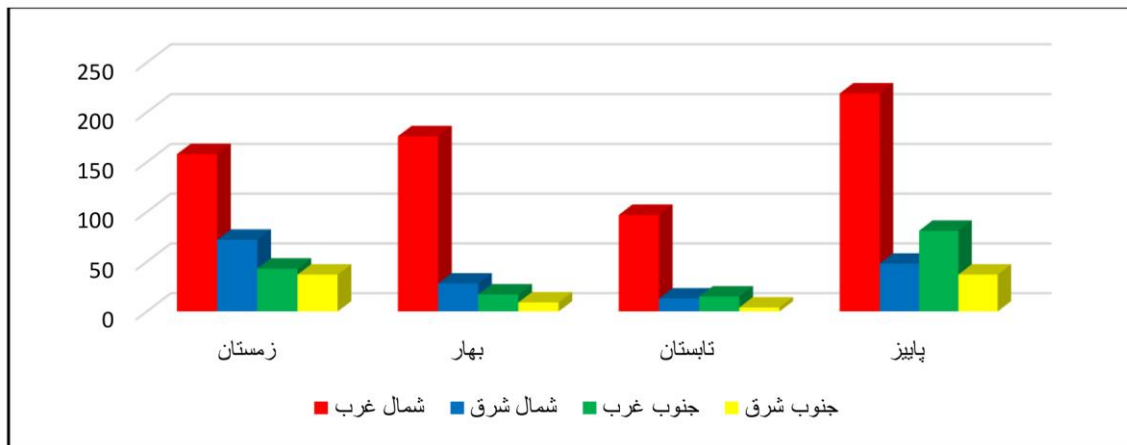
شکل ۶: نمودارهای توزیع فراوانی کم ارتفاع بریده در مناطق چهارگانه ایران

شمال غرب بیشترین سهم رخداد کم ارتفاع بریده به ترتیب فصل پاییز و فصل بهار است. در منطقه شمال شرق ایران کم ارتفاع بریده در فصل زمستان و پاییز بیشترین رخداد را

توزیع فصلی کم ارتفاع بریده در مناطق چهارگانه ایران با توجه به شکل ۷، که نشان‌دهنده توزیع فصلی کم ارتفاع‌های بریده در مناطق چهارگانه ایران است، در منطقه

است ولی در فصول بهار و تابستان به علت عقب‌نشینی بادهای غربی، کم‌ارتفاع‌های بریده تشکیل شده کمتر شده و سهم ناچیزی در رخداد بارش سنگین این مناطق داشته اند. ولی در مقابل در مناطق شمالی به ویژه شمال غرب ایران بادهای غربی در فصل بهار نیز همچنان فعال تر بوده و کم ارتفاع‌های بریده حاصل از آن سهم عمده‌ای در بارش سنگین این منطقه از کشور را دارد. مطالعات رضایی (Rezaei, 2016)، نشان داد که در مناطق A و C بیشترین رخداد کم‌ارتفاع‌ها در فصل بهار و در مناطق B (ربع جنوب غرب) و D (ربع جنوب شرق) در فصل زمستان بوده است.

داشته است. در منطقه جنوب غرب بیشترین فراوانی رخداد کم‌ارتفاع بریده به ترتیب در فصول پاییز و زمستان است. در منطقه جنوب شرق کشور فصل زمستان و فصل پاییز بیشترین رخداد را داشته است. کمترین فراوانی رخداد کم ارتفاع بریده در همه مناطق مطالعاتی پژوهش فصل تابستان بوده است. در مجموع با توجه به الگوهای کلی فعالیت بادهای غربی و کم‌ارتفاع بریده می‌توان گفت که توزیع فصلی کم‌ارتفاع بریده در مناطق چهارگانه از الگوی گسترش بادهای غربی تبعیت کامل داشته است و با گسترش بادهای غربی در فصل پاییز و زمستان سهم کم‌ارتفاع‌های بریده در مقدار بارش سنگین قسمت‌های جنوبی تر ایران بیشتر شده



شکل ۷: توزیع فراوانی کم‌ارتفاع بریده مناطق در فصول سال

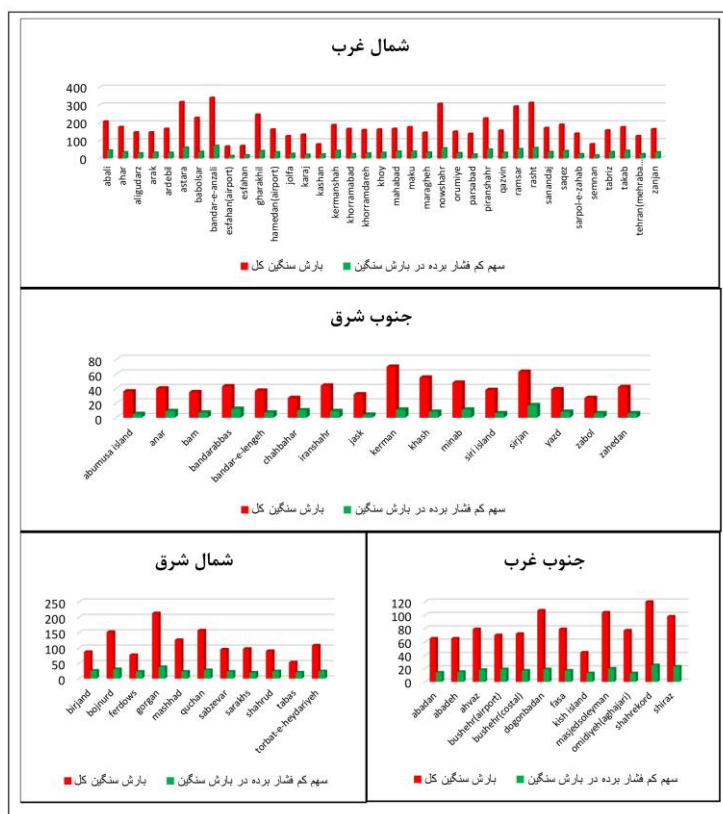
مطالعاتی بارش‌های سنگین کمتری اتفاق افتاده است و این نتایج نقش اصلی فراوانی رطوبت را در رخداد بارش سنگین تایید می‌کند. در منطقه شمال غرب پژوهش سهم کم‌ارتفاع‌های بریده در ایجاد بارش سنگین نسبت به فراوانی رخداد بارش سنگین ایستگاه‌ها متفاوت بوده است. برای مثال بیشترین سهم یا درصد اثر کم‌ارتفاع‌های بریده بر بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های کاشان (۳۰٪)، تکاب (۲۵٪) و ایستگاه‌های اراک، مهاباد، مراغه، پیرانشهر، سقز و تبریز (۲۳٪) است. که نشان‌دهنده سهم بیشتر کم‌ارتفاع بریده در مقدار رخداد بارش سنگین در نواحی شمالی و غربی این منطقه بوده است. کمترین درصد تاثیر این پدیده در بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های خرم‌آباد و کرج (۱۶٪) و بابلسر، قراخیل و پارس‌آباد (۱۷٪) بود. در منطقه جنوب شرق بیشترین رخداد بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های خاش (۵۵)، سیرجان (۶۳) و کرمان (۷۰) و کمترین رخداد بارش سنگین در ایستگاه‌های چابهار و زابل

سهم کم‌ارتفاع بریده در میزان بارش سنگین مناطق چهارگانه ایران

در شکل ۸، سهم و مقدار اثر کم‌ارتفاع بریده از میزان بارش‌های سنگین در مناطق مختلف ایران نشان داده شده است. در منطقه شمال غرب ایران، در طول دوره مطالعاتی بیشترین فراوانی رخداد بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های بندرانزلی (۳۴۰)، آستارا (۳۶۰)، رشت (۳۱۲)، نوشهر (۳۰۶)، رامسر (۲۹۱)، قراخیل (۲۴۶)، بابلسر (۲۲۸)، پیرانشهر (۲۲۵) و آبعلی (۲۰۸) بوده است. کمترین فراوانی بارش سنگین در این منطقه به ترتیب در ایستگاه‌های اصفهان (۶۸)، کاشان (۸۰) و سمنان (۸۱) رخداد بود. با توجه به مقدار بارش سنگین رخ داده در ایستگاه‌های همدید منطقه می‌توان گفت که هرچا رطوبت زیاد در منطقه‌ای وجود داشته است شرایط برای رخداد بارش سنگین فراهم شده است. و متقابلاً به علت کمبود رطوبت در قسمت‌های داخلی تر منطقه شمال غرب در دوره

بارش سنگین منطقه به ترتیب در ایستگاه‌های بیرجند و فردوس (۰/۳۰٪) و طبس (۰/۳۸٪) و کمترین تاثیر و سهم به ترتیب در ایستگاه‌های گرگان، مشهد و قوچان (۰/۱۸٪) و بجنورد (۰/۲۰٪) بوده است. نقش سردچال‌های جوی عرض‌های میانه در تداوم بارش‌های روزانه غرب ایران قابل توجه محققان بوده و حدود ۱۸ درصد بارش‌ها مربوط به پدیده سردچال با منبع رطوبتی ترکیبی یعنی رطوبت اقیانوس اطلس، دریای مدیترانه و دریای سرخ و همراهی رودباد پایین بوده است (Haji Khani, 2017). استقرار رودباد در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال در جنوب ایران به همراه تشکیل ناوه سردچالی بر روی دریای خزر شرایط را برای همگرایی سطوح پایین‌تر اتمسفر ایران مهیاتر کرده، نفوذ رطوبت از دریای مدیترانه به همراه شرایط ناپایداری، باعث ریزش باران سنگین و فراگیر در ایران شده است (Zakizadeh et al, 2017). همچنین وجود بلاکینگ ارتفاعی در بخش شمالی دریای خزر با همراهی فعالیت دو سامانه کم‌فشار که در آن کم‌فشار غربی منجر به بارندگی شدید و بیش از حد به مدت ۴ روز شد و کم‌ارتفاع بریده با الگوهای باد مناسب در سطوح زیرین (۸۵۰ هکتوپاسکال) منجر به بارش سنگین شد (Samakosh at al, 2014).

(۲۷)، جاسک (۳۲) و بم (۳۵) اتفاق افتاده است. بیشترین درصد اثر کم‌ارتفاع بریده در فراوانی رخداد بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های چابهار (۰/۳۷٪)، بندرعباس (۰/۲۸٪) و سیرجان (۰/۲۷٪) است. کمترین درصد تاثیر کم‌ارتفاع بریده به ترتیب در ایستگاه‌های جاسک (۰/۱۳٪) و زابل و ابوموسی (۰/۱۴٪) و خاش (۰/۱۵٪) بوده است. در منطقه جنوب‌غرب بیشترین مقدار رخداد بارش سنگین در دوره مطالعاتی به ترتیب در ایستگاه‌های دوگنبدان (۱۰۷)، شهرکرد (۱۲۰)، مسجدسلیمان (۱۰۴) و شیراز (۹۸) و کمترین مقدار رخداد بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های کیش (۴۴)، آبادان و آباده (۶۵) و بوشهر (۷۰) قرار داشت. بیشترین سهم اثر کم‌ارتفاع بریده در بارش سنگین منطقه به ترتیب در ایستگاه‌های بوشهر (۰/۲۷٪) و کیش (۰/۳۰٪) و کمترین سهم تاثیر کم‌ارتفاع بریده در بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های امیدیه (۰/۱۷٪)، دوگنبدان (۰/۱۸٪) و مسجدسلیمان (۰/۱۹٪) است. در منطقه مطالعاتی شمال‌شرق بیشترین رخداد بارش سنگین در ایستگاه‌های گرگان (۰/۲۱۳)، قوچان (۰/۱۵۷) و بجنورد (۰/۱۵۲) و کمترین فراوانی رخداد بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های طبس (۰/۵۳)، فردوس (۰/۷۷) و بیرجند (۰/۸۷) بود. بیشترین سهم اثر کم‌ارتفاع بریده در



شکل ۸: سهم کم‌ارتفاع‌های بریده در بارش سنگین (میلی‌متر) در مناطق چهارگانه مورد مطالعه ایران

ارتفاع بریده در کل ایران داشت. (Haji Khani, 2017)، در تحقیق خود با عنوان نقش سردچال‌های جوی عرض‌های میانه در تداوم بارش‌های روزانه غرب ایران نتیجه گرفتند که از مجموع ۳۴۰ مورد بارش، ۶۰ مورد (۱۸ درصد) مربوط به پدیده سردچال با منبع رطوبتی ترکیبی یعنی رطوبت اقیانوس اطلس، دریای مدیترانه و دریای سرخ و همراهی رودباد پایین بوده است. (Pourasghar, 2015)، در بررسی مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی در زمان استقرار استخر هوای سرد نشان داد که در ۶۴٪ مواقع حضور استخر هوای سرد بارندگی رخ داده و در ۱۲/۲٪ موارد وقوع بارندگی شدید باعث ایجاد سیل شده است. فاور و همکاران (Favre et al, 2014) نشان دادند که در طول دوره مورد تجزیه و تحلیل، روند افزایشی قابل توجهی در فراوانی کم‌ارتفاع‌های بریده سالانه حدود ۲۵٪ را نشان می‌دهد. این افزایش عمدتاً در بهار و به میزان کمتری در تابستان مشاهده می‌شود. این روند با افزایش قابل توجهی در فراوانی روزهای بارانی در اثر کم‌ارتفاع بریده به‌طور خاص در امتداد سواحل جنوبی و در شرق کشور در طول دوره بهار و تابستان همراه است.

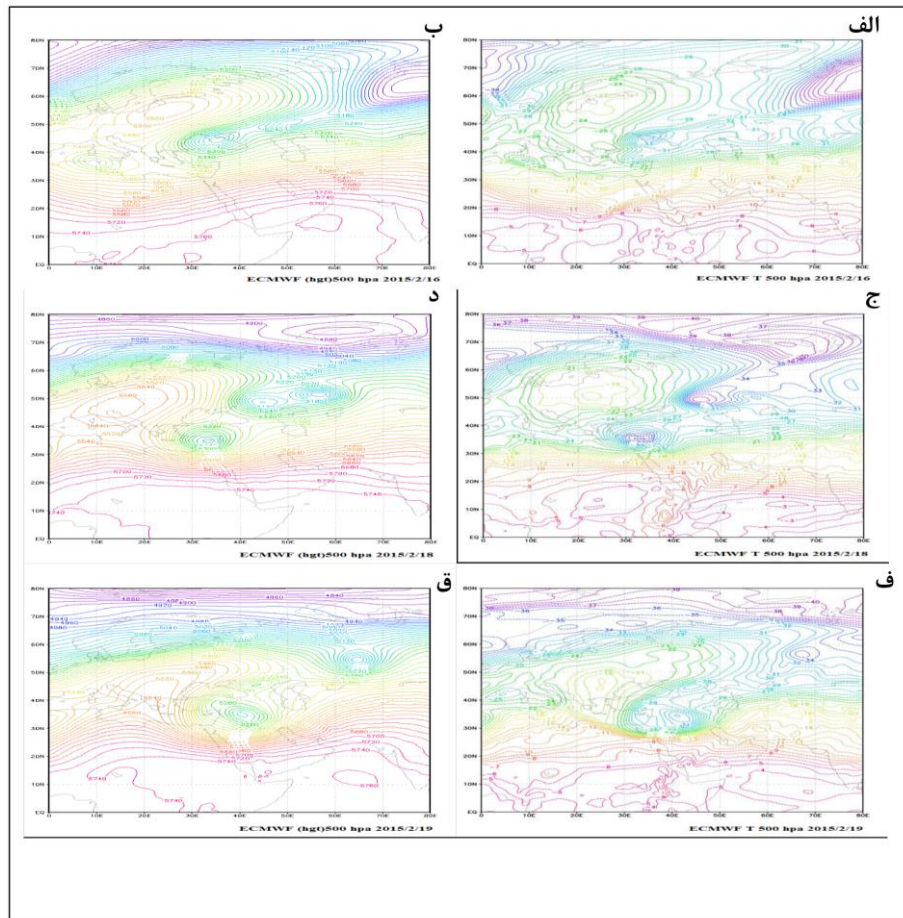
مقدار فراوانی رخداد بارش سنگین و تاثیر کم‌ارتفاع بریده در مناطق چهارگانه و ایران

براساس شکل ۹، (الف) بیشترین فراوانی رخداد بارش سنگین به‌طور میانگین در منطقه شمال غرب با (۱۷۷/۵۹) رخداد و کمترین فراوانی رخداد بارش سنگین در منطقه جنوب شرق با (۴۲/۲۵) رخداد است. به همین ترتیب نیز بیشترین فراوانی بارش سنگین تحت تاثیر کم‌ارتفاع بریده در منطقه شمال غرب با (۳۶/۶۲) رخداد و کمترین رخداد بارش سنگین در منطقه جنوب شرق با (۸/۵) رخداد در طول دوره مطالعاتی بوده است. در ایستگاه‌های مطالعاتی کل ایران (۷۶ ایستگاه) نیز فراوانی رخداد بارش سنگین در طول دوره مطالعاتی به‌طور میانگین (۱۲۴/۷۶) رخداد بوده است و بارش سنگین در اثر تاثیر کم‌ارتفاع بریده در مجموع (۲۶/۱) رخداد بوده است. براساس شکل ۹ (ب) درصد تاثیر کم‌ارتفاع بریده در میزان بارش سنگین مناطق، در منطقه جنوب غرب با ۹/۷۸ درصد بیشترین مقدار و در منطقه جنوب شرق با ۴/۴۱ درصد کمترین مقدار بوده است. سهم کم‌ارتفاع بریده در بارش سنگین کل ایستگاه‌های مطالعاتی پژوهش نیز ۸/۰۲ درصد بود. منطقه شمال غرب با ۸/۱۳ درصد نزدیکترین درصد را به بارش سنگین حاصل از کم



شکل ۹: الف: فراوانی رخداد بارش سنگین و ب: درصد سهم کم‌ارتفاع بریده در میزان بارش سنگین مناطق مختلف و ایران

بررسی و تحلیل همدید یک نمونه کم ارتفاع بریده



شکل ۱۰: دما سمت راست (درجه سلسیوس)، ارتفاع ژئوپتانسیل سمت چپ (ژئوپتانسیل متر) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

دکامتر بوده و نشانگر فرارفت هوای سرد عرض‌های بالا و پرفشار سیبری به سمت عرض‌های پایین است. نقشه‌های دمایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز نشان‌دهنده ریزش هوای سرد پرفشار سیبری و عرض‌های بالا در راستای این ناوه است. که دما در مرکز این هسته به -۳۶ درجه سلسیوس رسیده است (شکل ۱۰ الف و ب). کم‌ارتفاع بریده تشکیل شده بر روی دریای سیاه به تدریج به سمت عرض‌های پایین و شمال و مرکز دریای مدیترانه جابجا شده است. در نتیجه ناوه این کم‌ارتفاع روی مرکز مدیترانه یعنی روی ایتالیا و شبه جزیره بالکان سبب تشکیل جریان هوای شمال‌غربی روی مدیترانه غربی شده است که این حالت پدیده‌ای متداول در فصل زمستان است. در روز ۱۸ فوریه کم‌ارتفاع بریده و ناوه همراه آن در شرق مدیترانه قرار گرفته است که سبب ریزش هوای قاره‌ای سرد و خشک از طریق آلپ و در نتیجه سبب تقویت و تشدید چرخندهای ناحیه قبرس شده است (شکل ۱۰ ج و د). و این حالت بیشترین اثر آب‌وهوایی

الف و ب) مورخ ۲۰۱۵/۲/۱۶، ج و د) مورخ ۲۰۱۵/۲/۱۸ و ف و ق) مورخ ۲۰۱۵/۲/۱۹

شکل ۱۰ نمونه کم‌ارتفاع بریده تشکیل شده در روز ۱۶، ۱۸ و ۱۹ فوریه سال ۲۰۱۵ است که سبب بارش و به‌ویژه بارش سنگین در برخی ایستگاه‌های مطالعاتی شده است. در این شکل از نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و دمای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال استفاده شد. در روز ۱۶ فوریه پشته ارتفاعی که از شمال آفریقا و شرق دریای مدیترانه تا مرکز و شمال اروپا کشیده شده است، سبب ایجاد بلاکینگ در این منطقه شده است. در قسمت شرق این پشته ارتفاعی، ناوه عمیقی از غرب روسیه تا جنوب‌غرب دریای مدیترانه و شمال آفریقا کشیده شده است و منتهالیه شرق مدیترانه و نیمه شمالی دریای سرخ در منطقه تاوایی مثبت آن قرار داشته است. در قسمت انتهایی این ناوه عمیق که به سمت عرض‌های پایین حرکت کرده، یک کم‌ارتفاع بریده بر روی دریای سیاه تشکیل شده است. فشار مرکزی آن ۴۸۰۰ ژئوپتانسیل

را در ایران می‌تواند ایجاد کند و باعث اغتشاشات جوی به ویژه افزایش بارش در ایران شود. همچنین گسترش پشته در روز هجدهم و نوزدهم بر روی نیمه مرکزی اروپا و ریزش هوای سرد به داخل کم‌ارتفاع بریده ضمن افزایش شیب فشار در منطقه شرق مدیترانه، امکان نفوذ ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را تا قسمت‌های میانی دریای سرخ میسر ساخته است. و در روز ۱۹ فوریه کم‌ارتفاع بریده در عراق و سوریه قابل مشاهده است. حرکت شرق سو و عمیق‌تر شدن ناوه باعث شده است که کم‌ارتفاع بریده رطوبت مرکز و شرق دریای مدیترانه را جذب کند و در ادامه مسیر با همراه شدن جریان‌های باد با هسته‌های بیشینه نم ویژه بر روی کشور سودان و دریای سرخ، رطوبت لازم برای وقوع بارش که از غرب، جنوب‌غرب و شمال‌غرب به ایران کشیده شده را فراهم نموده است (شکل ۱۰ ف و ق). در ایستگاه‌های جنوب غرب ایران یعنی شیراز و امیدیه به ترتیب (۲۶) و (۱۶) میلی‌متر بارش سنگین در ۱۶ فوریه ۲۰۱۵ گزارش شده است. در روز ۱۸ فوریه کم‌ارتفاع بریده گسترده‌تری پیدا کرده و بیشترین میزان بارش سنگین را در ایستگاه‌های مطالعاتی داشته است که می‌توان به ایستگاه های آبدلی (۲۱/۶)، الیگودرز (۲۴/۱)، همدان (۱۵)، طبس (۱۲)، خرمدره (۳۴)، قزوین (۱۵) و تبریز (۱۶/۱) میلی متر اشاره کرد. در روز ۱۹ و ۲۰ فوریه ایستگاه‌های با بارش سنگین متاثر از کم‌ارتفاع بریده شامل ایستگاه‌های شهرکرد در ۲۰ فوریه با (۲۲/۸)، اهواز در ۲۰ فوریه (۲۲)، قوچان در ۱۹ فوریه (۱۵/۷)، الیگودرز در روز ۲۰ فوریه (۲۴/۱) و ماکو در روز ۲۰ فوریه با (۱۵) میلی‌متر بارش بوده‌اند. در مجموع به نظر می‌رسد کمترین فراوانی رخداد کم‌ارتفاع بریده در سال ۲۰۱۰ می‌تواند باعث محدودیت شرایط بارش در سطح کشور شده باشد و با افزایش روند رخداد کم‌ارتفاع‌های بریده در ماه‌های فصول سرد سال نظیر فوریه ۲۰۱۵، با کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل و کاهش ضخامت جو، شرایط برای اشباع شدن هوا از بخار آب موجود در هوا بویژه در مناطق شمال‌غرب و جنوب‌غرب کشور بیشتر مهیا شده و منجر به رخداد بارش سنگین شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش در طول دوره آماری ۳۳ سال (۲۰۱۸ - ۱۹۸۶) در مجموع ۶۳۲ کم‌ارتفاع بریده با طول عمر ۲ روز

و بیشتر شناسایی شدند. میانگین فراوانی ۱۸/۸۷ رخداد برای کم‌ارتفاع‌های بریده در هر سال در طول دوره آماری مشخص است. در سال‌های مطالعاتی بیشترین فراوانی رخداد کم‌ارتفاع بریده با ۲۸ رخداد مربوط به سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۸۹، ۲۰۱۲، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ است. کمترین فراوانی کم‌ارتفاع بریده با ۱۰ رخداد در سال ۲۰۱۰، بعد فراوانی ۱۱ رخداد در سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۹ است. خط روند طول دوره آماری دارای شیب ملایم مثبت است، که نشان می‌دهد مقدار کم‌ارتفاع‌های بریده به‌ویژه در سال‌های اخیر رو به افزایش است. بررسی توزیع ماهانه کم‌ارتفاع‌های بریده در طول دوره مطالعاتی نشان داد که بیشترین رخداد کم‌ارتفاع بریده به ترتیب در ماه‌های اکتبر (۸۴)، مارس (۶۴) و ژانویه (۶۰) است. کمترین رخداد کم‌ارتفاع بریده نیز در ماه‌های جولای (۲۸)، آگوست (۳۲) و ژوئن (۳۳) است. از لحاظ فصلی، فصل پاییز با مجموع ۲۰۸ (۳۳٪) بیشترین تعداد رخداد کم‌ارتفاع بریده را داشته است. فصل زمستان با ۱۸۲ (۲۹٪) رخداد کم‌ارتفاع بریده در رتبه دوم در بین فصول سال قرار دارد. فصل بهار نیز با تعداد ۱۳۸ (۲۲٪) رخداد در رتبه بعدی قرار دارد. که نشان دهنده عقب‌نشینی بادهای غربی به سمت مناطق عرض‌های بالا و تشکیل کم‌ارتفاع‌های بریده بیشتر در اثر این جابجایی است. فصل تابستان با ۱۰۴ (۱۶٪) رخداد کم‌ارتفاع بریده در بین فصل‌ها کمترین تعداد را دارد. در فصل تابستان رودبادها به سمت عرض‌های بالاتر می‌روند که تعداد اندک کم‌ارتفاع‌های بریده تشکیل شده در این فصل به خوبی نشان‌دهنده این مسئله است. سهم کم‌ارتفاع بریده در بارش سنگین مناطق چهارگانه در طول دوره آماری نسبت به هم متفاوت بوده است. در منطقه شمال‌غرب بیشترین سهم یا درصد اثر کم‌ارتفاع بریده بر بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های کاشان، تکاب، اراک، مهاباد، مراغه، پیرانشهر، سقز و تبریز است. و کمترین درصد تاثیر این پدیده در بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های خرم‌آباد، کرج، بابلسر، قراخیل و پارس‌آباد بود. در منطقه جنوب‌شرق بیشترین درصد اثر کم‌ارتفاع بریده در فراوانی رخداد بارش سنگین در ایستگاه های چابهار و بندرعباس و کمترین درصد تاثیر کم‌ارتفاع بریده به ترتیب در ایستگاه‌های جاسک، زابل و ابوموسی بود. در منطقه جنوب‌غرب بیشترین سهم اثر کم‌ارتفاع بریده در بارش سنگین به ترتیب در ایستگاه‌های بوشهر و کیش

کم‌ارتفاع بریده در منطقه شمال غرب و کمترین در منطقه جنوب شرق در طول دوره مطالعاتی بوده است. که به‌طور مشخص ورود کم‌ارتفاع‌های بریده از جهت شمال غرب و نزدیکی منطقه شمال غرب به محل تشکیل کم‌ارتفاع‌های بریده و همچنین دوری منطقه جنوب شرق از کم‌ارتفاع‌های بریده و تاثیر کم این پدیده در بارش سنگین این منطقه را نشان می‌دهد.

سپاسگزاری

نویسنده این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.

و کمترین درصد به ترتیب در ایستگاه‌های امیدیه و دوقونبادان است. در منطقه مطالعاتی شمال شرق بیشترین سهم اثر کم‌ارتفاع بریده در بارش سنگین در ایستگاه‌های بیرجند و فردوس و طبس و کمترین تاثیر نیز در ایستگاه‌های گرگان، مشهد و قوچان بوده است. بیشترین رخداد بارش سنگین تحت تاثیر کم‌ارتفاع بریده در منطقه شمال غرب با (۳۶/۶۲ رخداد) و کمترین در منطقه جنوب شرق با (۸/۵ رخداد) در طول دوره مطالعاتی بوده است. که به‌طور مشخص ورود کم‌ارتفاع‌های بریده از جهت شمال غرب و نزدیکی منطقه شمال غرب به محل تشکیل کم‌ارتفاع‌های بریده و همچنین دوری منطقه جنوب شرق از کم‌ارتفاع‌های بریده و تاثیر کم این پدیده در بارش سنگین این منطقه را نشان می‌دهد. بیشترین رخداد بارش سنگین تحت تاثیر

References

- Azizi, Q., Moradi, M. and Rezaei, H., 2017. Climatology Cut-Off Low affecting Iran and its relationship with NAO and ENSO, Geographical Research Quarterly, v. 1, p. 158-173 (In Persian).
- Alijani, B., 1385. Climate of Iran, Payam Noor University Press (In Persian).
- Naseri, N., 2016. The effect of the blocking system on Iran's rainfall, Master's thesis, Dr. Ali Shariati Faculty of Literature and Humanities, Ferdowsi University of Mashhad (In Persian).
- Ashraf, S., 2013. Synoptic analysis of flood systems in the Qarasu basin, Master's thesis, Faculty of Literature and Humanities, Mohaghegh Ardabili University (In Persian).
- Balyani, S. and Saligheh, M., 2015. Analysis and extraction of atmospheric patterns leading to daily heavy rains in the north of the Persian Gulf under study: Helleh and Mand watersheds. Spatial Analysis of Environmental Hazards, v. 3(2), p. 79-98 (In Persian).
- Bell, G. and Bosart, L.F., 1989. A 15-year climatology of Northern Hemisphere 500 mb closed cyclone and anticyclone centers. Mon. Wea. Rev., v. 117, p. 2142-2164, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1989\)117:2142:AYCONH.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1989)117:2142:AYCONH.2.0.CO;2).
- Bozkurt, D., Rondanelli, R., Garreaud, R. and Arriagada, A., 2016. Impact of warmer eastern tropical Pacific SST on the March 2015. Atacama floods. Mon. Wea. Rev., v. 144, p. 4441-4460, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0041.1>.
- Buckley, B.W., Leslie, L.M., Sullivan, W., Leplastrier, M. and Qi, L., 2007. A rare East Indian Ocean autumn season tropical cut-off low: impacts and a high-resolution modelling study. Meteorol Atmos Phys, v. 96, p. 61-84.
- Davies, J.M., 2006. Tornadoes with cold core 500-mb lows. Wea. Forecasting, v. 21, p. 1051-1062, <https://doi.org/10.1175/WAF967.1>.
- Davis, J.C., 1998. Statistics and data Analysis in geology: 2nded. New Yourk: John, wily&sons.
- Favre, A., Hewitson, B., Tadross, M., Lennard, C. and Mota, R., 2012. Relationships between CutOff Lows and the Semiannual and Southern Oscillations, Climate Dynamics, v. 38, p. 1473-1487.
- Favre, A., Hewitson, B., Lennard, C., Cerezo-Mota, R. and Tadross, M., 2014. Cut-off Lows in the South Africa region and their contribution to precipitation, 14 July 2012 / Accepted: 29 October 2012 Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012.
- Fuenzalida, H.A., Sánchez, R. and Garreaud, R.D., 2005. A climatology of cutoff lows in the Southern Hemisphere. J. Geophys. Res., v. 110, D18101, <https://doi.org/10.1029/2005JD005934>.
- Griffiths, M., Reeder, M.J., Low, D.J. and Vincent, R.A., 1998. Observations of a cut-off low over southern Australia. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., v. 124, p. 1109-1132, <https://doi.org/10.1002/qj.49712454805>.
- Haji Khani, N., 2017. The role of mid-latitude atmospheric Cut-Off Low in the continuation of daily rainfall in western Iran, Master's thesis, Faculty of Literature and Human Sciences, Razi University (In Persian).
- Heydari Monfard, Z., 2012. Statistical and observational analysis of hail in the northwest region of Iran, Master's thesis, Faculty of Literature and Humanities, Zanjan University (In Persian).

- Hirota, N.Y.N., Takayabu, M. and Arakane, S., 2016. Roles of an atmospheric river and a cutoff low in the extreme precipitation event in Hiroshima on 19 August 2014. *Mon. Wea. Rev.*, v. 144, p. 1145-1160, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-15-0299.1>.
- Homar, V., Gaya, M. and Ramis, C., 2001. A synoptic and mesoscale diagnosis of a tornado outbreak in the Balearic Islands. *Atmos. Res.*, v. 56, p. 31-55, [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(00\)00087-9](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(00)00087-9).
- Kentarchos, A. and Davies, T.D., 1998. A climatology of cut-off lows at 200 hPa in the Northern Hemisphere, 1990–1994. *Int. J. Climatol.*, v. 18, p. 379-390, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19980330\)18:4:379::AID-JOC257.3.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19980330)18:4:379::AID-JOC257.3.CO;2-F).
- Llasat, M.C., Martín, F. and Barrera, A., 2007. From the concept of “Kaltlufttropfen” (cold air pool) to the cut-off low. The case of September 1971 in Spain as an example of their role in heavy rainfalls. *Meteor. Atmos. Phys.*, v. 96, p. 43-60, <https://doi.org/10.1007/s00703-006-0220-9>.
- Mohr, S., Wilhelm, J., Wandel, J., Kunz, M., Portmann, R., Punge, H.J., Schmidberger, M., Quinting, J.F. and Grams, Ch.M., 2020. The role of large-scale dynamics in an exceptional sequence of severe thunderstorms in Europe May–June 2018. *Wea. Climate Dyn.*, v. 1, p. 325-348, <https://doi.org/10.5194/wcd-1-325-2020>.
- Muñoz, C., Schultz, D. and Vaughan, G., 2020. A midlatitude climatology and interannual variability of 200- and 500-hPa cutoff lows. *J. Climate*, v. 33, p. 2201-2222, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0497.1>.
- Ndarana, Th. and Waugh, D.W., 2010. The link between cut-off lows and Rossby wave breaking in the Southern Hemisphere, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society Q. J. R. Meteorol. Soc.*, v. 136, p. 869-885, April 2010 Part B.
- Nieto, N., Gimeno, L., De, L., Torre, L., Ribera, P., Gallego, D., García Herrera, R., García, J.A., Nuñez, M., Redaño, A. and Lorente, J., 2004. Climatological Features of Cut off Low Systems in the Northern Hemisphere.
- Nieto, R., Gimeno, L., Torre, L., Ribera, P., Barriopedro, D., Herrera, R., Serrano, A., Gordillo, A., Redano, A. and Lorente, J., 2007. Interannual Variability of Cut-Off Low Systems over the European Sector: The Role of Blocking and the Northern Hemisphere Circulation Modes, *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 96, p. 85-101.
- Nieto, R., Gimeno, L., Torre, L., Ribera, P., Gallego, D., Herrera, R., Garcia, J., Nunez, M., Redano, A. and Lorente, J., 2005. Climatological Features of Cutoff Low Systems in The Northern Hemisphere, *Journal of Climate*, v. 18, p. 3085-3103.
- Nito, R., Sprenger, M., Wernli, H., Trigo, R.M. and Gimeno, L., 2008. Identification and climatology of cut-off lows near the tropopause. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, v. 1146, p. 256-290, <https://doi.org/10.1196/annals.1446.016>.
- Nito, R., 2005. Climatological Features of cut-off low systems, *Journal of climate*.
- Palmen, E. and Newton, C.W., 1969. *Atmosphere circulation systems*: New Yourk Academic press.
- Omidar, K., Elfati, S., Iqbali Babadi, F. and Moradi, K., 2013. Thermodynamic analysis of heavy rainfalls caused by Cut-Off Low phenomenon in the central and southwestern regions of Iran during the rainfall of 11 December 2017, *Geography and Hazards Quarterly. Environment*, v. 5, p. 1-19 (In Persian).
- Omidar, K., Safarpour, F., Mahmoodabadi, M. and Alfati, S., 2018. Collaborative analysis of the effects of Cut-Off Low in the occurrence of heavy rains in the center and southwest of Iran, *Journal of Planning and Space Planning*, v. 14(4), p. 161-189 (In Persian).
- Omidhar, K., Narangifard, M., Mahmoodabadi, M. and Fakhari Vahad, M., 2014. thermodynamic analysis and observation of exceptional spring rains and the role of cloud height in the occurrence of rains in Shiraz, *The Geographical Journal of the Land*, v. 12(47), p. 111-93 (In Persian).
- Parker S.S.J.T., Hawes, S., Colucci, J. and Hayden, B.P., 1989. Climatology of 500 mb cyclones and anticyclones 1950–85. *Mon. Wea. Rev.*, v. 117, p. 558-571, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1989\)117:0558:COMCAA.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1989)117:0558:COMCAA.2.0.CO;2).
- Pinheiro, H.R., Hodges, K.I., Gan, M.A. and Ferreira, N.J., 2017. A new perspective of the climatological features of upperlevel cut-off lows in the Southern Hemisphere, *Climate Dyn.*, v. 48, p. 541-559, <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3093-8>.
- Pinheiro, H.R., Hodges, K.I., Gan, M.A. and Ferreira, N.J., 2017. A new perspective of the climatological features of upperlevel cut-off lows in the Southern Hemisphere. *Climate Dyn.*, v. 48, p. 541-559, <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3093-8>.
- Porcu, F., Carrassi, A., Medaglia, C.M., Prodi, F. and Mugnai, A., 2007. A study on cut-off low vertical structure and precipitation in the Mediterranean region. *Meteorol Atmos Phys*, v. 96, p. 121-140.
- Pourasghar, F., Mohammadi, G.H., Soltani, M., Javanmard, S. and Omidfar, M., 2015. Synoptic analysis of Cut-Off Low of the upper levels in relation to the formation or intensification of precipitation in East Azerbaijan province in The warm period of the year, *Geography and Development*, v. 43, p. 171-189 (In Persian).

- Qi, L., Wang, Y. and Leslie, L., 2000. Numerical Simulation of a Cut-Off Low Over Southern Australia, *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 74, p. 103-115.
- Rasti, F. and Omidar, K., 2014. Synoptics analysis of Cut-Off Low effect on the occurrence of the heaviest rainfall in Mashhad during the statistical period of 49 years (1340-1389). The second national conference of applied researches in geography and tourism (In Persian).
- Rahimi, D., Atashi, N. and Bashirian, F., 2021. The effect of Blocking systems on droughts in Iran (case study: Azar and December 2013), *Iran Water Resources Research*, v. 17(4), p. 1-10 (In Persian).
- Reboita, M.S., Nieto, R., Gimeno, L., Rocha, R.P., Ambrizzi, T., Garreaud, R. and Krügger, L.F., 2010. Climatological features of cutoff low systems in the Southern Hemisphere. *J. Geophys. Res.*, v. 115, D17104, <https://doi.org/10.1029/2009JD013251>.
- Rezaei, H., 2016. The role of Cut-Off Low in Iran's rainfall, Ph.D. dissertation in hydrology and meteorology, Faculty of Geography, University of Tehran (In Persian).
- Salahi, B., Ebrahimi Tabar, A., Roshanali, M. and Omidzadeh, H., 2017. An analysis of synoptic patterns of torrential rains (case study: 132 mm rainfall dated 22/7/2013 in Behshahr city), *Journal Geographical Sciences*, v. 29, p. 227-240 (In Persian).
- Samakosh, M., Soltani, J., Hanafi, M. Azizi, Gh., Mirzaei, E., Ranjbar SaadatAbadi, A. and Yousefi, Y., 2014. The omega blocking condition and extreme rainfall in Northwestern Iran during 25 - 28 October 2008. *Journal of the Earth and Space Physics*, v. 40(3), p. 55-74.
- Schumacher, R.S. and Johnson, R.H., 2008. Mesoscale processes contributing to extreme rainfall in a midlatitude warm-season flash flood. *Mon. Wea. Rev.*, v. 136, p. 3964-3986, <https://doi.org/10.1175/2008MWR2471.1>.
- Seko, H., Kunii, M., Yokota, S., Tsuyuki, T. and Miyoshi, T., 2015. Ensemble experiments using a nested LETKF system to reproduce intense vortices associated with tornadoes of 6 May 2012 in Japan. *Prog. Earth Planet. Sci.*, v. 2, p. 42-61, <https://doi.org/10.1186/s40645-015-0072-3>.
- Shafiei, S., 2016. Investigation of the threshold of extreme precipitation (Frein) and synoptic analysis of patterns affecting their occurrence in western Iran, Ph.D. dissertation in hydrology and meteorology (environmental risks), Humanities and Social Sciences Campus, Yazd University (In Persian).
- Singleton, A.T. and Reason, C.J.C., 2007. Variability in the characteristics of cut-off low pressure systems over subtropical southern Africa. *Int. J. Climatol.*, v. 27, p. 295-310, <https://doi.org/10.1002/joc.1399>.
- Singleton, A.T. and Reason, C.J., 2007. A numerical model study of an intense cutoff low pressure system over South Africa. *Mon. Wea. Rev.*, v. 135, p. 1128-1150, <https://doi.org/10.1175/MWR3311.1>.
- Smith, B.A. and Bosart, L.F. and Keyser, D., 2002. A global 500 hPa cutoff cyclone climatology: p. 1953-1999. Preprints, 19th Conf. on Weather Analysis and Forecasting, San Antonio, TX, Amer. Meteor. Soc., P1.14, https://ams.confex.com/ams/SLS_WAF_NWP/tchprogram/paper_47082.htm.
- Smith, B.A. and Bosart, L.F. and Keyser, D., 2002. A global 500 hPa cutoff cyclone climatology, p. 1953-1999. Preprints, 19th Conf. on Weather Analysis and Forecasting, San Antonio, TX, Amer. Meteor. Soc., P1.14, https://ams.confex.com/ams/SLS_WAF_NWP/tchprogram/paper_47082.htm.
- Taljaard, J., 1985. Cut-off lows in the South African region, *South African Weather Bureau Technical Paper*, v. 14, p. 153-168.
- Tsuboki, K. and Ogura, Y., 1999. A potential vorticity analysis of thunderstorm-related cold lows (in Japanese), *Tenki*, v. 46, p. 453-459.
- Wernli, H. and Sprenger, M., 2007. Identification and ERA-15 climatology of potential vorticity streamers and cutoffs near the extratropical tropopause. *J. Atmos. Sci.*, v. 64, p. 1569-1586, <https://doi.org/10.1175/JAS3912.1>.
- Zakizadeh, M.B., Saligheh, M., Naserzadeh, M.H. and Akbari, M., 2017. Statistical and synoptic analysis of the most effective pattern of the river that causes heavy rains in Iran, *Journal of Natural Environment Hazards*, 7th Volume, v. 15, p. 31-48 (In Persian).
- Zhao, S. and Sun, J., 2007. Study on cutoff low-pressure systems with floods over Northeast Asia. *Meteor. Atmos. Phys.*, v. 96, p. 159-180, <https://doi.org/10.1007/s00703-006-0226-3>.