





Analysis of synoptic structure of heavy and super heavy rainfall events in Dorood Broujerd Basin

Ebrahim Beiranvand ¹ | Amir Gandomkar  ² | Alireza Abbasi ³ |
Morteza Khodaghali ⁴

1. Ph.D Student Department of Geography, Na. C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran
2. Professor Associate Department of Geography, Na. C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran
3. Professor Assistant Department of Geography, Na. C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran
4. Professor Associate Rangeland Research Department, Forest and Rangeland Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Article Info:

Article type:

Research Article

Date:

Received:2024.06.15

Received:2024.08.04

Accepted:2024/09/06

Keywords:

Heavy rainfall, Super Heavy Rainfall, Synoptic pattern, Lorestan

Abstract: Heavy rains cause large floods that damage many natural resources needed by humans. In this research, the goal is to reveal synoptic patterns of heavy and super heavy rains in Lorestan Province. To this aim, daily precipitation data from Dorood stations and ECMWF climate database were used. Using percentile method, heavy rains at the 95th percentile and super heavy rains at the 99th percentile were determined. By applying the percentile method to the daily rainfall, two samples of super-heavy (March 27, 2007; April 1, 2019) and two samples of heavy rainfalls (February 3, 2006 and January 9, 1999) were extracted. The results showed that more than 90% of the heavy rainfall cases and more than 70% of the monthly rainfall were recorded in 24 hours. The results of the analysis showed a deep trough over the eastern Mediterranean Sea and western Iran in the super-heavy events, which has prepared the conditions for the ascent air mass and entry of low-pressure systems in the western part of the country. However, in this study, the establishment of a low-altitude blocking system cut off at the atmospheric mid - level has provided the conditions for heavy rainfall events in January and February.

Cite this article: Beiranvand, E, Gandomkar, A, & Abbasi, A, Khodaghali, M. (2024). Analysis of synoptic structure of heavy and super heavy rainfall events in Dorood Broujerd Basin. *Climat Chenge and Climat Disasters*, 3(6), 233-260.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan.



Extended Abstract

Introduction

In Iran, precipitation is one of the basic variables for assessing the potential existence of water resources. Heavy precipitation is one of the pieces of evidence and effects of climate anomalies that have subjected the Earth to various crises, including severe floods, widespread damage to agricultural and transportation infrastructure, and loss of human life. Accordingly, studying and understanding the synoptic mechanism of the formation of these events in order to predict and warn accurately before they occur plays an important role in managing these events. The occurrence of heavy rainfall, so that its amount exceeds the infiltration capacity of the soil, causes runoff and flooding. Now, if these heavy and torrential rainfalls occur in urban areas, they are associated with greater risks, because the infiltration in urban areas is lower than in areas outside the city and a significant amount of such rainfall in urban areas is converted into runoff and floods, causing damage to urban places,

buildings, and facilities. Every year, large areas of the country are affected by the risk of heavy rainfalls, which cause great damage.

Data and Methods

The study area of this study is the Borujerd Dorud Basin in Lorestan Province. Two sets of data were used in this study. The first set is the precipitation data of the synoptic stations of the Borujerd Dorud Basin in the statistical period from 1995 to 2020, and the second set is the data related to the middle, lower, and upper levels of the atmosphere, including the geopotential height of level 500, sea level pressure, humidity of level 850 hectopascals, and the orbital and meridional component of the wind of level 300 hectopascals. The percentile method was used to extract heavy and superheavy precipitation. By implementing the percentile functions, heavy precipitation events whose probability of occurrence was less than 5% were selected as heavy precipitation and precipitation events whose probability of occurrence was less than 2% were selected as

superheavy precipitation for each station.

Findings and results

The highest precipitation occurred in the months of March and December, with precipitation in these two months being 86.2 and 65.8 mm, respectively, and its annual variability was 68.8 and 74.6 mm, respectively. November and April are considered the rainiest months of the year after March and December, with total precipitation in these two months being 62.2 and 66 mm, respectively. The structure of the 500 hectopascal level generally shows the presence of a strong low-level center over the Mediterranean Sea in the two selected heavy precipitation events; in the event of March 27, 2007, the central height was 5500, and on April 1, 2019, the central height was 5550 geopotential meters. With this low-pressure center located in western Iran over the Mediterranean Sea, the northwest, west, center, and even south of the country are in front of this trough, which has created unstable conditions due to the compression of the contour lines in front of this trough. On March 27,

2007, the low-pressure center located in the Mediterranean entered northwest Iran and northern and large parts of central Iran. On this day, the Red Sea low pressure curve covered the entire western to northern and even central region of the country. Such conditions were also seen in a more acute and severe form in the heavy rainfall event of April 1, 2019. In this event, more severe low-pressure centers covered a large part of western, northern and southwestern Iran. The tabs of this low pressure entered Iran from the Red Sea into the Persian Gulf and also from the Mediterranean Sea, and the conditions for moisture injection in the lower levels of the atmosphere were fully prepared. In both heavy rainfall events, the coordination between the pressure systems from the ground surface to the upper levels of the atmosphere caused a strong counterclockwise suction of moisture from the moisture sources of the Red Sea, Persian Gulf, and the Mediterranean Sea. On March 27, 2007, the maximum moisture flux in the Red Sea and then the Persian Gulf

entered western and southwestern Iran as a result of the interaction of the Mediterranean-Sudanese combined system. However, on April 1, 2019, in addition to these two moisture sources, moisture injection from the Mediterranean Sea and the Sea of Oman also took place. The sea level map on February 3, 2006 shows that the penetration of a tab of the Siberian high-pressure system from the northeast and the East European high-pressure system from the northwest provided the conditions for the establishment of a stable high-pressure system over the western and central parts of the country. On February 3, 2006, by weakening and moving eastward, the high-pressure system over Iran, the southern Mediterranean low-pressure system, passing over Turkey and the Black Sea, penetrated into the western and northwestern regions of Iran and extended to the Caspian Sea and expanded there. On January 9, 1999, the merger of two low-pressure systems provided conditions for the occurrence of heavy rainfall. On this day, the low-pressure system from the

Mediterranean Sea, the Black Sea, and the Caspian Sea entered Iran and merged with the Sudanese low, providing conditions for extreme rainfall in the study basin. In the heavy rainfall event of February 3, 2006, the southern currents in the northern Red Sea merged with the western currents and, in the form of a northward current, brought the moisture of the Red Sea to the front of the cut off trough and significantly increased the moisture of the Mediterranean current. However, on January 9, 1999, the establishment of a high-altitude center over southern Arabia and the Arabian Sea at levels of 850 hectopascals provided conditions for the transfer of moisture towards the Sudan and Red Sea regions.

Conclusion

The results showed that on the days under study, a deep trough was present over the eastern Mediterranean Sea, and consequently the western part of Iran was located in the front part of a very deep trough, which clearly provided conditions for the ascent and entry of low-pressure

systems to the west of the country. The dominance of the low-pressure system was also evident on the ground surface. In proportion to the deepening of the westerly wind trough, the moisture sources of the system were provided from the Black Sea and the Red Sea as well as the Persian Gulf, but in the extremely heavy precipitation samples in this

study, in both January and February, the establishment of a low-altitude blocking system cut off in the middle level of the atmosphere provided conditions for flooding and heavy precipitation in the study area.

Keywords: Heavy rainfall, Super Heavy Rainfall, Synoptic pattern, Lorestan



واکاوی جنبه‌های همدید مقیاس رخداد بارش‌های سنگین و ابرسنگین حوضه درود

بروجرد

ابراهیم بیرانوند^۱ | امیر گندمکار^۲ | علیرضا عباسی^۳ | مرتضی خدافلای^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲- دانشیار گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۳- استادیار گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۴- دانشیار تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده: بارش‌های حدی باعث رخداد سیل‌های بزرگ می‌شود که بر بسیاری از منابع مورد نیاز انسان آسیب وارد می‌نماید. هدف این پژوهش آشکارسازی الگوهای همدیدي مولد بارش‌های سنگین و ابرسنگین در حوضه درود است. در این مطالعه داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های حوضه درود و فاکتورهای همدید پایگاه ECMWF استفاده شد. با استفاده از روش صدک‌ها بارش‌های سنگین در صدک ۹۵ و بارش‌های ابرسنگین در صدک ۹۹ طی دوره آماری مشخص شدند. با اجرای روش صدکها روی بارش‌های روزانه ۲ رخداد بارش ابرسنگین (۲۷ مارس ۲۰۰۷، ۱ آوریل ۲۰۱۹) و ۲ رخداد بارش سنگین (۳ فوریه ۲۰۰۶ و ۹ ژانویه ۱۹۹۹) استخراج شد. نتایج نشان داد در رخدادهای بارش ابرسنگین بیش از ۹۰ درصد و در رخدادهای بارش سنگین بیش از ۷۰ درصد بارش ماهانه در ۲۴ ساعت ثبت شده بود. نتایج نشان داد در رخدادهای بارشی ابرسنگین یک ناوه عمیق بر روی شرق دریای مدیترانه و بخش غربی ایران مستقر شده و شرایط صعود و ورود سیستم‌های کم‌فشار را برای غرب کشور مهیا کرده است. اما رخدادهای بارشی سنگین در این مطالعه در هر دو رخداد ماه ژانویه و فوریه استقرار سیستم بلو کینگ کم ارتفاع بریده شده در تراز میانی جو شرایط را برای بارش سنگین فراهم آورده است.

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۶

بازنگری: ۱۴۰۳/۵/۱۴

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۶

واژگان کلیدی:

بارش سنگین، بارش ابرسنگین، الگوهای همدید، حوضه درود بروجرد

استناد: بیرانوند، ابراهیم، گندمکار، امیر، عباسی، علیرضا، خدافلای، مرتضی. (۱۴۰۳). واکاوی جنبه‌های همدید مقیاس رخداد بارش‌های سنگین و ابرسنگین حوضه درود بروجرد. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۳(۶)، ۲۳۳-۲۶۰.

© نویسندگان .

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان



۱. مقدمه

بررسی و شناخت ساز و کار همدیدی شکل‌گیری این رخدادها به منظور پیش بینی و هشدار دقیق قبل از وقوع نقش مهمی در مدیریت این حوادث دارد (Khorshid Dost et al., 2015). وقوع بارش‌هایی با شدت زیاد، به طوری که میزان آن از ظرفیت نفوذ خاک بیشتر باشد، موجب ایجاد رواناب و بروز سیل می‌شود. حال اگر این بارش‌های رگباری و شدید در نواحی شهری اتفاق بیافتد، با خطرهای بیشتری همراه است، زیرا نفوذپذیری در مناطق شهری کمتر از نواحی خارج از شهر است و مقدار در خور توجهی از چنین بارش‌هایی در نواحی شهری به رواناب و سیل تبدیل شده، موجب خسارت دیدن اماکن و ابنیه و تاسیسات شهری می‌شود (Bani Naimeh et al., 2022). هر سال پهنه‌های وسیعی از کشور تحت تأثیر مخاطره بارش‌های سنگین قرار گرفته و خسارات زیادی را به همراه دارد که

در ایران، بارش یکی از متغیرهای اساسی برای ارزیابی موجودیت بالقوه منابع آب به شمار می‌رود. هر چند سرشتی تناوبی دارد، اما توزیع زمانی و مکانی آن بسیار ناموزون بوده و به همین دلیل توزیع منابع آب نیز از یکنواختی برخوردار نیست. نگهداری و مدیریت منابع آب نیز تابعی از بارش دریافتی بوده و هم به تغییرپذیری آن بستگی دارد. بنابراین هر چه تغییرات مکانی بارش کوچکتر باشد، همگنی و یکدستی منابع آب نیز بیشتر می‌شود (Mohammadi & Masoudian, 2009). بارش‌های سنگین از جمله شواهد و آثار 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

استان ایلام و لرستان پرداختند. نتایج نشان داد همزمانی ورود چرخندهای مدیترانه‌ای به ایران و از طرف دیگر استقرار و اچرخند بر روی دریای عرب سبب برقراری جریان قطاع گرم و مرطوب به قطاع گرم سامانه‌های بارش‌زا و احیای آن شده است. هم‌زمان با این وضعیت، پرفشار مستقر بر روی ارتفاعات البرز و دشت‌های میانی کشور باعث کندی حرکت سامانه ناپایدار و ماندگاری بیشتر این سامانه شد. ناوه دریای سرخ با استقرار در تراز میانه جو همراه بوده و امکان صعود عمیق و تشکیل ابر و بارش را فراهم کرده و ایجاد بارش‌های سیل‌آسا در غرب را به همراه داشته است. (2017) Samman & Galos الگوهای همدیدی مرتبط با بارش سنگین در ۵ منطقه از کشور عربستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که شش ویژگی اصلی سیستم‌های همدیدی از جمله رطوبت کل سیستم، فشار، دمای لایه‌های مختلف جو،

پیامدهای فراوان آن وقوع سیلاب‌های شدید و مخرب است که خسارات زیان‌باری به بار می‌آورد. (2018) Ghasemifar et al. به مطالعه الگوهای همدید بارش‌های سیل‌آسا در غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد در روزهای همراه با بارش حدی، آمگا از سطح ۱۰۰۰ تا ۲۰۰ هکتوپاسکالی و با هسته بیشینه ۰/۳- پاسکال بر ثانیه منفی بوده که بر روی غرب ایران قرار داشته است، همچنین رطوبت بیشتر از ۷۰ درصد، قرارگیری در جلوی ترف‌هایی که از کم‌ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ و به‌ویژه ۵۰۰ هکتوپاسکالی مستقر در منطقه، رودبادهایی با سرعت بالای ۳۰ متر بر ثانیه در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال، سرعت باد سطحی بالای ۱۰ متر بر ثانیه و هسته‌های تاوایی مثبت همگی شرایط کرده‌اند. (2017) Salamati Hormozi et al به تحلیل همدیدی - دینامیکی الگوهای جوی سیلاب آبان ۱۳۹۴ در

ویژگی‌های ترمودینامیکی سیستم، و شرایط توپوگرافی منطقه در رخداد بارش سنگین تأثیرگذار بوده است. توزیع فصلی بارش نشان داد که بارش‌های سنگین در زمستان و سپس بهار صورت می‌گیرد. Whi et al (2017) به مطالعه روند شاخص‌های حدی بارش در چین و ارتباط آنها با الگوهای پیوند از دور پرداختند. نتایج این بررسی حاکی از این است که بیشتر شاخص‌ها دارای روند کاهشی بوده و جابه‌جایی اقلیم منطقه با یک اقلیم خشک‌تر را به همراه داشته است. همچنین نتایج نشان داد که تغییرات در این شاخص‌ها می‌تواند متأثر از شاخص انسو، مونسون تابستانی شرق آسیا و شاخص دهه‌ای اقیانوس آرام باشد. Feng et al (2018) به مطالعه بارش‌های شدید در استرالای شرقی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که پدیده ال نینو در بسیاری از دوره‌ها از عوامل اصلی کاهش بارش‌های شدید روزانه و پایین رفتن آستانه بارش‌های حدی بوده است. Lebtion et al (2018) با جمع‌آوری داده‌های بارش روزانه ۴۵۰۰ ایستگاه هواشناسی در سراسر ایتالیا در طول دوره ۱۹۱۶ تا ۲۰۱۴ مناطق مستعد سیلاب را شناسایی نمودند و به این نتیجه رسیدند بیشتر فرین‌های بارشی در دامنه‌های رو به باد آلپ و سواحل رخ داده اند. Omidvar (2018) به تحلیل هم‌دید و ترمودینامیک بارش سنگین و سیلابی روزهای ۵ - ۸ آبان ۱۳۹۴ استان کرمانشاه پرداختند. نقشه‌های تراز دریا نشان داد گرادیان فشاری زیادی بین کم‌فشار سودان و پرفشار اروپایی عامل اصلی رخداد بارش فرین در منطقه می‌باشد. ریزش هوای سرد عرض‌های بالا توسط ناوه تاوه قطبی، تغذیه رطوبت از جنوب در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و بیشینه سرعت باد بر فراز منطقه در سطح ۲۵۰ هکتوپاسکال، امکان بروز

ناپایداری‌های جوی و شروع بارندگی در غرب کشور را فراهم آورده‌اند. نتایج نشان داد طبق شاخص ناپایداری ¹LI در روز ۲۸ اکتبر (روز اوج بارش‌ها) رعدوبرق پراکنده و بر اساس شاخص ²SI در همان روز رگبار پراکنده با احتمال خیلی ضعیف وجود دارد. طبق شاخص ³KI در روز اوج بارش‌ها، این احتمال به ۶۰ تا ۸۰ درصد می‌رسد. Hosseini Sadr et al (2019) به بررسی تحلیل سازوکار همیدیدی بارش سنگین خسارت بار در شمال غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد در روز وقوع بارش سنگین منطقه چرخندی ناوه مدیترانه به همراه جریان هسته رود باد قطبی شرایط مساعدی برای صعود هوا در شمال غرب کشور فراهم کرده است و نقشه‌های رطوبتی نیز حاکی انتقال رطوبت قابل ملاحظه از مسیر دریای سرخ به سمت

شمال غرب ایران می‌باشد. لذا تبدیل سریع رطوبت جو به بارش در منطقه چرخندی ناوه عامل اصلی وقوع بارش سنگین در این روز بوده است. (Yan et al (2019) به بررسی و تحلیل حساسیت همادی بارش سنگین وابسته به سه سامانه همرفتی میان مقیاس همزمان، در جنوب چین پرداختند. نتایج نشان داد مهمترین عامل بارش سنگین، وجود جت سطح فوقانی جو و توپوگرافی سطح زمین می‌باشد، بعد از این عامل همگرایی ترازهای بالا و پایین جو نقش اساسی در رخداد بارش منطقه را ایفا می‌کند. (Beiranvand et al (2022) وضعیت آماری- سینوپتیکی بارش‌های سنگین سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در حوضه آبریز درود بروجرد را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که وجود یک ناوه عمیق با یک هسته بسته‌شده با ارتفاع

³. K Index

¹. Lifted Index

². showalter index

۵۵۰۰ و ۵۵۵۰ ژئوپتانسیل متر بر روی شرق دریای مدیترانه و قرارگیری غرب ایران در بخش جلویی یک ناوه بسیار عمیق شرایط صعود و ورود سیستم‌های کم‌فشار را برای غرب کشور به وضوح فراهم کرده است. در این دو روز شاخص امگا به صورت معنی‌داری به مقدار حدی (۰.۲-) رسیده بود. بارش‌های سنگین به عنوان عاملی مخاطره انگیز در بروز حوادث طبیعی همانند سیل مطرح می‌باشند از اینرو مطالعه همدیدی سیستم‌های مولد آن می تواند نقش مهمی در تشخیص به موقع و کنترل سیلاب و کاهش ضایعات و تخریب داشته باشند بنابراین برای استفاده بهتر از بارش یک منطقه، ابتدا ضرورت دارد شناختی کافی از شرایط همدید، دینامیک و ترمودینامیک جو، هنگام رخداد بارش در آن ناحیه صورت گیرد. باتوجه به قرارگیری حوضه درود بروجرد در نیمه غربی کشور و به تبع آن نزدیکی به منابع

رطوبتی و همچنین ماهیت کوهستانی که دارد از سامانه های غربی تأثیر زیادی می‌پذیرد، این عوامل سبب وقوع بارش‌های شدیدی در منطقه مورد مطالعه شده و در نهایت منجر به رخداد سیل و خسارت های سنگین جانی و مالی می‌شود. بدیهی است شناسایی عوامل ایجاد کننده سیل و پیش بینی وقوع آن از جمله اقداماتی است که می‌تواند خسارت‌های ناشی از آن را کاهش دهد. لذا در این تحقیق هدف اساسی، تحلیل و مقایسه ساختار الگوهای ترمودینامیکی و همدیدی بارش‌های سنگین بهاره و زمستانه است.

۲. داده‌ها و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

استان لرستان با مساحت ۲۸۳۰۸ کیلومترمربع طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۲ دقیقه و ۵۵ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه و ۴۵ ثانیه شرقی، و عرض شمالی ۳۲

و زهکش اصلی این محدوده را رودخانه‌های سیلاخور، ماربره و رودخانه تیره تشکیل می‌دهند. حوضه درود و بروجرد نیز هر ساله درگیر بارش‌های رگباری شده و گاهی شدت این بارش‌ها به اندازه‌ای است که منجر به ایجاد سیل‌ها و رواناب‌های شدید می‌گردد.

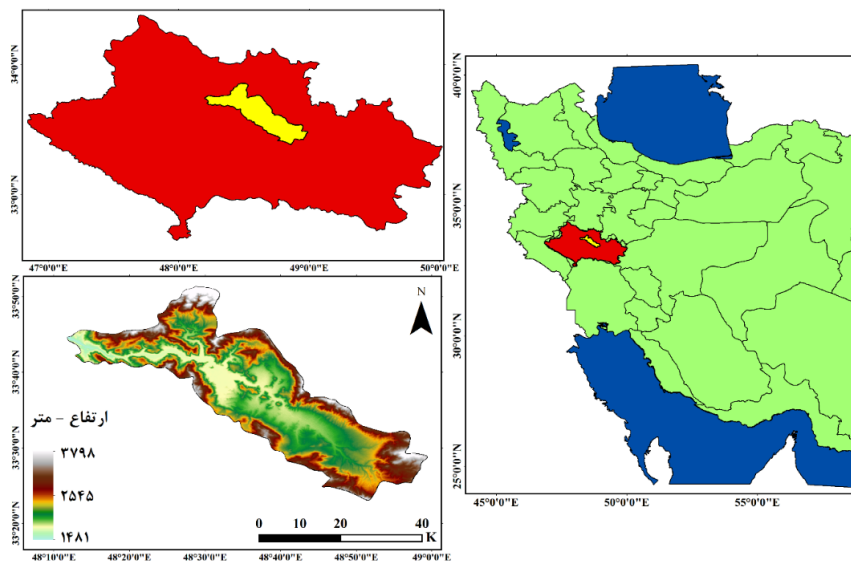
۲.۲. داده‌ها

در این تحقیق از دو دسته از داده‌ها استفاده شد دسته اول داده‌های بارش ایستگاه‌های همدید سطح حوضه درود بروجرد در دوره آماری ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۰ است که از سازمان هواشناسی استان لرستان اخذ گردید. دسته دوم داده‌های مربوط به فاکتورهای تراز میانی و پایینی و بالایی جو شامل ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰، فشار سطح دریا، رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، مؤلفه مداری و نصف‌النهاری باد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال بود که از پایگاه ECMWF اخذ گردید.

در جه و ۳۸ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۲۵ دقیقه و ۰ ثانیه در غرب ایران قرار دارد.

منطقه مورد مطالعه این تحقیق حوضه آبریز دورود بروجرد در استان لرستان است (شکل ۱). این حوضه آبریز یکی از زیر حوضه‌های حوضه آبریز کارون بزرگ است.

این زیر حوضه دورود-بروجرد با وسعت نسبتاً زیاد به میزان ۲۵۴۶ کیلومترمربع در شمالی‌ترین قسمت حوضه آبریز کارون بزرگ و در جنوب محدوده مطالعاتی اشرینان واقع شده است که از لحاظ مدیریتی زیر مجموعه شرکت منابع آب استان لرستان است. ۵۶۶ کیلومترمربع از وسعت این حوضه را دشت و ۱۹۹۷ کیلومترمربع از وسعت محدوده را ارتفاعات تشکیل می‌دهند. به علت ورود جریان‌های سطحی به این محدوده و همچنین وجود بارندگی کافی و برف‌گیر بودن ارتفاعات این محدوده مسیل‌های واقع در آن دائمی بوده



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه. ترسیم: نگارندگان

۲.۳. روش‌ها

۹۵ (م) است به‌عنوان بارش‌های سنگین و بارش‌هایی که احتمال رخداد آن‌ها کمتر از ۲ درصد بود (بالاتر از صدک ۹۹) به‌عنوان بارش‌های ابرسنگین هر ایستگاه انتخاب شد. آن‌گاه از بین این روزها، روزهایی که حداقل در بین ۵۰ درصد ایستگاه‌های منطقه مشترک بود، به‌عنوان بارش سنگین و ابرسنگین فراگیر انتخاب و مورد تحلیل قرار می‌گیرد؛ لذا دو شرط برای انتخاب

در این تحقیق برای استخراج بارش‌های سنگین و ابرسنگین از روش صدک‌ها استفاده شد. براساس روش صدک‌ها، بارش روزانه ایستگاه مورد بررسی طی دوره آماری ۱۹۹۵ - ۲۰۲۰ تحلیل گردید. با اجرای توابع صدک‌ها در نرم افزار اکسل، رخدادهای بارش سنگین که احتمال رخداد آن‌ها کمتر از ۵ درصد بوده (بالاتر از صدک

بارش‌های حدی با استفاده از نم ویژه و ساختار روابدهای موثر در هدایت سامانه‌های همدید نیز از طریق نقشه رودباد شناسایی شد.

۳. یافته‌ها و نتایج

۳.۱. تحلیل ویژگی‌های بارش حوضه

دورد بروجرد

در جدول (۱) ویژگی‌های آمار توصیفی بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک بروجرد ارائه شده است. همانطور که در این جدول دیده می‌شود، بالاترین میزان بارش در دو ماه مارس و دسامبر رخ داده که میزان بارش در این دوماه به ترتیب برابر با ۸۶/۲ و ۶۵/۸ میلیمتر می‌باشد و میزان تغییرپذیری سالانه آن به ترتیب برابر ۶۸/۸ و ۷۴/۶ بوده است. در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر (خرداد تا شهریور) دوره تقریباً بدون بارش غالب است و در این ماه‌ها میانگین بارش در ایستگاه سینوپتیک

روزها که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت، بالاتر بودن بارش ثبت شده روزانه از آستانه صدک ۹۵م و ۹۹م و ثبت شدن حداقل در ۵۰ درصد از ایستگاه‌های حوضه.

برای تحلیل ساختار همدید بارش‌های سنگین و ابرسنگین حوضه درود بروجرد از فاکتورهای فشار سطح دریا (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰، رطوبت ویژه تراز ۸۵۰ و مولفه‌های عمودی و افقی باد در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال، استفاده شد. این مولفه‌های همدید با شبکه‌بندی فضایی ۰/۲۵ درجه قوسی از پایگاه پیش‌بینی‌های میان برد اروپا (ECMWF) اخذ شد. با استفاده از مولفه فشار سطح دریا، توزیع فضایی کم فشارها و پرفشارها در هنگام بارش‌های حدی استخراج شد، با استفاده از مولفه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ساختار کلی ناوه‌ها و پشته‌های مولد رخداد حدی شناسایی گردید. میزان و منابع تزریق و تامین رطوبت این

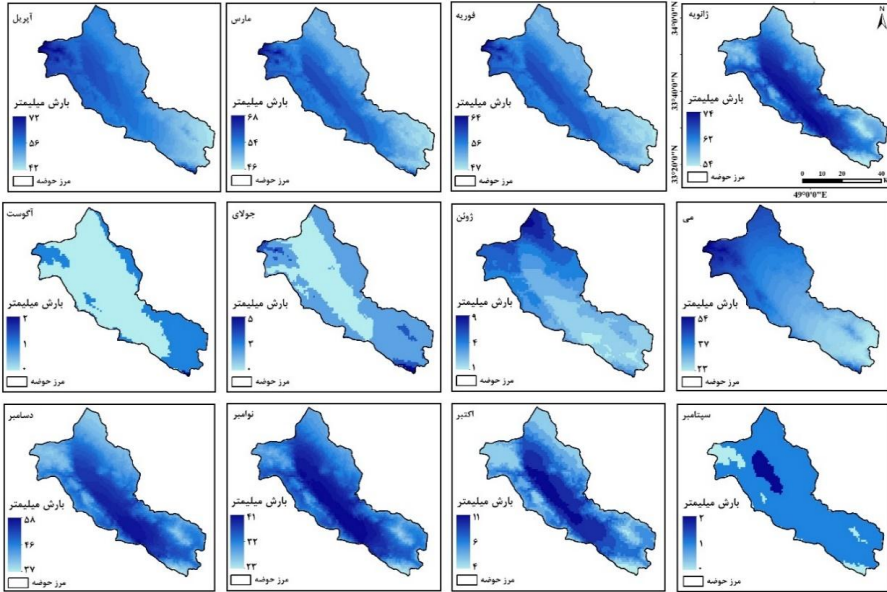
نزدیک به صفر بوده است. ماه‌های نوامبر و آوریل بعد از دو ماه مارس و دسامبر پربارش ترین ماه‌های سال به حساب می‌آیند و مجموع بارش در این دو ماه به ترتیب برابر ۶۶ و ۶۲/۲ میلیمتر است.

جدول ۱: ویژگی های آمار توصیفی بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک بروجرد

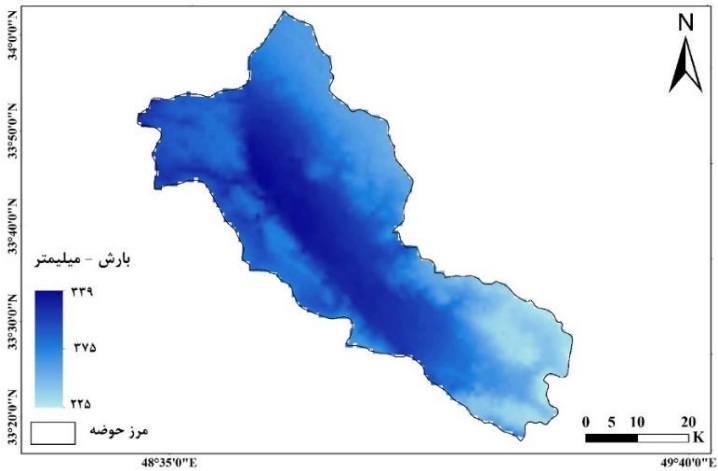
ماه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداقل	حداکثر
ژانویه	۵۶/۷	۳۲/۳	۵۷	۵/۹۱	۱۶۱/۹۲
فوریه	۵۵/۱	۲۸/۴	۵۱/۶	۶/۶	۱۴۰/۶
مارس	۸۶/۲	۵۹/۳	۶۸/۸	۲/۰۲	۲۷۰/۵۳
آوریل	۶۶	۴۳/۷	۶۶/۱	۰	۱۶۳/۷۱
مه	۲۲/۲	۱۹/۱	۸۵/۹	۰/۴۲	۶۶/۵۲
ژوئن	۱/۳	۲/۲	۱۶۹/۶	۰	۸/۶
ژولای	۰/۱	۰/۲	۲۲۳/۵	۰	۰/۹۱
آگوست	۰	۰/۲	۵۶۴/۵	۰	۱/۱
سپتامبر	۰/۲	۰/۴	۲۴۳/۳	۰	۲/۰۱
اکتبر	۱۹	۲۰/۸	۱۰۹/۳	۰	۶۵/۵۳
نوامبر	۶۲/۲	۵۱	۸۲/۱	۶/۸۱	۲۵۵/۲
دسامبر	۶۵/۸	۴۹	۷۴/۶	۱/۸۱	۲۱۵/۱۱

در شکل (۳) توزیع فضایی مجموع بارش سالانه منطقه مطالعاتی ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد، میانگین کمترین بارش ۲۲۵ میلیمتر است که در جنوب شرق منطقه قرار گرفته، این در حالی است که میانگین بیشترین بارش ۳۳۹ میلیمتر برای مرکز منطقه است.

نقشه میانگین بارش طی ماه‌های مختلف سال نیز در شکل (۲) ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود در ماه‌های سرد سال میزان بارش در مرکز حوضه بیشتر از سایر قسمت‌های حوضه بوده است. در ماه‌های گرم سال نیز مناطق شمالی حوضه از بارش بیشتری برخوردار بوده است.



شکل ۲: نقشه میانگین بارش ماهانه حوضه درود بروجرد. ترسیم: نگارندگان



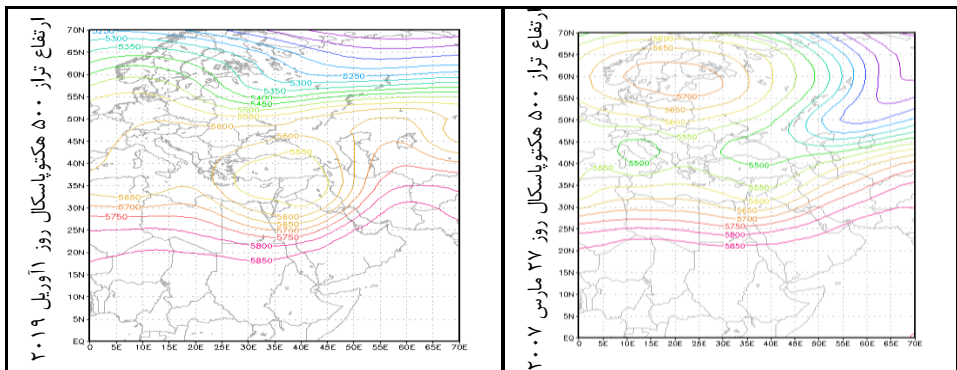
شکل ۳: نقشه مجموع بارش سالانه حوضه درود بروجرد. ترسیم: نگارندگان

در ادامه اقدام به ارزیابی الگوهای هم‌دیدگی منجر به ایجاد بارش‌های سنگین و ابرسنگین در حوضه درود بروجرد شد. نتایج حاصل از تحلیل صدک‌ها بیانگر آن بود که با فیلترگذاری صدک ۹۵م و ۹۹م روی بارش‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه درود بروجرد، طی دوره آماری ۱۹۹۵-۲۰۲۰، از بین سنگین‌ترین بارش‌های فراگیر در حوضه که در آن میزان بارش روزانه (۲۴ ساعته) بالاتر از صدک‌های مذکور کل بارش‌ها بود، ۲ رخدادهای بارش سنگین و ۲ رخداد بارش ابرسنگین انتخاب شد. ۲ رخداد بارش ابرسنگین مربوط به دو ماه آوریل و مارس و ۲ رخداد بارش سنگین مربوط به ماه‌های فوریه و ژانویه بودند. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، در نمونه‌های بارش ابرسنگین یعنی ۲۷ مارس ۲۰۰۷ و ۱ آوریل ۲۰۱۹، بارش ثبت شده در ۲۴ ساعت به ترتیب ۶۵ و ۷۴ میلی‌متر بوده است در حالی که در نمونه‌های منتخب بارش سنگین، یعنی ۴ فوریه ۲۰۰۶ و ۹ ژانویه ۱۹۹۹، میزان بارش‌های ثبت شده به ترتیب ۵۷ و ۴۵ میلی‌متر در ۲۴ ساعت بوده است. در رخداد بارش سنگین ۲۷ مارس، ۹۵ درصد از بارش کل ماه مارس و ۲۱ درصد از بارش کل سال و حدود ۲۱ درصد از بارش کل سال حوضه (میانگین فضایی بلندمدت بارش سالانه)، ثبت شده است. در حالی که در رخداد ۱ آوریل ۲۰۱۹ بارش ثبت شده در این روز، برابر ۱۰۲ درصد بارش متوسط کل ماه آوریل و ۲۷ درصد بارش کل سال بوده است. در رخداد بارش سنگین ۴ فوریه ۲۰۱۹، ۸۴ درصد از بارش کل ماه فوریه، و ۱۸ درصد از کل بارش سالانه ثبت شده است. در رخداد بارش ۹ ژانویه ۱۹۹۹، ۷۵ درصد از کل بارش ماه ژانویه و ۱۳ درصد از کل بارش سال ثبت شده است.

و در روز ۱ آوریل ۲۰۱۹ ارتفاع مرکزی آن برابر ۵۵۵۰ ژئوپتانسیل متر بوده است. با قرارگیری این مرکز کم ارتفاع در غرب ایران روی دریای مدیترانه مناطق شمال غرب، غرب، مرکز و حتی جنوب کشور در قسمت جلوی این ناوه قرار داشته که با توجه به فشرده شدن خطوط هم ارتفاع در جلوی این ناوه شرایط ناپایداری فراهم شده و موجبات بارش شدید و سنگین در کل کشور و خصوصا منطقه مطالعاتی فراهم آورده است.

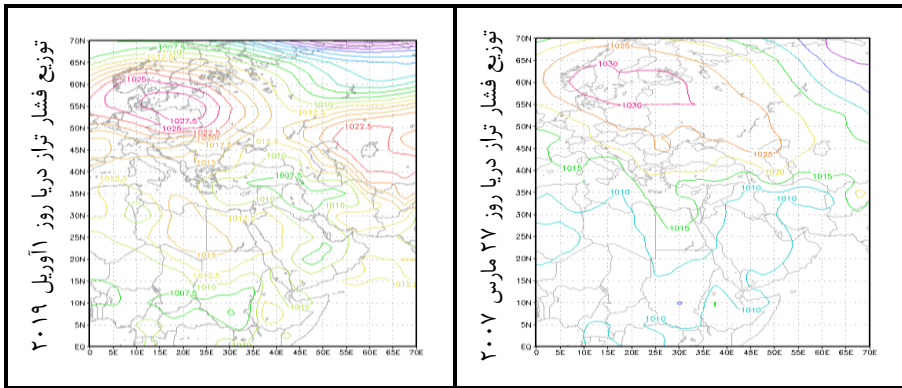
۱.۲.۳. تحلیل الگوهای همدید

رخدادهای بارش های ابرسنگین منتخب در این بخش ۲ رخداد بارش ابرسنگین یعنی ۲۷ مارس ۲۰۰۷ و ۱ آوریل ۲۰۱۹، در ترازهای میانی و تحتانی جو، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ساختار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به طور کلی در دو رخداد بارش سنگین منتخب وجود یک مرکز کم ارتفاع قوی روی دریای مدیترانه در تراز ۵۰۰ را نشان می دهد که در رخداد ۲۷ مارس ۲۰۰۷ ارتفاع مرکزی آن برابر ۵۵۰۰



شکل ۴: ساختار ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال هنگام رخداد بارش های ابرسنگین استان لرستان (وجود یک مرکز کم ارتفاع عمیق در غرب ایران و قرارگیری غرب و شمال غرب ایران در جلو ناوه بسیار عمیق). ترسیم: نگارندگان

اما در مورد ساختار فشار سطح دریا که توزیع و دینامیک مراکز فشار سطحی را نشان می دهد، در بارش ابرسنگین روز ۲۷ مارس ۲۰۰۷ کم فشار مستقر در مدیترانه با فشار مرکزی ۱۰۱۰ تا ۱۰۱۵ هکتوپاسکال وارد شمال غرب ایران و شمال و بخش های وسیعی از مرکز ایران شده است. در این روز منحنی کم فشار دریای سرخ نیز با فشار ۱۰۱۰ هکتوپاسکال کل محدوده غرب تا شمال و حتی مرکز کشور را در بر گرفته است. چنین شرایطی به صورت حادثه و شدیدتر در رخداد بارش ابرسنگین ۱ آوریل ۲۰۱۹ نیز دیده شد. در این رخداد نیز مراکز کم فشار شدیدتری با فشار مرکزی ۱۰۰۷ هکتوپاسکال بخش وسیعی از غرب، شمال و جنوب غرب ایران را فرا گرفته است. زبانه های این کم فشار از روی دریای سرخ وارد خلیج فارس و نیز از روی دریای مدیترانه وارد ایران شده و شرایط تزریق رطوبت در ترازهای زیرین جو کاملا مهیا شده است (شکل ۵).

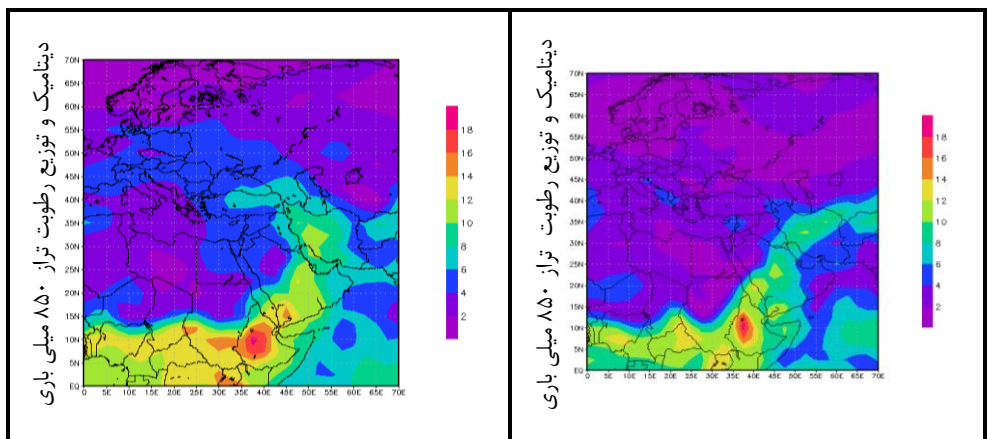


شکل ۵: ساختار توزیع و دینامیک مراکز فشار سطح زمین هنگام رخداد بارش های ابرسنگین استان لرستان (وجود مراکز کم فشار در غرب ایران با فشار مرکزی ۱۰۰۷ تا ۱۰۱۰ هکتوپاسکال که شرایط مکش و تزریق رطوبت به غرب، شمال غرب و جنوب غرب ایران را از روی منابع رطوبتی دریای سرخ، مدیترانه و خلیج فارس مهیا کرده است). ترسیم: نگارندگان

ساختار تزریق و دینامیک رطوبت در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در نمونه های بارش ابرسنگین مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی نشان داد که در هر دو رخداد بارش سنگین، هماهنگی بین سامانه های فشاری سطح زمین تا ترازهای بالایی جو، باعث یک مکش پادساعتگرد شدید رطوبت از روی منابع رطوبتی دریای سرخ - خلیج فارس، و دریای مدیترانه (در رخداد بارش سنگین ۱ آوریل ۲۰۱۹) شده است. در رخداد بارش ۲۷ مارس ۲۰۰۷، بیشینه شار رطوبت در دریای سرخ و بعد از آن خلیج فارس به صورت تعامل سامانه ترکیبی مدیترانه - سودانی وارد غرب و جنوب غرب ایران شده است. اما در رخداد بارش ابرسنگین ۱ آوریل ۲۰۱۹ علاوه بر این دو منبع رطوبتی مذکور، تزریق رطوبت از روی دریای مدیترانه و دریای عمان نیز صورت گرفته است. در این روز حرکت پادساعتگرد سامانه کم فشار غرب ایران و رطوبت دریای سرخ و خلیج فارس را به غرب ایران انتقال داده که به موازات حرکت شرق سوی چرخندها و واچرخندها، زبانه های مرطوب نیز به سمت ایران منتقل می کند؛ بنابراین تزریق رطوبت در منطقه مورد مطالعه با تعامل دو سامانه سیکلونی و آنتی سیکلونی مشاهده شده در شکل (۶) صورت گرفته است. منبع تأمین رطوبت نیز به ترتیب دریای مدیترانه، دریای سرخ و خلیج فارس بوده که رطوبت را در سطح منطقه به ۱۱ تا ۱۳ گرم در کیلوگرم هوای خشک رسانده است.

شکل (۷) وزش رطوبت تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال را برای دو روز ۲۷ مارس ۲۰۰۷ و ۱ آوریل ۲۰۱۹ نشان می دهد. طبق این شکل استقرار یک آنتی سیکلون بر روی خلیج عدن دیده می شود که با حرکت آنتی سیکلونی خود رطوبت دریای

عمان، دریای سرخ و خلیج فارس را به مناطق جنوب غرب و غرب ایران تزریق کرده است. وجود چرخندگی مثبت واقع در شمال دریای سرخ و دریای مدیترانه با حرکت پادساعتگرد رطوبت دریای سرخ و خلیج فارس را به غرب ایران انتقال داده که به موازات حرکت شرق سوی چرخندها و واچرخندها، زبانه‌های مرطوب نیز به سمت ایران منتقل می‌کند. بنابراین تزریق رطوبت در منطقه مورد مطالعه با تعامل دو سیستم سیکلونی و آنتی سیکلونی مشاهده شده در شکل (۷) صورت گرفته و منبع تأمین رطوبت نیز به ترتیب دریای مدیترانه، دریای سرخ و خلیج فارس بوده است که رطوبت را در سطح منطقه به ۱۱ تا ۱۳ گرم در کیلوگرم هوای خشک رسانده است.

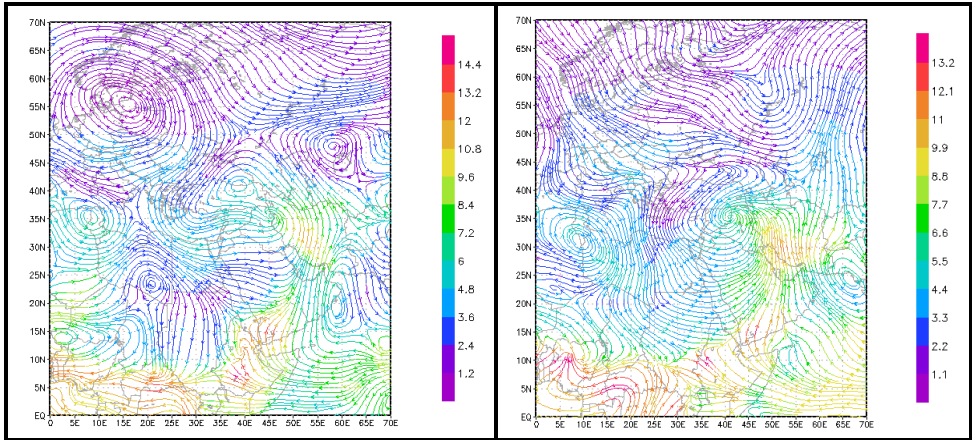


شکل ۶: ساختار توزیع و دینامیک رطوبت ویژه بر حسب گرم، در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

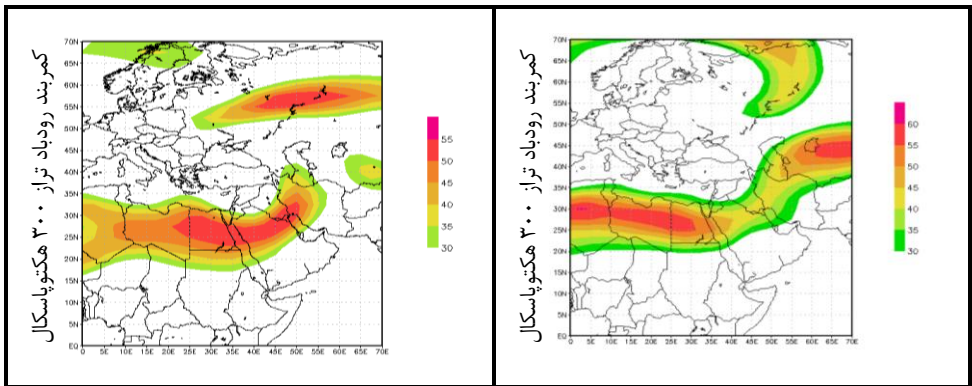
هنگام رخداد بارش‌های ابرسنگین. ترسیم: نگارندگان

اما تحلیل رودباد تراز فوقانی جو که نقش ایران را در برگرفته است که هسته سرعت خود را با سرعت بیشتر از ۴۰ متر بر ثانیه بر روی آفریقا، دریای سرخ و مدیترانه مستقر کرده است. در این روز فرود شرق رودباد جبهه قطبی به صورت کمربندی

مديترانه بر روی دریای سرخ قرار دارد و
روز در قسمت جلوی محور فرود و نیمه
مکان هسته رودباد نیز دقیقاً منطبق با
چپ خروجی رودباد که منطبق با
محل فرود می باشد. بنابراین کشور در این
ناپایداری است قرار دارد.



شکل ۷: نقشه وزش رطوبتی روز ۲۷ مارس ۲۰۰۷ (سمت راست) نقشه وزش رطوبتی روز ۱ آوریل ۲۰۱۹ (سمت چپ) ترسیم: نگارندگان



شکل ۸: ساختار رودباد موثر در دینامیک سامانه های بارش زای رخدادهای بارش ابرسنگین در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال ترسیم: نگارندگان

۳.۳. تحلیل الگوهای همدید

رخدادهای بارش های سنگین منتخب

در این بخش ۲ رخداد بارش سنگین

روزهای ۴ فوریه ۲۰۰۶ و ۹ ژانویه ۱۹۹۹،

در ترازهای میانی و تحتانی جو، مورد

بررسی قرار خواهد گرفت. ساختار کلی

ناوهها و پشته‌های شکل‌دهی الگوهای

همدید مولد بارش‌های سنگین منتخب در

تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای مذکور مورد

بررسی قرار گرفت. این بررسی در سطح

۵۰۰ هکتوپاسکال نشان از وجود یک کم

ارتفاع بسیار عمیق با ارتفاع مرکزی ۵۱۰۰

ژئوپتانسیل متر در عرض ۶۰ درجه شمالی

و طول ۴۰ درجه شرقی (شمال غرب ایران

روی روسیه) بود که بخش وسیعی از کشور

به ویژه غرب و شمال غرب ایران جلو این

ناوه عمیق قرار گرفته است. این مرکز کم

ارتفاع عمیق با دو شاخه کردن جریانات

بادهای غربی، تشکیل یک فرایند بلوکینگ

را می تواند بدهد که بخش جنوبی جریان

دو شاخه شده بادهای غربی وارد ایران شده

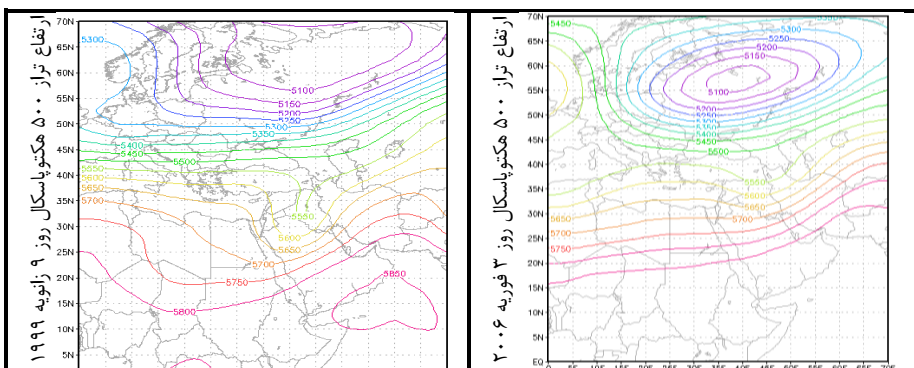
و به طور کلی بخش های وسیعی از ایران

به ویژه بخش های شمال غرب و غرب در

جلو این ناهه قرار گرفته و شرایط برای

صعود روی زمین و ایجاد سیکلون برقرار

است.

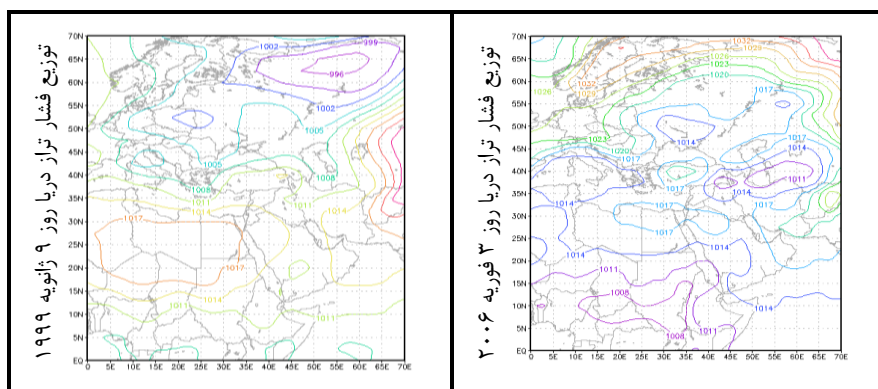


شکل ۹: ساختار ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال هنگام رخداد بارش های سنگین.

ترسیم: نگارندگان

ایران نفوذ کرده و تا روی دریای خزر نیز کشیده شده و در آنجا گسترش یافته است. در روز ۹ ژانویه ۱۹۹۹ نیز همان طور که دیده می شود ادغام دو سیستم کم فشاری شرایط را برای رخداد بارش سنگین در این روز فراهم آورده است. در این روز سیستم کم فشار از دریای مدیترانه، دریای سیاه و همچنین دریای خزر به ایران وارد شده و با کم فشار سودانی تلفیق یافته و شرایط را برای بارش حدی در حوضه مورد مطالعه فراهم آورده است.

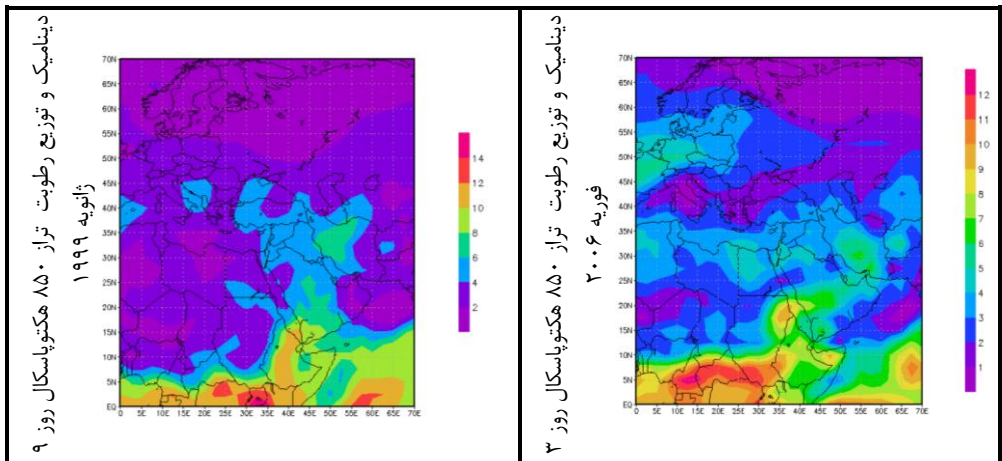
شکل (۱۰) نقشه تراز دریا در روز ۳ فوریه ۲۰۰۶ را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود نفوذ زبانه ای از سیستم پرفشار سیبری از شمال شرقی و سیستم پرفشار شرق اروپا از طرف شمال غربی شرایط را برای استقرار سامانه پرفشار پایدار بر روی قسمت های غربی و مرکزی کشور فراهم کرده است. در روز بارش سنگین ۳ فوریه ۲۰۰۶ با تضعیف و جابه جایی به سمت شرق سامانه پرفشاری روی ایران کم فشار جنوب مدیترانه با عبور از روی ترکیه و دریای سیاه به مناطق غربی و شمال غربی



شکل ۱۰: ساختار توزیع و دینامیک مراکز فشار سطح زمین هنگام رخداد بارش های سنگین.

ترسیم: نگارندگان

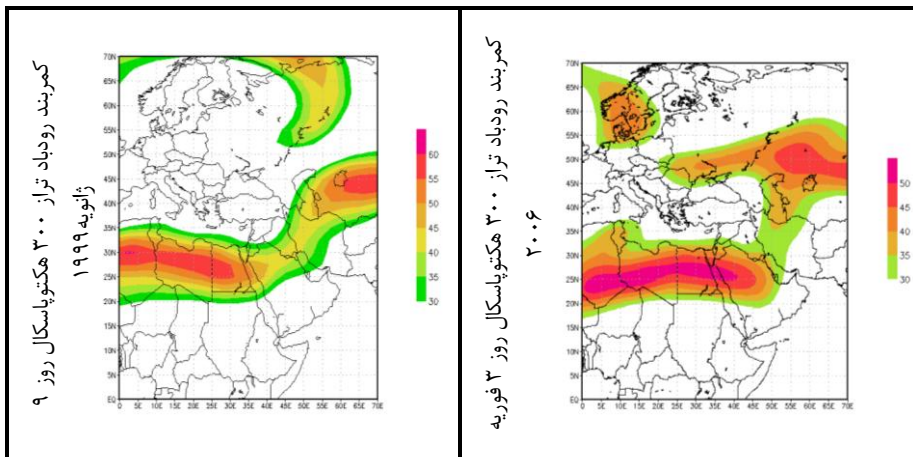
ساختار و دینامیک رطوبت در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در رخدادهای بارش سنگین در شکل (۱۱) بررسی شده است. در رخدادهای بارش سنگین ۳ فوریه ۲۰۰۶ جریانات جنوبی در شمال دریای سرخ با جریانات غربی یکی شده و در قالب یک جریان شمال سو رطوبت دریای سرخ را به جلوی ناوه بریده شده رسانده و رطوبت جریان مدیترانه‌ای را به صورت قابل توجهی افزایش داده و شرایط را برای بارش در مناطق غربی ایران و خصوصا حوضه مورد مطالعه فراهم آورده است. اما در روز بارش سنگین ۹ ژانویه ۱۹۹۹، استقرار مرکز پراارتفاع بر روی جنوب عربستان و روی دریای عرب در ترازهای ۸۵۰ هکتوپاسکال شرایط را برای انتقال رطوبت به سمت منطقه سودان و دریای سرخ را فراهم آورده است.



شکل ۱۱: ساختار توزیع و دینامیک رطوبت ویژه برحسب گرم، در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال هنگام رخدادهای بارش سنگین (مراکز سیکلونی هماهنگ تراز بالا تا پایین با حرکت مکش پادساعتگرد رطوبت را از روی دریای سرخ و خلیج فارس وارد غرب و جنوب غرب و شمال غرب ایران کرده اند). ترسیم: نگارندگان

ترکیب با رودباد جنب‌حاره‌ای دیده می‌شود و شرایط را برای افزایش چرخندگی مثبت بر روی فرارفت هوا در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال فراهم آورده است. این شرایط موقعیت را برای ایجاد ناپایداری شدید هوا و وقوع بارش‌های سیل‌آسا در منطقه مطالعاتی بوجود آورده است.

نقشه رودباد روز ۳ فوریه ۲۰۰۶ در شکل (۱۲) دیده می‌شود. طبق این شکل قسمت چپ خروجی محور رودباد جنب حاره‌ای روی فرارفت بادهای غربی در حوضه مورد مطالعه مستقر شده و سمت راست ورودی رودباد جبهه قطبی روی حوضه درود قرار دارد. اثرات آن در تقویت اثر مکش هوا و ایجاد صعود دینامیکی در



شکل ۱۲: ساختار رودباد موثر در دینامیک سامانه‌های بارش‌زای کیس‌های بارش ابرسنگین در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال هنگام رخداد بارش‌های ابرسنگین. ترسیم: نگارندگان

۴. نتیجه‌گیری

ابرسنگین حوضه درود بروجد براساس داده‌های روزانه دوره ۱۹۹۵-۲۰۲۰، ایستگاه‌های سینوپتیک استان، ۴ رخداد

به طور کلی در این تحقیق براساس روش آماری صدک‌ها، بارش‌های سنگین و

بارش انتخاب شد. در صدک ۹۹م بارش - های روزانه، دو رخداد بارش ابرسنگین (۲۷ مارس ۲۰۰۷ و ۱ آوریل ۲۰۱۹) و در صدک ۹۵م، دو رخداد بارش سنگین (۳ فوریه ۲۰۰۶، ۹ ژانویه ۱۹۹۹) انتخاب شدند. در رخدادهای بارش ابر سنگین بیش از ۹۰ درصد بارش ماه‌های مذکور در روزهای بارشی ثبت شده بود. تحلیل الگوهای همدیدی رخدادهای بارش ابرسنگین حاکی از آن بود که در روزهای مورد مطالعه وجود یک ناوه عمیق بر روی شرق دریای مدیترانه و به تبع آن بخش غربی ایران در بخش جلویی یک ناوه بسیار عمیق قرار گرفته است، شرایط صعود و ورود

سیستم‌های کم‌فشار را برای غرب کشور به وضوح فراهم کرده است. در سطح زمین نیز حاکمیت سامانه کم‌فشار مشهود است. متناسب با عمیق شدن ناوه بادهای غربی منابع رطوبتی سیستم علاوه بر مدیترانه از دریای سیاه و دریای سرخ و نیز خلیج فارس تأمین می‌گردد اما در نمونه‌های بارش حدی سنگین در این مطالعه در هر دو نمونه ماه ژانویه و فوریه استقرار سیستم بلوکینگ کم ارتفاع بریده شده در تراز میانی جو شرایط را برای بارش‌های سیلابی و سنگین در منطقه مطالعاتی فراهم آورده است.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از پایان نامه/رساله: این مقاله برگرفته از رساله ابراهیم بیرانوند بوده است.

Reference

- Bani Naima, Sara, Lashkari, Hassan, Ghorban, Jibraeel, and Morshedi, Jafar. (2023). Synoptic analysis of extremely heavy rainfall and its impact on the peak flood discharge of the Dez River (floods of 1993 and 2005), *Soil and Water Modeling and Management*, 3 (3), 37-55.
- Beiranvand, Ebrahim, Gandomkar, Amir, Abbasi, Alireza, and Khodagholi, Morteza. (1401). Statistical-synoptic analysis of heavy rainfall leading to the flood of Farvardin 2019 in the Borujerd Daroud watershed, *Natural Environmental Hazards*, 11(32), 169-188.
- Chang, C., & Huang, W. (2013). Hydrological modeling of typhoon-induced extreme storm runoffs from Shihmen watershed to reservoir Taiwan. *Natural Hazards*, 67 (2), 747–761. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0601-6>
- Chen, C. C., Lin, Y. H., Hsu, N. N., Liu, C. L., & Chen, C. Y. (2011). Orographic effects on localized heavy rainfall events over southwestern Taiwan on 27 and 28 June 2008 during the post-MeiYu period. *Atmospheric Research*, 101 (3), 595–610. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.04.008>
- Chen, C. S., Lin, L. L., Peng, C. P., & Liu, L. (2010). Investigation of a heavy rainfall event over southwestern Taiwan

- associated with a subsynoptic cyclone during the 2003 Mei-Yu season. *Atmospheric Research*, 95(2-3), 235-254. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.10.003>
- Coats, R. (2010). Climate change in the Tahoe Basin: Regional trends, impacts, and drivers. *Climatic Change*, 102 (3-4), 435-466. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9828-3>
 - Dehban, Hossein, Ebrahimi, Kiyomars, Iraghi Nejad, Shahab, and Bazr-Afshan, Javad. (2019). Evaluation of the accuracy of NMME models in predicting monthly precipitation: a case study of the Sefid-Rood basin, *Agricultural Meteorology*, 7(1), 3-12.
 - Feng, P., Wang, B., Liu, D. L., & Xing, H. (2018). Impact of rainfall extremes on wheat yield in semi-arid cropping systems in eastern Australia. *Climatic Change*, 147 (3-4), 555-569. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2170-x>
 - Ghasemifar, Elham, Naserpour, Somayeh, and Arzoomandi, Leili. (2017). Identification of synoptic patterns of flooding precipitation in western Iran, *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 4(2), 69-86.
 - Hosseini Sadr, Atefeh, Mohammadi, Gholam Hassan, Abdolizadeh, Firuz, and Khojasteh Gholami, Vahid. (2019). Analysis of the synoptic mechanism of heavy

- rainfall and damage load in northwest Iran (Case study: April 14, 2017), *Geography and Planning*, 23(70), 79-100
- Kang, Y., Peng, X., Wang, S., Dong, C., Shang, K., & Zhao, Y. (2020). Statistical characteristics and synoptic situations of long-duration heavy rainfall events over North China. *Earth and Space Science*, 7, e2019EA000989. <https://doi.org/10.1029/2019EA000989> (Note: Added DOI; article numbers formatted as eID)
 - Khurshid Dost, Ali Mohammad, Mofidi, Abbas, Rasouli, Ali Akbar, and Azram, Kamel. (2015). Collaborative analysis of the mechanism of heavy spring rains in northwest Iran, *Natural Environment Hazards*, 5(8), 53-82
 - Libertino, A., Ganora, D., & Claps, P. (2018). Technical note: Space-time analysis of rainfall extremes in Italy. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(5), 2705–2715. <https://doi.org/10.5194/hess-22-2705-2018>
 - Mohanty, M., Mohapatra, M., & Jaafry, S. N. A. (2014). Characteristic features of heavy rainfall over Gujarat and Rajasthan States of India due to very severe cyclonic storm Phet over the Arabian Sea (31 May to 07 June 2010). In *Monitoring and Prediction of Tropical Cyclones in the Indian*

- Ocean and Climate Change* (pp. 412–421). Springer. (Note: Added book title italics and publisher; original was a conference proceeding chapter).
- Mohammadi, Bakhtiar, and Masoudian, Seyyed Abolfazl. (2010). Synoptic analysis of heavy rainfall in Iran, case study: November 1994. *Geography and Development*, 8(19), 47-70.
 - Omidvar, Kamal, Sepandar, Nesa, and Shafiei, Shahab. (2018). Synoptic and thermodynamic analysis of heavy rainfall and flooding on November 25-28, 2015 in Kermanshah province, *Geographical Information (Sepehr)*, 27(107), 237-252.
 - Pineda, N., Bech, J., Rigo, T., & Montanya, J. (2011). A Mediterranean nocturnal heavy rainfall and tornadic event, Part II: Total lightning analysis. *Atmospheric Research*, 100 (4), 638–648. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.12.008>
 - Panahi, Hossein and Esmail Darjani, Najmeh. (2020). Studying the effect of global warming and climate change on economic growth (Case study: Iranian provinces during the period 1380-1390), *Environmental Science and Technology*, 22(1), 79-88.
 - Selajqeh, Ali, Moghadamnia, Alireza, Khalighi-Sigarudi,

- Shahram, Azarakhshi, Maryam, and Rostami-Khalaj, Mohammad. (2011). Modeling of runoff precipitation based on a system dynamics approach: a case study of the Kardeh basin of Mashhad, *Watershed Engineering and Management*, 11(1), 15-27.
- Shen, Y., Du, Y., & Chen, G. (2019). Ensemble sensitivity analysis of heavy rainfall associated with three MCSs coexisting over southern China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124 (23), 13026–13044. <https://doi.org/10.1029/2019JD031396>
- Salamati Hormozi, Vahid, Omidvar, Kamal, Kavsi, Reza, and Hamzenejad, Mojtaba (2017) Identification and synoptic-dynamic analysis of atmospheric patterns of November 2015 floods in Ilam and Lorestan provinces, *Nivar*, 97, 9 -27.
- Samman, A. E., & Gallus, W. A., Jr. (2017). A classification of synoptic patterns inducing heavy precipitation in Saudi Arabia during the period 2000–2014. *Atmósfera*, 31(1), 47-67. <https://doi.org/10.20937/ATM.2017.30.01.04>
- Sampath, D. S., Weerakoon, S. B., & Herath, S. (2015). HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment with intra-basin diversions – case study of the Deduru Oya

- river basin, Sri Lanka. *Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 48 (1), 1–9. <https://doi.org/10.4038/engineer.v48i1.6856>
- Shamir, E. (2017). The value and skill of seasonal forecasts for water resources management in the Upper Santa Cruz River basin southern Arizona. *Journal of Arid Environments*, 137, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.10.008>
 - Tank, A. M. G. K., Zwiers, F. W., & Zhang, X. (2009). *Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation* (WMO-TD No. 1500). World Meteorological Organization.
 - van Oldenborgh, G. J., Otto, F. E. L., Hausteijn, K., & Cullen, H. (2015). Climate change increases the probability of heavy rains like those of storm Desmond in the UK – an event attribution study in near-real time. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 5053–5070. <https://doi.org/10.5194/hess-19-5053-2015> (Note: Updated journal name & DOI; original was "Discussions" version)
 - Wang, H., Chen, L., & Yu, X. (2016). Distinguishing human and climate influences on streamflow changes in Luan River basin in China. *Catena*, 136, 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.013>

- Weldon, D., & Reason, C. J. C. (2014). Variability of rainfall characteristics over the South Coast region of South Africa. *Theoretical and Applied Climatology*, 115 (1–2), 177–185. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0885-1>
- World Meteorological Organization. (2011). *Weather extremes in a changing climate: Hindsight on foresight*. <https://library.wmo.int/idurl/4/55887> (Note: Added URL for WMO repository; original ISBN omitted in APA for online reports)
- Wei, W., Shi, Z., Yang, X., Wei, Z., Liu, Y., Zhang, Z., Ge, G., Zhang, X., Guo, H., Zhang, K., & Wang, B. (2017). Recent trends of extreme precipitation and their teleconnection with atmospheric circulation in the Beijing-Tianjin sand source region, China, 1960–2014. *Atmosphere*, 8 (5), 83. <https://doi.org/10.3390/atmos8050083>
- Yan, Z., Moberg, A., Bergström, H., Camuffo, D., Cocheo, C., Maugeri, M., Demarée, G. R., Verhoeve, T., Thoen, E., Barriendos, M., Rodríguez, R., Martín-Vide, J., & Yang, C. (2002). Trends of extreme temperature in Europe and China based on daily observations. *Climatic Change*, 53 (1–3), 355–392. <https://doi.org/10.1023/A:1014939413284>