

## Research Paper

# Analysis of Synoptic and Thermodynamic Patterns Leading to extremely Heavy Rainfall and Estimation of Water Area Resulting from Precipitation in Karkheh Basin

Ghasem Keikhosravi<sup>1\*</sup>, Alireza Shakiba<sup>2</sup>, Pegah Hamidpour<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Department of Physical Geography, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2. Associate Professor, Center for Remote Sensing and Geographic Information System Research of Climatology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

3. Master of Climatology, Department of Physical Geography, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

DOI: 10.22124/gscaj.2022.20667.1108

Received: 2021/09/22

DOR: 20.1001.1.27831191.1401.3.1.5.8

Accepted: 2022/04/21

## Abstract

To investigate the super-heavy precipitation of Karkheh Basin, daily precipitation statistics of the basin (2005-2018), radar satellite images of Sentinel 1, Landsat, and data on specific humidity, pressure, geopotential height, omega, and wind flow have been used. The results show that the total of heavy rainfall by year shows an increasing trend. Heavy rainfall varies from a minimum of 11 to 40 days (long-term cumulative amount) at the basin level. Most of the heavy rainfall in the basin occurs in the last days of winter and the first days of autumn. The location of Siberian high-pressure, Sudan low pressure, Pakistan low-pressure surface systems and dynamic high-pressure systems of Saudi Arabia and the Mediterranean is the dominant pattern and determinant of extremely precipitation in the Karkheh catchment. The main reason for the increase in the lake's water area in extremely precipitation is not the increase in the number of days of the rainy, but the large expansion south of the Mediterranean trough, eastward movement of the Saudi anticyclone on warm seas and vertical water vapor flux north of the warm southern seas. Also, in examining the position of the jet core to create extremely rainfall, the most suitable position of the core was observed in the transverse position of 24 degrees north and longitude 42 east (center of Saudi Arabia), so that in this case the most unstable part of the jet (exit area Jet) corresponds exactly to the front of the trough on the Karkheh basin.

**Keywords:** Extremely precipitation, Satellite imagery, Sudan low pressure, Saudi Arabia High pressure, Sub polar Trough.

## Highlight

- The synoptic conditions of super-heavy precipitation are such that in the lower levels of Troposphere, the pattern of Siberian high pressure systems, Sudan low pressure, Saudi Arabia high pressure and the combined model of Sudan low pressure - Pakistan low pressure and in the upper levels of Troposphere.
- the large expansion south of the Mediterranean trough, eastward movement of the Saudi anticyclone on warm seas and vertical water vapor flux north of the warm southern seas, It plays a major role in the intensity of super-heavy precipitation and increasing the water area of Karkheh Dam Lake.

## Extended Abstract

### Introduction

Heavy rainfall is when the amount of rain or snow experienced in a place is significantly more than normal. Heavy rainfall is an indicator of climate change and is dependent on climate change, because as temperatures rise, the atmosphere will be able to hold more water vapor, and warmer oceans will increase the amount of water

\* Corresponding Author: Gh\_keikhosravi@sbu.ac.ir

evaporated into the air. Karkheh River is one of the main streams in the southwest of Iran. Due to the geographical location, topography and also its position in relation to the circulating pattern of the atmosphere, the mechanism of precipitation in this basin is very similar to the mechanism of precipitation systems in tropical regions. In most parts of the basin, even in the cold days of the year, rainfall falls in the form of rain. On the other hand, due to the precipitation mechanism of this region, most of the precipitation occurs in the form of short-term rainfall systems and sometimes in the form of small precipitation cores. Due to the hot nature and high humidity potential on the one hand and access to warm seas on the other hand, these systems cause heavy rainfall. Due to the nature (liquid precipitation) and precipitation mechanism of the systems in this basin, there is a possibility of flooding in this The basin is larger than other basins.

### Methodology

**Research Method** In this research, the environmental method is circulating. First, the daily rainfall statistics of the watershed in an 11-year statistical period (2005-2018) are extracted for all synoptic stations. Then, based on global and national criteria for selecting heavy rainfall and extremely rainfall for the rainfall period of the basin is extracted. In the second step, after determining the number of days of heavy rain, satellite images of Sentinel 1 and Landsat radar in the days before the rain and also after heavy rain were called in the Google Earth engine system. After radiometric and atmospheric corrections of satellite images, NDWI and Log Ratio indices were used to calculate the water area and water changes of Karkheh Dam Lake. Step 3: Atmospheric data for days with extremely using the US National Oceanic and Atmospheric Administration and other related sites in the range of  $10^{\circ}$  E to  $80^{\circ}$  N and  $0$  to  $70^{\circ}$  N Extracted and plotted with geopotential moisture, omega and moisture, flow and moisture for sea levels, 1000, 850, 700 and 500 hPa and jet of 300 and 250 hPa in Grads environment. The systems are originated using sea level data and 1000 and 850 hPa.

### Results and discussion

The highest frequency of heavy rainfall in the basin occurs in autumn and then winter. Heavy rainfall varies from a minimum of 15 to 49 days (cumulative is long-term) at the basin level. In addition to the 30 mm threshold for another day, another condition was considered for selecting extremely rainy days, so that at least 50% of the stations on that day had more than 30 mm of rainfall recorded. Based on the mentioned dual conditions, 7 pervasive events were identified for heavy cloud precipitation in Karkheh basin. In the occurrence of extremely, the area of Karkheh Dam Lake has been increased from a minimum of 5 to a maximum of 51 square kilometers. The main reason for the increase in the lake's water area in extremely precipitation is not the increase in the number of days of the rainy, but the large expansion south of the Mediterranean trough, eastward movement of the Saudi anticyclone on warm seas and vertical water vapor flux north of the warm southern seas. In all study samples of extremely precipitation, in the lower levels of Troposphere, the pattern of Siberian high pressure systems, Sudan low pressure, Saudi Arabia high pressure and the combined model of Sudan low pressure of Pakistan low pressure and in the upper levels of Troposphere, Saudi Arabia anticyclone and Mediterranean trough, The shape of the trough dominates the area. The transfer moisture of the warm southern seas (Oman Sea, Arabian, Red Sea) from the lower levels and the humidity of the tropical convergence region at the upper levels are the most important causes of atmospheric disturbances and heavy rainfall.

### Conclusion

Extremely precipitation is one of the climatic hazards whose changes in the basin can have irreparable consequences for the region; direct feedback from extremely precipitation is pervasive floods. The results show that the total of heavy rainfall by year shows an increasing trend. Heavy rainfall varies from a minimum of 15 to 49 days (long-term cumulative amount) at the basin level. Most of the heavy rainfall in the basin occurs in the last days of winter and the first days of autumn. The location of Siberian high-pressure, low-pressure Sudan, low-pressure Pakistan surface systems and dynamic high-pressure systems of Saudi Arabia and the Mediterranean is the dominant pattern and determinant of extremely precipitation in the Karkheh catchment. The main reason for the increase in the lake's water area in extremely precipitation is not the increase in the number of days of the rainy, but the large expansion south of the Mediterranean trough, eastward movement of the Saudi anticyclone on warm seas and vertical water vapor flux north of the warm southern seas. Also, in examining the position of the jet core to create extremely rainfall, the most suitable position of the core was observed in the transverse position of 24 degrees north and longitude 42 east (center of Saudi Arabia), so that in this case the most unstable part of the jet (exit area Jet) corresponds exactly to the front of the trough on the Karkheh basin.

**Keywords:** Extremely precipitation, Satellite imagery, Sudan low pressure, Saudi Arabia High pressure, Sub polar Trough.

**Citation:**

Keikhosravi, G., Shakiba, A., Hamidpour, P. (2022). Analysis of Synoptic and Thermodynamic Patterns Leading to extremely Heavy Rainfall and Estimation of Water Area Resulting from Precipitation in Karkheh Basin. *Geographical Studies of Coastal Areas Journal*, 3(8), pp. 83-100. DOI:10.22124/gscaj.2022.20667.1108

**Copyrights:**

Copyright for this article are retained by the author(s), with publication rights granted to *Geographical studies of Coastal Areas Journal*. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



## تحلیل الگوهای همدیدی و ترمودینامیک منجر به بارش‌های ابر سنگین و برآورد پهنه آبی حاصل از بارش‌ها در حوضه آبخیز کرخه

قاسم کیخسروی\*<sup>1</sup>، علیرضا شکیبیا<sup>2</sup>، یگانه حمیدپور<sup>3</sup>

۱. استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲. دانشیار مرکز مطالعات سنجش از دور و جی آی اس، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۳. کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

DOI:10.22124/gscj.2022.20667.1108

DOR: 20.1001.1.27831191.1401.3.1.5.8

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۶/۳۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۰۱

### چکیده

برای بررسی بارش‌های ابرسنگین حوضه کرخه، از آمار بارش‌های روزانه حوضه آبخیز (۲۰۱۸-۲۰۰۵)، تصاویر ماهواره‌ای راداری سنتینل ۱، لندست و از داده‌های جوی نم و یژه، فشار، ارتفاع ژئوپتانسیل، امگا و جریان باد، استفاده گردید. نتایج بیانگر آن است، در مجموع بارش‌های سنگین به تفکیک سال روند افزایشی را نشان می‌دهد. بارش‌های سنگین از مقدار حداقلی ۱۵ تا ۴۹ روز (مقدار تجمعی بلند مدت) در سطح حوضه تغییر دارند. بیشترین بارش‌های سنگین در سطح حوضه به ترتیب متعلق به ماه‌های دسامبر، آوریل، نوامبر و مارس می‌باشد. موقعیت استقرار سامانه‌های حرارتی پرفشار سیبری، کم فشار سودان، کم فشار پاکستان در سطح زمین و سامانه‌های دینامیکی پرفشار عربستان و ناوه مدیترانه‌الگوی غالب و تعیین کننده بارش‌های ابر سنگین در حوضه ابریز کرخه می‌باشد. عامل اصلی افزایش پهنه آبی دریاچه در بارش‌های ابر سنگین، افزایش تعداد روزهای دوره بارشی نیست، بلکه گسترش زیاد جنوب سوی ناوه مدیترانه، جابجایی شرق سوی واچرخند عربستان بر روی دریاهای گرم و شار قائم بخار آب شمال سو دریاهای گرم جنوبی به جلو ناوه می‌باشد. همچنین در بررسی موقعیت قرارگیری هسته جت برای ایجاد بارش‌های ابرسنگین، مناسب‌ترین حالت قرارگیری هسته در موقعیت عرضی ۲۴ درجه شمالی و طول ۴۲ شرقی (مرکز کشور عربستان) مشاهده شد، بگونه‌ای که در این حالت ناپایدارترین بخش جت (منطقه خروجی جت) منطبق بر بخش جلویی ناوه بر روی حوضه کرخه می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** بارش ابرسنگین، تصاویر ماهواره‌ای، کم فشار سودان، پرفشار عربستان، ناوه جنب قطبی.

### نکات برجسته:

- شرایط همدیدی بارش‌های ابر سنگین به‌گونه‌ای است که در ترازهای زیرین وردسپهر الگوی سامانه‌های پرفشار سیبری، کم فشار سودان، پرفشار عربستان و الگوی ترکیبی کم فشار سودان - کم فشار پاکستان و در ترازهای بالایی وردسپهر، سامانه‌های واچرخندی عربستان و چرخند مدیترانه آبی به شکل ناوه بر منطقه حاکم می‌باشد.
- گسترش جنوب سوی ناوه مدیترانه و شار قائم بخار آب شمال سو دریاهای گرم جنوبی به جلو ناوه، نقش اصلی را در شدت بارش‌های ابرسنگین و افزایش پهنه آبی دریاچه سد کرخه برعهده دارد.

## ۱. مقدمه

بارش‌های ابر سنگین یکی از مخاطرات اقلیمی محسوب می‌شوند که تغییرات آن در حوضه‌ای می‌تواند عواقب جبران ناپذیری برای آن منطقه داشته باشد؛ بازخورد مستقیم بارش‌های ابر سنگین سیلاب‌های فراگیر است. رودخانه کرخه یکی از شریان‌های حیاتی در جنوب غرب کشور ایران می‌باشد. این رودخانه علاوه بر تأمین آب کشاورزی و شرب بسیاری از شهرها و روستاهای استان‌های خوزستان و ... شریان مهمی در میکرو کلیمای این منطقه به حساب می‌آید. مزارع کشاورزی این حوضه آبخیز یکی از قطب‌های تولید محصولات فصول سرد کشور می‌باشد که نقش بسیار مهمی در اشتغال و معیشت مردم ایفا می‌کند. با توجه به موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی و همین‌طور موقعیت آن نسبت به الگوی گردش جو سازوکار بارش‌های این حوضه شباهت زیادی با سازوکار سامانه‌های بارشی مناطق حاره ای دارد. در بخش عمده حوضه حتی در ایام سرد سال بارش‌ها بصورت باران نازل می‌شود. از طرفی با توجه به سازوکار بارش‌های این منطقه عمده بارش‌ها در قالب سامانه‌های رگباری و کوتاه مدت و بعضاً بصورت هسته‌های بارشی کوچک رخ می‌دهد. منشأ عمده سامانه‌های بارشی این حوضه از سامانه‌های جنوبی بخصوص سامانه سودانی و همگرایی دریای سرخ می‌باشد. این سامانه‌ها بدلیل ماهیت گرم و پتانسیل رطوبت پذیری بالا از یک طرف و دسترسی به دریا‌های گرم از طرف دیگر بارش‌های رگباری و شدید ایجاد می‌نمایند. به دلیل ماهیت (بارش مایع) و سازوکار بارشی سامانه‌ها در این حوضه احتمال سیل خیزی در این حوضه‌ها بیشتر از سایر حوضه‌ها می‌باشد. با وجود احداث سد بر روی رودخانه کرخه و تنظیم آب رودخانه در پایین دست سد، اولاً طغیان رودخانه در بالادست گاه‌ها خسارت‌های جبران ناپذیری به مزارع، زمین‌های کشاورزی و سکونتگاه‌های شهری و روستایی وارد می‌نماید. از طرفی گاه به دلیل ورود حجم زیادی آب حاصل از بارش‌های سنگین و سیل آسا سد در معرض تهدید تخریب یا آسیب قرار می‌گیرد.

## ۲. مبانی نظری

سیل جریان آب بیش از حد طبیعی و یک رویداد ناگهانی است که منشأ آن می‌تواند بارندگی بیش از حد، شکسته شده دیواره سد، خرابی سیل برگردان‌ها در طی چند ساعت، یا ناشی از حرکت امواج باشد. سیل معمولاً بر اثر ریزش بیش از اندازه برف و باران در یک منطقه به طور ناگهانی به وقوع می‌پیوندد. برای وقوع سیل عمدتاً باران کوتاه مدت شدید و مداوم مورد نیاز است، اما چگونگی ریزش باران و وقوع سیل به محیط هم بستگی دارد. فرین به بیشترین و یا کمترین مقدار از هر متغیر گفته می‌شود. بنابراین فرین‌های اقلیمی، حالاتی خاص (بالا یا پایین) از عناصر اقلیمی به شمار می‌آیند. علیرغم این که تعاریف کمابیش مشابهی برای فرین‌ها ارائه گردیده، به فراخور ویژگی‌های جغرافیایی هر پهنه، آستانه‌های متعدد و متنوعی نیز برای آن‌ها پیشنهاد شده است. به نظر می‌رسد اطلاق صفت فرین (اعم از سنگین یا ابرسنگین) به باران، تا اندازه‌ی زیادی تابع مکان و قلمرو جغرافیایی منطقه دریافت بارش است. بوم سازگان‌های طبیعی هر منطقه در طول زمان با بارش سالانه خود و آستانه زیاد یا کم انطباق یافته‌اند. به همین دلیل، مقدار بارشی که در یک ایستگاه کم باران، بارش سنگین به حساب می‌آید، ممکن است در منطقه ای مرطوب و پر باران، طبیعی و در حد بارش‌های معمول آن منطقه به شمار آید (برزو و عزیز، آبادی، ۱۳۹۴: ۳۶۵-۳۴۷).

## ۳. پیشینه پژوهش

از جمله مطالعاتی که در زمینه موضوع تحقیق در سطح جهان انجام گرفته است می‌توان به بررسی‌های که توسط زانگ انجام شده است، اشاره کرد. زانگ (۲۰۰۱) در سازوکار رطوبت در دو مونسند هند و شرق آسیا، یکی از مؤلفه‌های گردش جوی مؤثر در انتقال رطوبت را مراکز پرفشار و محل قرارگیری آن‌ها بر روی سطح آب معرفی کرده است (زانگ، ۲۰۰۱: ۱۰۱۷-۱۰۰۵). کومرو و همکاران (۲۰۰۸) در شبیه‌سازی هسته‌های همرفتی قوی کوتاه‌مدت در حرکات صعودی کلان‌مقیاس به‌وسیله مدل پژوهش و پیش بینی هوا در بارش سنگین ۲۶ ژوئیه سال ۲۰۰۵ بمبئی هندوستان نشان دادند که منبع رطوبت این سامانه جریان‌های شمال و شمال غربی با منشأ دریای عرب بوده است (کومرو و همکاران، ۱۹۱۰: ۲۰۰۸-۱۸۹۷). لیندسا و دابرتون (۱۹۹۳) جنوب غرب اقیانوس هند را مهم‌ترین منبع رطوبتی بارش‌های نواحی مرکزی جنوب آفریقا معرفی

کرده‌اند (لیندسا و دابرتون، ۱۹۹۳: ۱۷۰-۱۵۱). ویاله و ماریو (۲۰۱۱) شار شدید بخار آب از اقیانوس آرام به سمت بادگیری‌های کوه‌های آند را دلیل بارش‌های سیل‌آسای این منطقه دانسته‌اند (ویاله و ماریو، ۲۰۱۱: ۴۸۱). لیبراتو و همکاران (۲۰۱۲) منابع رطوبتی سیلاب شدید نوامبر ۱۹۸۳ در لیسبون پرتغال را در مقیاس همدید و با استفاده از تکنیک لاگرانژی بررسی کرده و نشان دادند که جریان بزرگی از جنب حاره با مشخصات رودخانه اتمسفری حجم عظیمی از رطوبت را از عرضهای پایینتر حمل کرده، موقعیت ثابت جریان جت در امتداد شرق اقیانوس اطلس و سراسر لیبریا موجب تقویت بارش به همراه این هوای مرطوب شده است (لیبراتو و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۷۰-۱۵۱).

کنراد و دتینگر (۲۰۱۷) ارتباط رواناب سیلاب‌ها با بخار آب منتقل شده توسط رودخانه‌های اتمسفری در غرب ایالات متحده به مدت ۶۶ سال با استفاده از داده‌های ۶ ساعته شار بخار آب و تفکیک مکانی ۲/۵ درجه بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که رودخانه‌های جوی بیشترین رواناب روزانه را در غرب ایالات متحده موجب میشوند (کنراد و دتینگر، ۲۰۱۷: ۱۱۴۶۲-۱۱۴۵۶). جیمینو و همکاران (۲۰۱۶) مکانیسم‌های شار رطوبت اتمسفری و نقش آن را در رخداد بارش‌های فرین مطالعه کرده‌اند. ایشان جنبه‌های ساختار و توزیع مکانی دو مکانیسم مهم در انتقال رطوبت جو با عنوان جت‌های سطح پایین و رودخانه‌های جوی بررسی کردند، سپس نقش این مکانیسم‌ها را در بارش‌های فرین به طور منطقه‌ای شناخته و بر تشدید یا تقلیل شار رطوبت و متعاقب آن سیل و خشکسالیها تمرکز کردند (جیمینو و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۴۱-۱۱۷). چن و همکاران (۲۰۱۸)، بارش شدید ۱۱ تا ۱۲ ژوئن ۲۰۱۲ در شمال تایوان را بررسی کردند و نشان دادند که بارش سنگین ۴۳۵ میلی متری شمال غرب سواحل تایوان و ۴۷۷ میلیمتری منطقه تایپه، در اثر وجود یک جبهه سرد ناشی از یک سامانه امگا شکل ریزش کرده است (چن و همکاران، ۲۰۱۸: ۲۷۱۵-۲۶۹۷). ماتلیک و پوست (۲۰۰۸)، در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱، بارش‌های شدید و حدی استونیا را بررسی کردند. با رسم نقشه‌های همدیدی و جبهه‌گذاری آنها، مسیر حرکت چرخندهای عبوری از کشور را مشخص کردند و نشان دادند که در همه موارد کم فشارهای جبهه‌ای عامل رخداد این بارش‌ها است (ماتلیک و پوست، ۲۰۰۸: ۲۰۸-۱۹۵). از جمله مطالعاتی که به منابع رطوبتی بارش‌های کشور ایران اشاره شده است در اکثر پژوهش‌ها نقش پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان و دریا‌های عرب محسوس‌تر از دیگر مؤلفه‌های گردش جو در منطقه بیان شده است (ایزد نگهدار، ۱۳۷۰؛ لشکری ۱۳۹۵، ۱۳۹۴؛ مفیدی و زرین، ۱۳۸۴). کریمی احمدآبادی و فرج زاده (۱۳۹۰) در مطالعه خود بر روی منابع تأمین رطوبت بارش‌های ایران، پرفشار شرق شبه‌جزیره عربستان (غرب دریای عرب) و پرفشار شمال آفریقا را تریق‌کننده‌های اصلی رطوبت به داخل ایران می‌دانند (کریمی احمدآبادی و فرج زاده، ۱۳۹۰: ۱۲۳-۱۰۹). امینی و همکاران (۱۳۹۱) سامانه‌های همراه با بارش‌های سنگین و سیل‌زا را در حوضه رودخانه کشکان مطالعه کردند و آن‌ها نیز وجود واچرخند عربستان را باعث انتقال رطوبت و ایجاد بارش‌های سنگین معرفی کرده‌اند (امینی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۰-۱). خسروی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه خود نشان دادند که دریای عرب در تراز پایین و دریای مدیترانه در تراز بالا بیشترین نقش را در وزش رطوبتی بارش‌های ایران داشته است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۵۲). لشکری (۱۳۷۵) با بررسی ساز و کار تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم فشار سودان، نقش این سامانه را بر بارش‌های سنگین جنوب و جنوب غرب ایران مطالعه نموده است. وی وقوع بارش‌های سنگین و سیل آسا در جنوب غرب ایران را نتیجه تقویت و تشدید مرکز کم فشار موسمی سودان و منطقه همگرایی دریای سرخ می‌داند. مرادی و سعادت آبادی (۱۳۹۹) در بررسی همدیدی سیلاب سیستان و بلوچستان و برف سنگین گیلان در زمستان ۱۳۹۸ نتیجه می‌گیرند که سامانه اول فرارفت هوای گرم و مرطوب از دریای عرب و دریای عمان و در سامانه دوم فرارفت هوای سرد از روی دریای خزر شرایط مناسب را برای بارش‌های همرفتی سیستان و بارش برف سنگین گیلان را فراهم کرده است (مرادی و سعادت آبادی، ۱۳۹۹: ۲۴۳-۲۲۷). در این پژوهش سعی می‌شود با بررسی تعداد روزهای بارش‌های سنگین و ابر سنگین حوضه ابریز کرخه در طول دوره آماری (۲۰۱۸-۲۰۰۵)، ضمن برآورد پهنه‌های ابری حاصل از بارش‌های ابر سنگین، به سؤالات زیر پاسخ داده شود.

۱- الگوهای همدیدی منجر به بارش‌های ابرسنگین در حوضه آبخیز کرخه چگونه است؟

۲- چه الگوی ترمودینامیک انرژی و رطوبت سامانه‌های بارشی ابرسنگین را تأمین می‌کند؟

بنابراین با پاسخگویی به سوالات مطرح شده می‌توان به اهداف ذیل دست یابیم.

۱- نقش و الگوی بارش‌های ابر سنگین در ایجاد سیلاب‌های حوضه آبخیز کرخه

۲- شناخت الگوهای بارشی حاکم در محدوده مورد مطالعه

۳- بررسی وضعیت جت استریم بر بارش‌های منطقه

#### ۴. روش پژوهش

روش تحقیق در این پژوهش، روش محیطی به گردشی می باشد. ابتدا آمار بارش‌های روزانه حوضه آبخیز در یک دوره آماری ۱۳ ساله (۲۰۱۸-۲۰۰۵) برای تمام ایستگاه‌های سینوپتیک استخراج می‌شود. سپس بر اساس معیارهای جهانی و ملی برای انتخاب بارش‌های سنگین<sup>۱</sup> و بارش‌های ابر سنگین<sup>۲</sup> برای دوره بارشی حوضه استخراج می‌گردد.

در گام دوم بعد از مشخص شدن تعداد روزهای بارش‌های ابرسنگین، تصاویر ماهواره ای راداری سنسینل ۱ و لندست در روزهای قبل از وقوع بارش و همچنین بعد از بارش سنگین در محیط سامانه گوگل ارث انجین فراخوانی شد. بعد از تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفریک تصاویر، از شاخص NDWI و Log Ratio برای محاسبه پهنه آب و تغییرات آبی دریاچه سد کرخه استفاده شد.

در گام سوم: داده های جوی روزهایی که دارای بارش ابر سنگین بودند با استفاده از سایت مرکز ملی اقیانوس شناسی و جو ایالات متحده امریکا<sup>۳</sup> در محدوده طول جغرافیایی ۱۰ درجه شرقی تا ۸۰ درجه شرقی و عرض صفر تا ۷۰ درجه شمالی استخراج شده و با نقشه های ترکیبی نم و ویژه، امگا، جریان، ارتفاع و فشار برای ترازهای دریا، ۷۰۰، ۸۵۰، ۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و جت ترازهای ۳۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال در محیط Grads ترسیم شد. با استفاده از داده های تراز دریا، ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال سامانه ها منشا یابی می گردند. شکل شماره (۱) موقعیت حوضه ابریز کرخه را همراه با ایستگاه‌های هواشناسی در سطح منطقه نشان می دهد.

#### ۴.۱. شاخص NDWI

شاخص‌های طیفی مختلفی وجود دارد که می‌توان بر اساس آنها پهنه‌های آبی را بر روی تصاویر ماهواره ای شناسایی کرد. در این تحقیق جهت اشکارسازی پهنه های آبی دریاچه سد کرخه نیاز به تصاویر قبل از ایجاد بارش ابر سنگین و تصویر بعد از ایجاد بارش ابر سنگین داریم. برای تصاویر اپتیک از شاخص آب تفاضلی نرمال (مک فیتز، ۱۹۹۶: ۱۴۳۲-۱۴۲۵) و برای تصاویر راداری با قطبش VV از شاخص Log Ratio بر اساس رابطه (۱) و (۲) استفاده گردید.

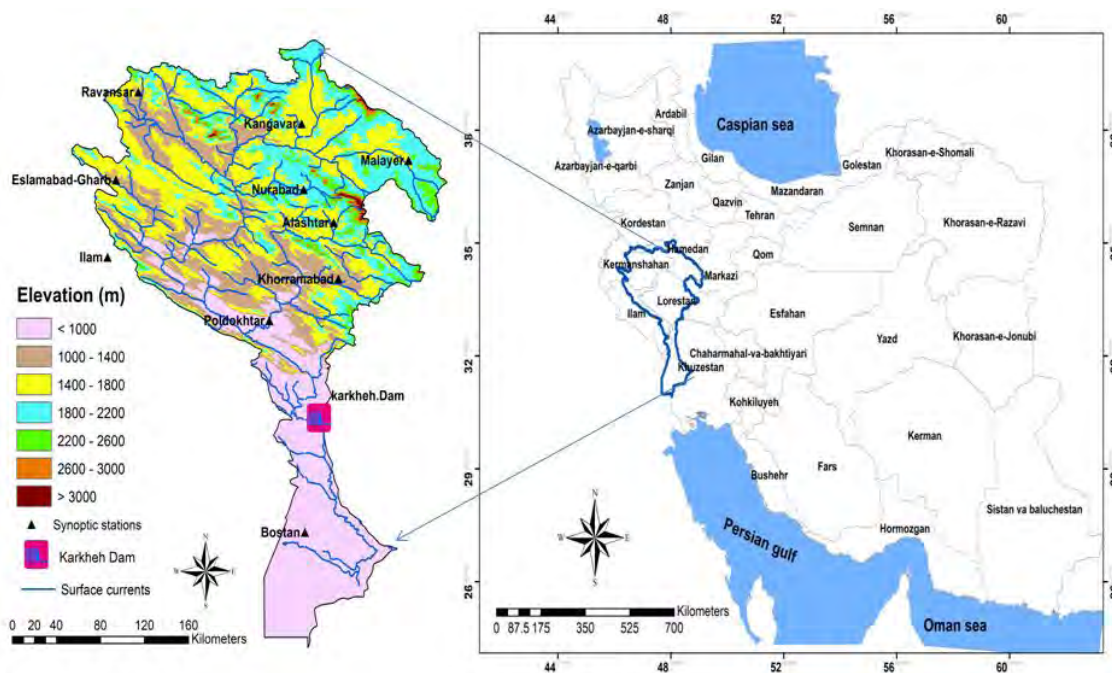
$$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$$

$$LogRatio = \log_{10} \left( \frac{post}{pre} \right)$$

در این رابطه GREEN باند سبز، NIR باند مادون قرمز میانی، POST و PRE به ترتیب مرتبط با تصویر قبل و بعد از بارش ابر سنگین می باشد.

1. Heavy Precipitation  
2. Extremely Heavy Precipitation  
3. Ncep/Ncar





شکل ۱. موقعیت حوضه ابریز کرخه (منبع: کیخسروی، ۲۰۲۱)

## ۵. یافته‌های پژوهش و بحث

بارش‌های سنگین در این پژوهش روزی است که ایستگاه‌های همدیدی، برابر یا بزرگتر از ۳۰ میلی‌متر بارش داشته باشند (علیچانی، ۱۳۹۵). بر اساس این معیار با ۱۷ ایستگاهی که بین سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۵ داده در اختیار داشتند، روزهای بارشی سنگین آن‌ها استخراج شد. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد بیشترین فراوانی وقوع بارش‌های سنگین حوضه کرخه بر حسب فراوانی در ماه‌های آوریل، دسامبر، مارس، نوامبر، فوریه، اکتبر، ژانویه و می رخ می‌دهند. بارش‌های سنگین از مقدار حداقلی ۱۵ تا ۴۹ روز (مقدار تجمعی بلند مدت است) در سطح حوضه تغییر دارند. ایستگاه‌های دره شهر و الشتر به ترتیب با فراوانی ۴۹ و ۴۶ روز بیشتر رخداد بارش سنگین و ایستگاه‌های بستان و بدرآباد به ترتیب با فراوانی ۱۵ و ۲۱ روز کمترین رخداد بارش سنگین را در طی دوره آماری ۱۳ ساله گزارش کردند. برای بارش‌های ابر سنگین (بارش یک روزه بیشتر از ۳۰ میلیمتر) در ۱۷ ایستگاه منتخب در حوضه کرخه در مجموع ۵۳۵ روز تجمعی برای ۱۷ ایستگاه محاسبه شده است. مجموع بارش‌های سنگین به تفکیک سال روند افزایشی را نشان می‌دهد. این روند افزایشی یک تهدید بزرگ برای حیات سدهای موجود و همچنین افزایش رواناب سطحی و سیلاب‌های گسترده خواهد بود.



جدول ۱. مجموع روزهای بارش‌های سنگین در ایستگاه‌های حوضه کرخه (۲۰۰۵-۲۰۱۸)

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	مجموع
ملاپر	-	۱	۵	۵	۳	۱	-	-	-	۱	۲	۱	۱۹
نورآباد(لرستان)	۱	۱	۳	۳	۱	۱	-	-	۱	۵	۵	۸	۲۹
کنگاور	۱	۴	۳	۴	۱	-	-	-	-	۴	۳	۵	۲۶
سرآرود(کرمانشاه)	۴	۶	۶	۳	-	-	-	-	-	۶	۲	۳	۳۰
روانسر	۶	۷	۹	۷	۱	-	-	-	-	۷	۸	۱	۴۶
بستان	۱	۱	۲	۱	۲	-	-	۱	-	-	۴	۳	۱۵
الشر	۵	۶	۷	۵	۳	-	-	-	-	۴	۴	۷	۴۱
نهادن	۳	۵	۴	۵	۳	-	-	-	-	۲	۵	۶	۳۳
کوهدهشت	۳	۵	۲	۷	۳	-	-	-	-	۳	۷	۸	۳۸
دره شهر	۵	۸	۴	۸	۳	-	-	-	-	۴	۷	۱۰	۴۹
تویسرکان	۲	۲	۵	۸	۱	-	-	-	-	۳	۳	۴	۲۸
سنقر	۲	۲	۳	۲	-	-	-	-	-	۴	۵	۶	۲۴
کرمانشاه	۳	۵	۴	۳	۳	-	-	-	-	۵	۵	۲	۳۰
خرم آباد	۴	۶	۶	۷	۱	-	-	-	-	۵	۵	۷	۳۸
پلدختر	۱	۴	۳	۵	۱	-	-	-	-	۲	۵	۷	۲۸
بدرآباد(لرستان)	۲	۴	۴	۵	-	-	-	-	-	۱	۳	۲	۲۱
اسلام آباد غرب	۳	۹	۷	۳	۱	-	-	-	-	۷	۶	۴	۴۰
مجموع	۴۶	۷۳	۷۷	۸۱	۲۸	۲		۱		۶۳	۷۹	۸۴	۵۲۵

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰

برای انتخاب روزهای بارش فراگیر ابر سنگین علاوه بر آستانه ۳۰ میلی‌متر برای یک روز شرط دیگری نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بطوریکه حداقل در ۵۰ درصد ایستگاه‌ها در آن روز بخصوص بارش بیش‌تر از ۳۰ میلی‌متر ثبت شده باشد(امیدوار و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۶-۱۹). بر اساس شرط‌های دوگانه نامبرده ۷ رخداد فراگیر برای بارش‌های ابر سنگین حوضه کرخه شناسایی شده است. این ۷ سامانه عبارتند از: ۱۱ مارس ۲۰۰۵ (۱۲ ایستگاه)؛ ۴ فوریه ۲۰۰۶ (۱۰ ایستگاه)، ۱۸ نوامبر ۲۰۰۹ (۱۰ ایستگاه)، ۲۳ آوریل ۲۰۱۰ (۱۲ ایستگاه)، ۱۸ نوامبر ۲۰۱۵ (۱۰ ایستگاه)، ۱۴ آوریل ۲۰۱۶ (۱۱ ایستگاه) و ۲۵ دسامبر ۲۰۱۶ (۱۲ ایستگاه). شماره ایستگاه‌های موجود پراکنش برای هر ایستگاه نشان دهنده تعداد ایستگاه‌های درگیر همزمان با دو شرط نامبرده است.

جدول ۲. فراوانی تعداد روزهای بارش‌های ابرسنگین همراه با تعداد ایستگاه‌های درگیر بارش (۲۰۰۵-۲۰۱۸)

تاریخ	طول دوره بارشی در سطح ایستگاه‌ها به روز	تعداد ایستگاه‌های بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر	الگوی همدیدی		مساحت دریاچه سد کرخه به کیلومتر مربع	
			ترازهای بالا	سطح زمین	قبل از بارش ابر سنگین	بعد از بارش ابر سنگین
۱۱ مارس ۲۰۰۵	۴	۱۲	کم فشار سودان- پرفشار سیبری	پرفشار عربستان- ناوه جنب قطبی	-	-
۴ فوریه ۲۰۰۶	۳	۱۰	کم فشار سودان- پرفشار سیبری	پرفشار عربستان- ناوه جنب قطبی	۸۴/۳۲	۱۲۱/۷۲
۱۸ نوامبر ۲۰۰۹	۴	۱۰	کم فشار سودان- پرفشار سیبری	پشته عربستان-ناوه جنب قطبی	۵۷/۱۴	۶۲/۱۴
۲۳ آوریل ۲۰۱۰	۲	۱۲	کم فشار سودان، پاکستان- پرفشار سیبری	پشته عربستان-ناوه جنب قطبی	۸۱/۱۶	۱۰۱/۸۴
۱۸ نوامبر ۲۰۱۵	۵ تا ۱	۱۰	کم فشار سودان، پاکستان- پرفشار سیبری	پرفشار عربستان- ناوه جنب قطبی	۵۳/۵۶	۷۱/۷
۱۴ آوریل ۲۰۱۶	۸ تا ۳	۱۱	کم فشار سودان، پاکستان- پرفشار سیبری	پرفشار عربستان- ناوه جنب قطبی	۸۲/۰۷	۱۳۳/۲
۲۵ دسامبر ۲۰۱۶	۵ تا ۲	۱۲	کم فشار سودان- پرفشار سیبری	پرفشار عربستان- ناوه جنب قطبی	۱۲۲/۷	۱۲۷/۷

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰

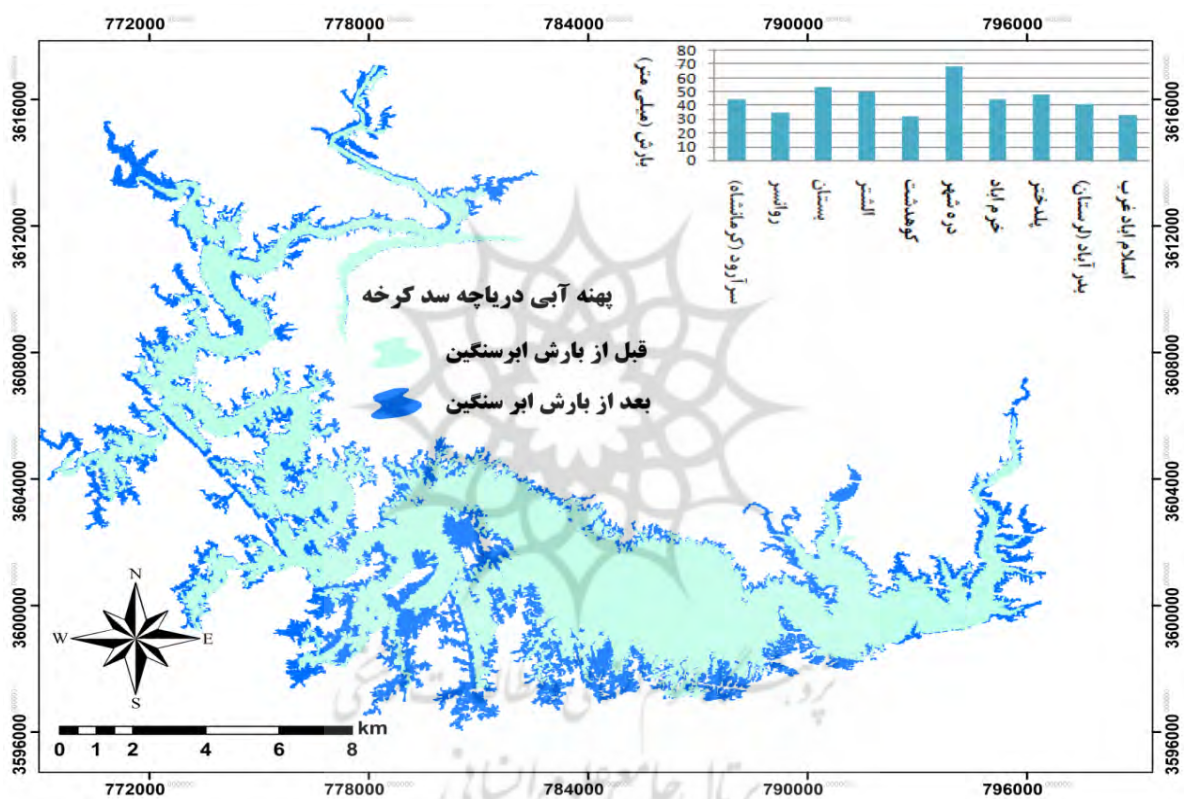
بررسی انجام شده بر روی نقشه‌های همدیدی ۷ نمونه بارش‌های ابرسنگین بر روی حوضه کرخه نشان داد که الگوی غالب بارش‌های ابر سنگین بدین گونه است که از سطح زمین تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال شرایط همدیدی کم فشار سودان، الگوی ترکیبی کم فشار سودان و پاکستان و پرفشار سیبری حاکمیت دارد. در ترازهای بالاتر از ۸۵۰ هکتوپاسکال در تمامی نمونه‌ها سامانه‌های پرفشار عربستان به شکل پشته، نفوذ زبانه و ناه جنب قطبی مسلط است. با توجه به شرایط همدیدی تقریباً یکسان سامانه‌ها، بنابراین جهت تحلیل همدیدی ساختار جو سه نمونه سامانه‌هایی که باعث افزایش بیشترین وسعت پهنه دریاچه سد کرخه شدند انتخاب گردید.

### ۱.۵. تحلیل بارش ابرسنگین فراگیر ۴ فوریه ۲۰۰۶

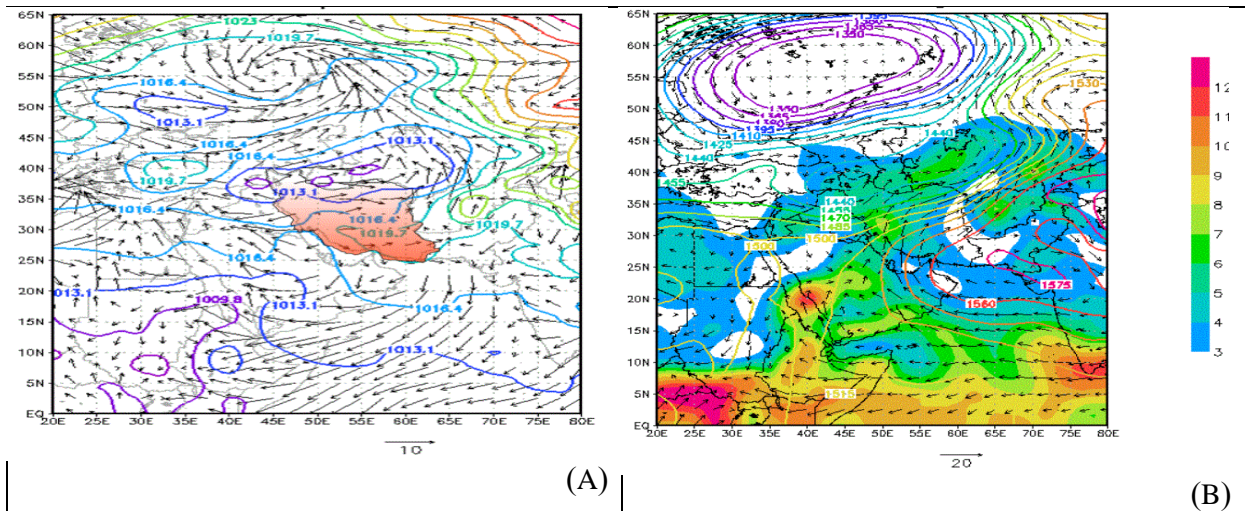
در این نمونه مطالعاتی طول دوره بارشی در سطح حوضه کرخه ۳ روز است بدین معنی که بارش باران از روز ۲ فوریه شروع تا روز ۴ فوریه ۲۰۰۶ ادامه داشته است. در رخدادهای بارش فراگیر ابر سنگین در روز ۴ فوریه، ۱۰ ایستگاه بارش بیش‌تر از ۳۰ میلی‌متری را گزارش کردند. بیشینه بارش در ایستگاه دره شهر به ۶۸/۸ میلی‌متر رسیده است. بر پهنه‌ای مساحت سد دریاچه کرخه نسبت به چند روز قبل از وقوع بارش ابر سنگین حدود ۳۷/۴ کیلومتر مربع افزوده شده است (شکل ۲).

اشکال شماره‌های ۳ و ۴ شرایط همدیدی در روز وقوع بارش ابر سنگین را نشان می‌دهد. در تراز دریا زبانه کم فشار گسترده‌ای با فشار ۱۰۰۹ هکتوپاسکال با راستای جنوب غربی- شمال شرقی از روی کشور سودان شروع شده و در ادامه تمام محدوده ایران را دربر گرفته است. همچنین یک سامانه پرفشاری قوی با مرکزیت ۱۰۳۰ هکتوپاسکال که هسته آن در شرق دریاچه بایکال قرار دارد. زبانه‌های آن با گسترش جنوب سو محدوده دریای عمان و بخش‌های از خلیج فارس را نیز دربر گرفته است. نفوذ جنوب سوی زبانه واچرخندی سیبری بر روی دریای عمان و خلیج فارس ضمن تشدید شیو دمایی بر روی منطقه با گردش واچرخندی سبب فرارفت رطوبت دریاهای گرم جنوبی به درون کم فشار سودانی شده است.

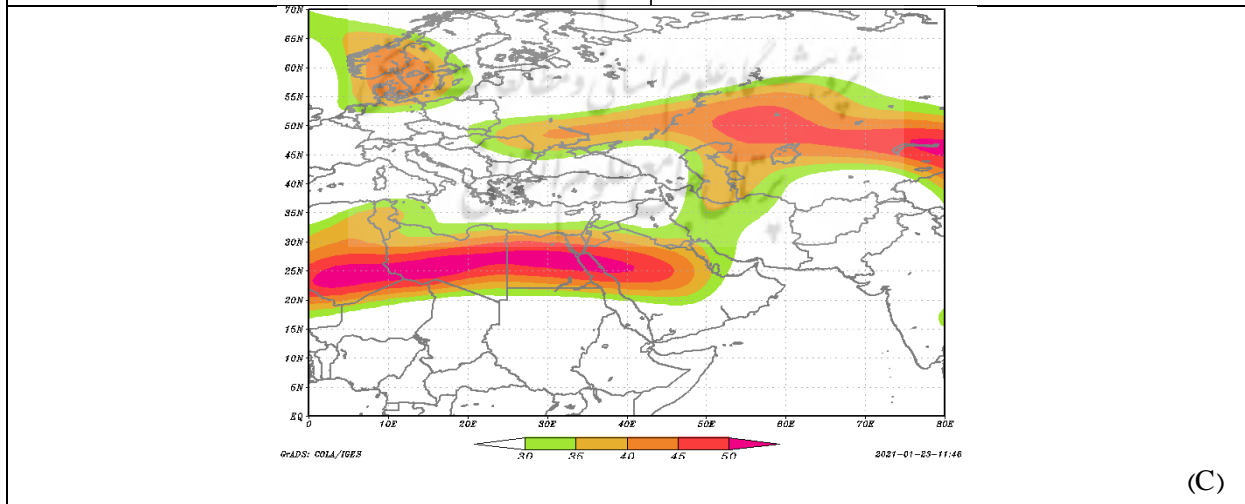
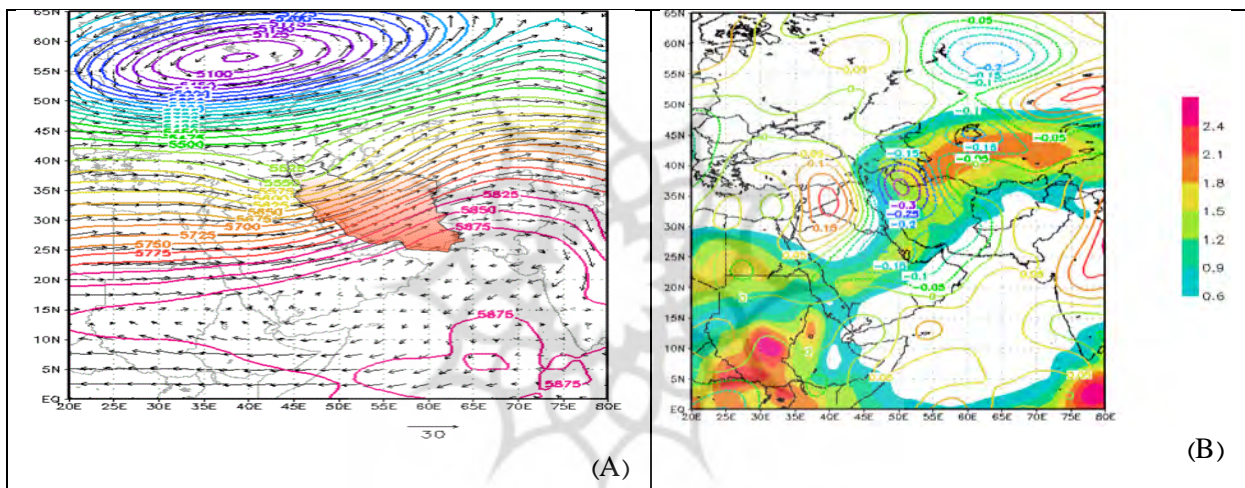
در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال ناوه جنب قطبی با راستای شمال شرقی- جنوب غربی از شمال دریای خزر و دریای سیاه شروع و تا دریای سرخ امتداد می یابد. در این تراز همچنان زبانه پرفشار سیبری نیز تا محدوده جنوب عربستان و دریای عرب گسترش یافته است. این شرایط همدیدی تداوم فرارفت رطوبت از روی دریاها گرم جنوب به جلو ناوه را نشان می دهد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با دور شدن از شرایط حرارتی لایه زیرین و رده سپهر و اچرخند عربستان تقویت و پدیده غالب بر روی دریاها گرم عرب و عمان می باشد. با تداوم فرارفت سرد جنب قطبی از طریق جریانات شمالی بدون ناوه ، در این تراز ناوه گسترش جنوب سوی قابل توجهی را پیدا کرده است. این شرایط همدیدی شیو دمایی شدیدی را در شمال عربستان، غرب و جنوب غربی ایران ایجاد کرده است. با توجه به ساختار دینامیکی جت های ترکیبی جنب حاره ای و قطبی در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال، میدان گسترده ای از امگای منفی تمام پهنه شبه جزیره عربستان و جنوب غربی ایران را دربر گرفته است . بالاترین مقدار امگای منفی به بزرگی ۰/۲۵- پاسکال بر ثانیه درست بر روی استان های جنوب غربی و غرب ایران قرار دارد. این شرایط همدیدی سبب واگرایی و صعود هوا در لایه های زیرین می شود.



شکل ۲. وضعیت پهنه آبی دریاچه سد کرخه در روزهای قبل و بعد از وقوع بارش ابرسنگین در تاریخ ۴ فوریه ۲۰۰۶ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)



شکل ۳. شرایط همدیدی و آرایش سامانه ها در تراز دریا (A)، ارتفاع، نم و یژه و جریان باد تراز 850 هکتوپاسکال (B)، تاریخ ۴ فوریه ۲۰۰۶ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

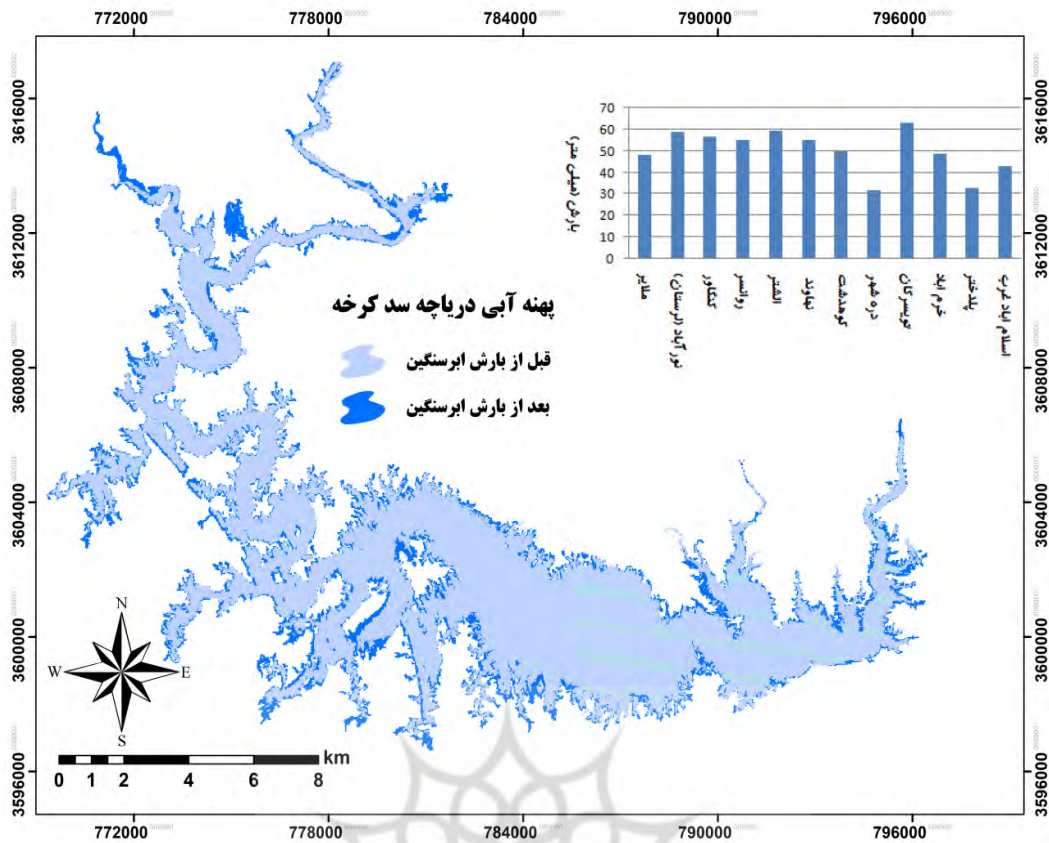


شکل ۴. شرایط همدیدی و آرایش سامانه ها در تراز ۵۰۰ (A) نم و یژه و امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (B)، جت تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال (C)، تاریخ ۴ فوریه ۲۰۰۶ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

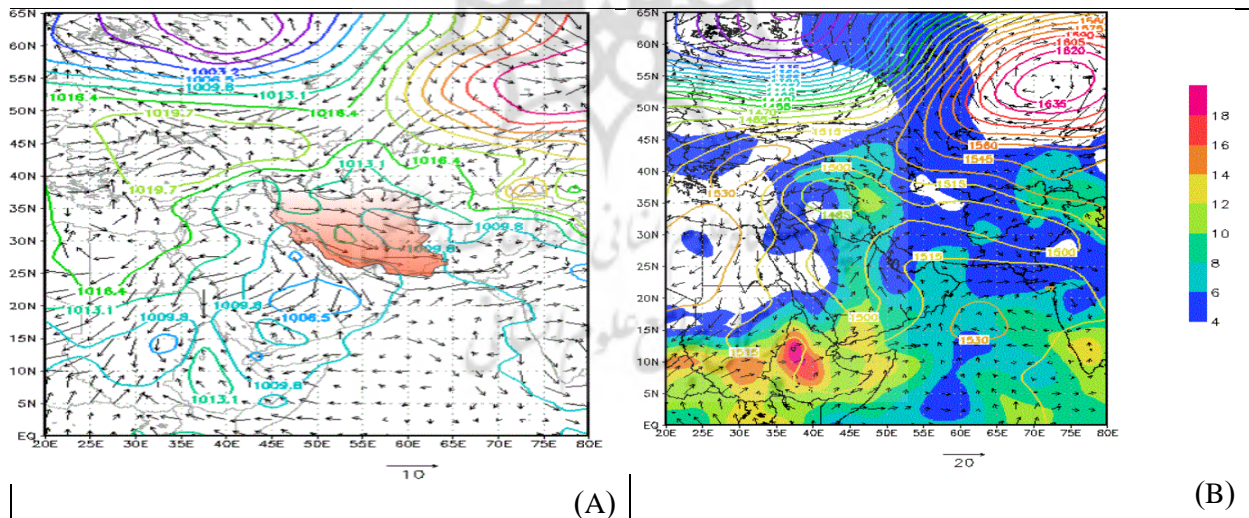
## ۵.۲. تحلیل بارش ابرسنگین فراگیر ۲۳ آوریل ۲۰۱۰

در این نمونه مطالعاتی طول دوره بارشی در اکثر ایستگاه‌ها ۲ روز است. بیشینه بارش ایستگاه‌ها در روز ۲۳ آوریل رخ داده است. در این روز ۱۲ ایستگاه بارش بیش‌تر از ۳۰ میلی‌متر را گزارش کرده‌اند و حتی ۷ ایستگاه بارش بالای ۵۰ میلی‌متر را ثبت کرده‌اند. بیشینه بارش ثبت شده نیز با ۵۹/۳ میلی‌متر در ایستگاه الشتر اتفاق افتاده است و کمینه آن نیز با ۳۲ میلی‌متر در ایستگاه دره شهر ثبت شده است. مساحت سطحی دریاچه سد کرخه نیز در این روز نسبت به قبل از دوره بارشی حدود ۱۶ کیلومتر مربع افزوده شده است (شکل ۵). اشکال شماره های ۶ و ۷ شرایط همیدی در روز وقوع بارش ابرسنگین را نشان می‌دهد. در تراز دریا کم فشاری با هسته مرکزی ۱۰۰۶/۵ هکتوپاسکال بر روی کشور سودان و جنوب عربستان استقرار دارد. زبانه این کم فشار تقریباً تمام پهنه کشور ایران را در بر گرفته است. همزمان پرفشار سبیری با گسترش غرب سوی خود با واچرخند مهاجر اروپایی ادغام شده است. در نتیجه تمام پهنه شمالی ایران و بخش‌هایی از مدیترانه شرقی تحت تسلط زبانه های این دو واچرخند قرار دارد. فرارفت سرد از عرض های شمالی با چرخش واچرخندی زبانه های پرفشار سبیری و مهاجر شیو دمایی شدیدی را بر روی ایران و عربستان تشدید کرده است. به طوری که تندی باد در بخشهایی از ایران و عربستان به بیش از ۱۵ نات می‌رسد. الگوی همیدی حاکم در تراز ۸۵۰ شباهت زیادی با تراز دریا دارد. در این تراز نیز زبانه کم فشار سودانی تمام پهنه کشورهای عربستان و ایران و در ادامه تا شمال عراق و مدیترانه شرقی دربر گرفته است. در این تراز جریانات جنوب و جنوب شرقی بر روی عربستان تشدید شده ولی بر روی ایران و منطقه مطالعاتی جوی نسبتاً آرام حاکم شده است. این شرایط فرارفت رطوبتی را از روی دریاها گرم بر روی منطقه نمایش می‌دهد. زبانه های رطوبتی در حال گسترش را بر روی منطقه می‌توان در ترازهای زیرین و ردهسپهر بر روی نقشه های این روز ملاحظه کرد. فرارفت سرد عرض های شمالی از طریق جریانات دامنه شرقی زبانه کم فشار به غرب عربستان و اردن و همچنین فرارفت گرم و مرطوب از روی دریاها گرم جنوبی بر روی بخش شرقی و میانی عربستان همگرایی شدیدی را در مرکز عربستان و کویت ایجاد نموده است. وجود یک کانال رطوبتی به بزرگای ۸ تا ۱۲ گرم بر کیلو گرم در راستای همین پهنه همگرایی، شرایط بسیار مناسبی را برای رشد ابرهای همرفتی بر روی منطقه فراهم نموده است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه شرقی مدیترانه کاملاً تقویت شده و با گسترش جنوب سو بر روی غرب مدیترانه و دریای سرخ قرار دارد. هسته کم ارتفاع درون ناوه نیز بدلیل فرارفت سرد جنب قطبی از طریق چرخند قوی روی شمال اروپا جابجایی جنوب سوی کاملاً نامتعارفی به عرض های جنوبی نشان می‌دهد. به طوری که هسته مرکزی این سردچال تا مرکز عراق نفوذ کرده است. این الگوی همیدی شرایط بسیار مناسبی را برای تشدید ناپایداری های همرفتی در غرب و جنوب غرب ایران فراهم نموده است. سرعت باد در بخش شرقی ناوه (منطقه واگرایی) که بر روی منطقه حوضه کرخه قرار گرفته است به بیش از ۲۵ متر بر ثانیه رسیده است. بنابراین گردش پادساعتگرد چرخند باعث فرارفت رطوبتی و مملو از بخار اب دریای های گرم جنوب به بخش شرقی چرخند می‌گردد. بر اساس شکل (B۷) میدان امگای منفی با بزرگای ۰/۳۵ پاسکال بر ثانیه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در غرب و شمال غربی کشور ایران منطبق بر بال شرقی ناوه شکل گرفته است. وجود جریانات بالاسوی قوی بر روی حوضه و فرارفت رطوبت مناسب در لایه زیرین و ردهسپهر شرایط را برای وقوع بارش‌های همرفتی شدید و تندرهای قوی بر روی حوضه مهیا کرده است. همچنین در بررسی نقشه جت، جریان های پر سرعت جت جنب قطبی (طول ۴۵ درجه شرقی و عرض ۵۲ درجه شمالی) و جنب حاره ای (طول ۳۵ درجه شرقی و عرض ۲۹ درجه شمالی) با بیش از ۳۰ متر بر ثانیه در بخش جلو ناوه نشان دهنده حاکمیت ناپایداری شدید در این لایه ها می‌باشد (شکل C۷).



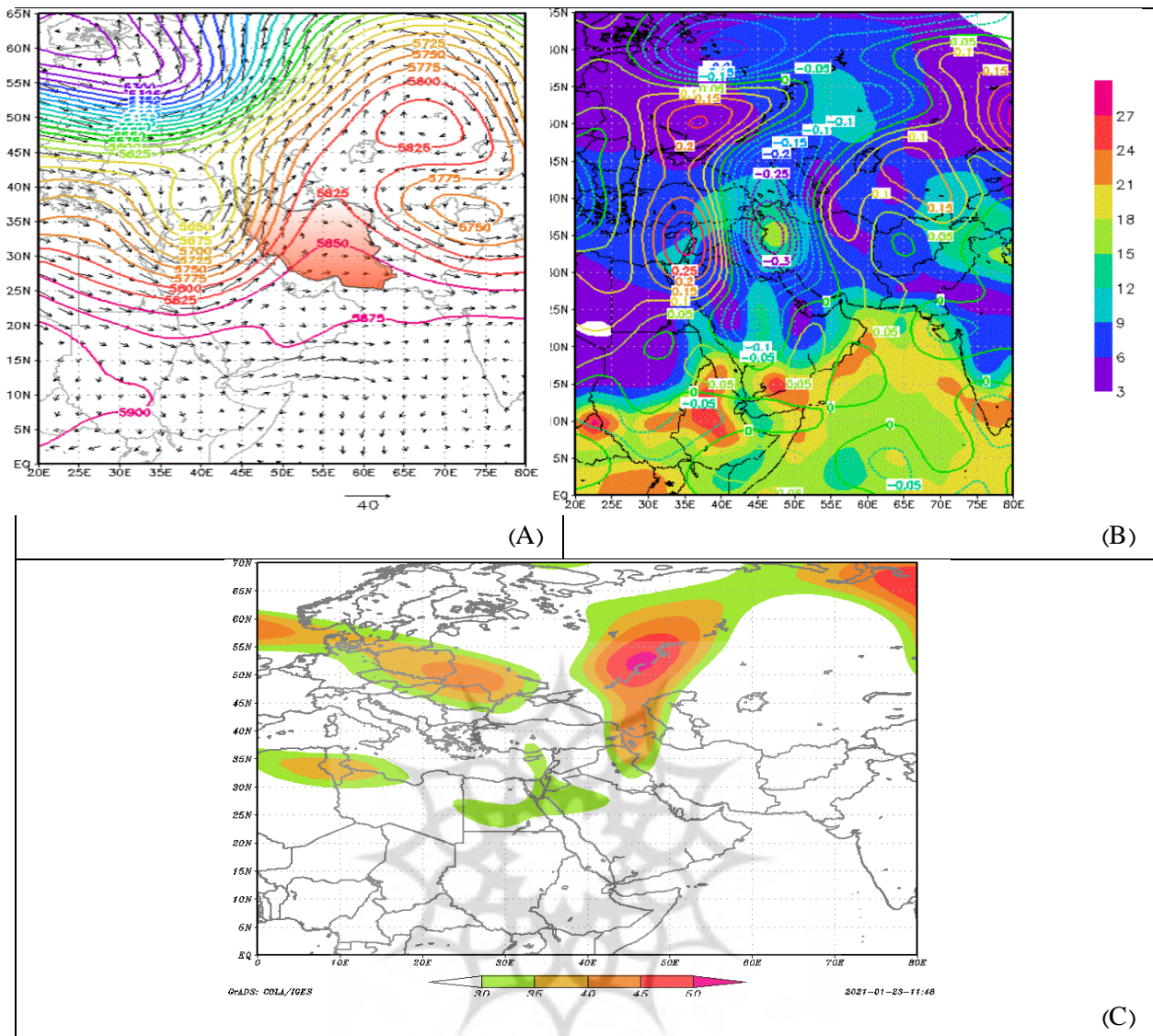


شکل ۵. وضعیت پهنه آبی دریاچه سد کرخه در روزهای قبل و بعد از وقوع بارش ابرسنگین در تاریخ ۲۳ آوریل ۲۰۱۰ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)



شکل ۶. شرایط همدیدی و آرایش سامانه ها در تراز دریا (A)، نم و ویژه و جریان باد تراز 850 هکتوپاسکال (B).  
۲۳ آوریل ۲۰۱۰ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)





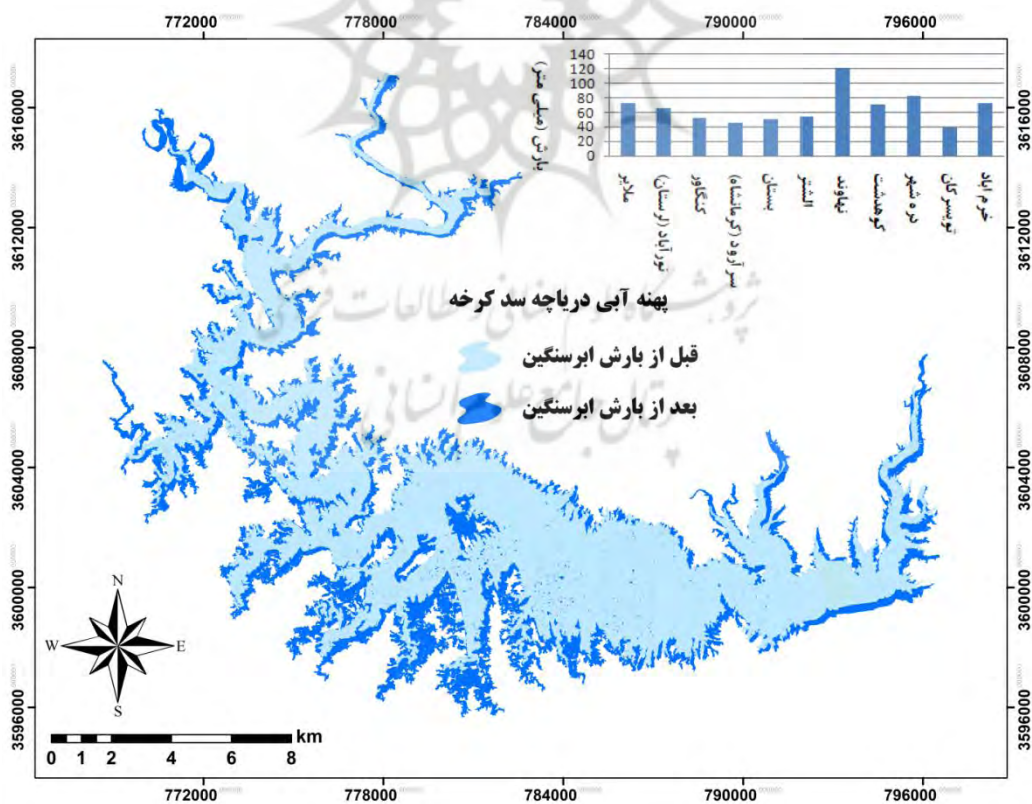
شکل ۷. شرایط همدیدی و آرایش سامانه ها در تراز ۵۰۰ (A) نم ویژه و امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (B)، جت تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال (C)، تاریخ ۲۳ آوریل ۲۰۱۰ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

### ۵.۳. تحلیل بارش ابرسنگین فراگیر ۱۴ آوریل ۲۰۱۶

در این نمونه مطالعاتی طول دوره بارشی در سطح حوضه کرخه در بین ایستگاه‌ها بین ۳ تا ۸ روز متغیر است. منبع رطوبتی بارش ابرسنگین از منطقه همگرایی حاره ای، جنوب دریای سرخ و دریای عرب می باشد. در مجموع از ۱۷ ایستگاه موجود در حوضه کرخه بیش از ۶۴ درصد ایستگاه‌ها بارش ابرسنگین را گزارش کردند و بیشینه بارش ثبت شده مربوط به ایستگاه نهاوند و دره شهر به ترتیب با ۱۲۱/۲۰ و ۸۲ میلیمتر است. پهنه مساحتی دریاچه سد کرخه از ۸۲ کیلومتر مربع قبل از بارش ابرسنگین به ۱۳۳/۲ کیلومتر مربع بعد از بارش ابرسنگین افزوده شده است (شکل ۸). در نقشه تراز دریای (شکل ۹A) دو هسته کم فشار یکی بر روی کشور سودان و دیگری بر روی کشور پاکستان شکل گرفته زبانه‌های این کم فشارها به صورت ترکیبی بخش‌های غرب، جنوب غربی، جنوب شرقی و شمال شرقی کشور را دربر گرفته است.

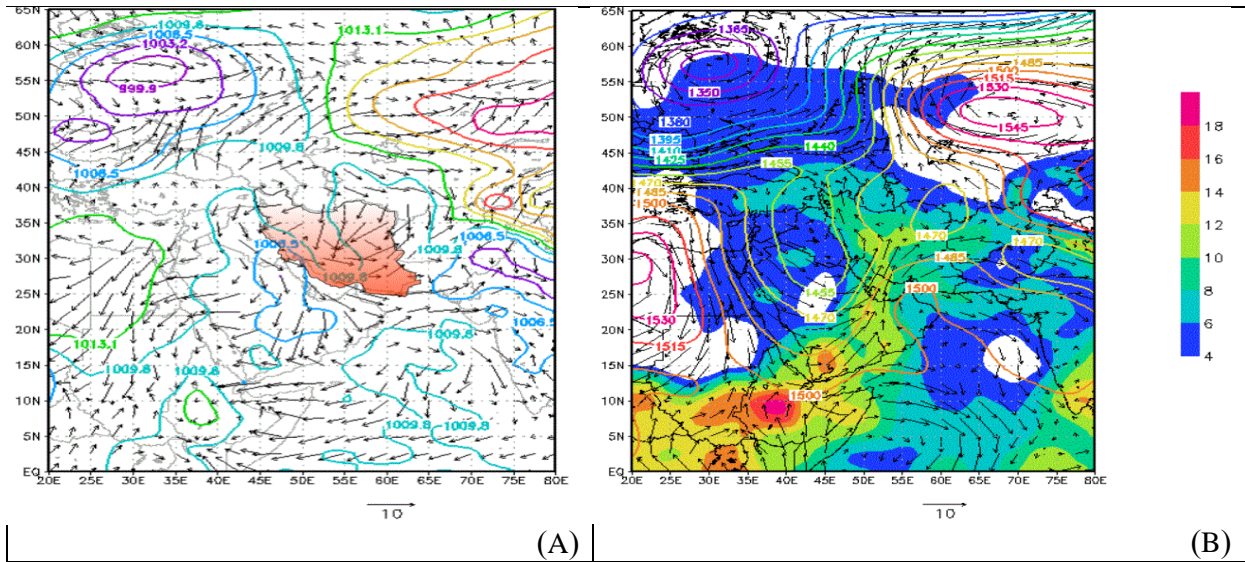
در این الگو واچرخند آفریقا با گسترش بر روی دریای مدیترانه و شرق اروپا سبب فرارفت سرد عرض‌های شمالی بر روی دریای سرخ و پشت سامانه سودانی گردیده است. با فرارفت سرد از عرض‌های جنب حاره سبب افزایش شیو حرارتی در دامنه غربی کم فشار سودان گردیده است. بنابراین الگوی ترکیبی سامانه کم فشار سودانی و کم فشار پاکستان با فرارفت گرم و مرطوب از روی آب‌های گرم، انرژی ترمودینامیکی لازم را برای تقویت سامانه را فراهم می کنند. در تراز ۸۵۰

هکتوپاسکال (شکل 9B) هسته چرخندی با منحنی ارتفاعی ۱۳۳۵ ژئوپتانسیل متر در عرض شمالی ۵۲ درجه و طول شرقی ۳۰ درجه شکل گرفته است. زبانه این هسته چرخندی به شکل ناوه عمیقی با راستای شمالی- جنوبی بر روی کشور عراق، عربستان تا جنوب دریای سرخ (عرض های ۱۵ درجه شمالی) گسترش یافته است. فرارفت سرد عرض های شمالی همچنان در این تراز تشدید شیو حرارتی را بر روی غرب عربستان موجب شده است. تند بادهای جلو ناوه و فرارفت گرم و مرطوب جریانات جنوبی بر روی منطقه مطالعاتی در این تراز بخوبی موید این مسأله است. بطوری که هسته هایی با نم ویژه بالای ۱۲ گرم بر کیلو گرم در بخش اعظمی از حوضه آبریز ملاحظه می شود. جابجایی شرق سوی واچرخند عربستان در این تراز زمینه لازم برای گسترش جنوب سوی ناوه مدیترانه ای بر روی منطقه و تزریق تاوایی مناسب برای تشدید جریانات همرفتی را فراهم نموده است. همان طور که ملاحظه می شود در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل A۱۰) ناوه مدیترانه ای با گسترش جنوب سو تا عرض های ۹ درجه جنوبی پایین آمده است. مرکز بسته درون ناوه بصورت یک سردچال قوی با جابجایی جنوب سو تا جنوب عراق گسترش یافته و شیو حرارتی شدیدی را بر روی غرب عربستان و جنوب غرب ایران فراهم نموده است. تندی باد در جلو ناوه به بیش از ۳۰ نات رسیده است. شکل (B۱۰) نقشه ترکیبی نم ویژه وامگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را نشان می دهد. میدان امگای منفی گسترده ای با بزرگای امگای (۰/۲۵ منفی) تمام پهنه حوضه آبریز را در بر گرفته است. در بین نمونه های مطالعاتی مناسبترین موقعیت قرار گیری هسته جت برای ایجاد بارش های ابرسنگین مرتبط با همین سامانه می باشد بطوریکه پهنه آبی دریاچه سد کرخه بیش از ۵۱ کیلومتر مربع افزوده شده است. در این سامانه بارشی هسته جت (شکل C۱۰) درست منطبق بر مرکز کشور عربستان (عرض ۲۴ درجه شمالی و طول ۴۲ شرقی) قرار دارد. و ناپایدارترین بخش جت، منطقه خروجی درست منطبق بر بخش جلویی ناوه بر روی حوضه کرخه استقرار یافته است. جریانات بالاسوی قوی در لایه میانی و بالایی وردسپهر از یک سو و فرارفت رطوبتی مناسب از دریاها گرم جنوبی مناسب ترین شرایط را برای تشدید جریانات همرفتی بر روی حوضه آبریز فراهم نموده است.

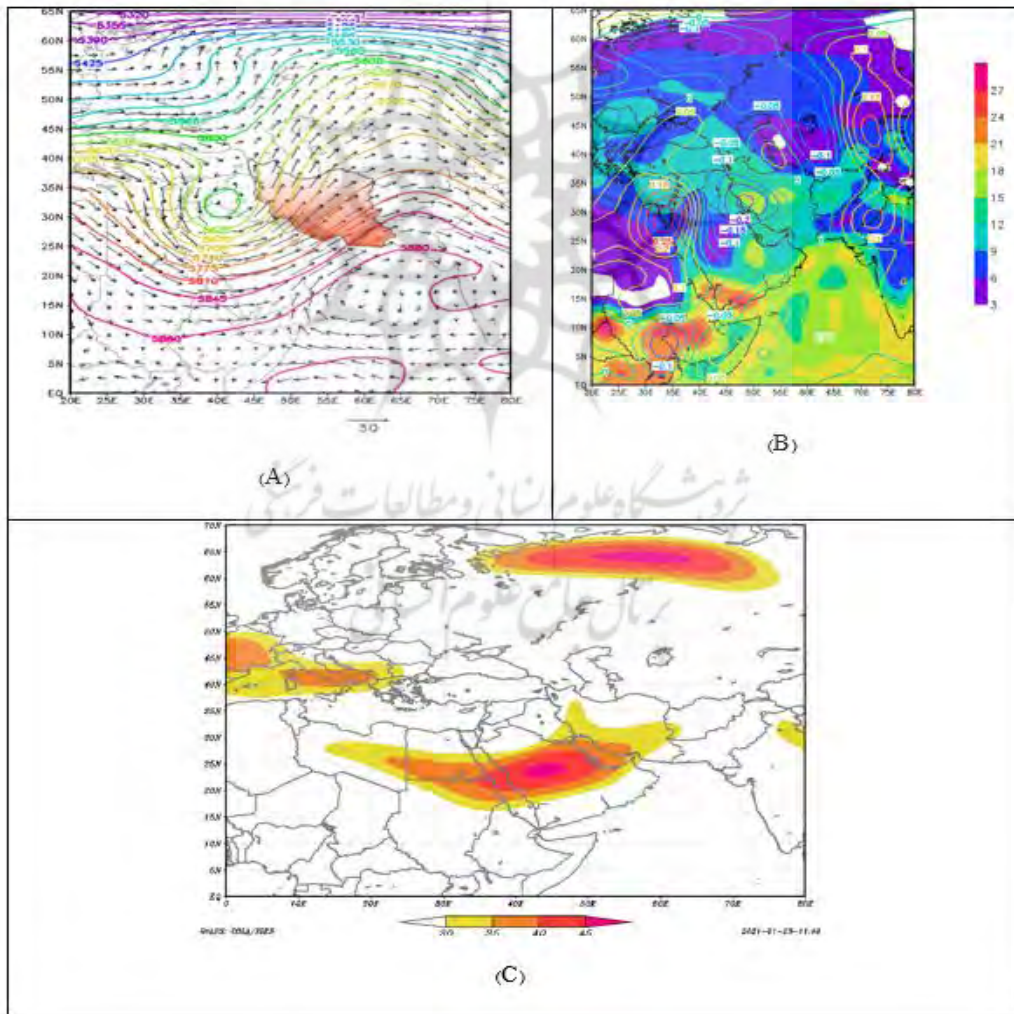


شکل ۸. وضعیت پهنه آبی دریاچه سد کرخه در روزهای قبل و بعد از وقوع بارش ابرسنگین در تاریخ ۱۴ آوریل ۲۰۱۶ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)





شکل ۹. شرایط همدیدی و آرایش سامانه ها در تراز دریا (A)، ارتفاع، نم و یژه و جریان باد تراز 850 هکتوپاسکال (B)، ۱۴ آوریل ۲۰۱۶ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)



شکل ۱۰. شرایط همدیدی و آرایش سامانه ها در تراز ۵۰۰ (A) نم و یژه و امگا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (B)، جت تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال (C)، تاریخ ۱۴ آوریل ۲۰۱۶ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۰)

## ۶. نتیجه‌گیری

بارش سنگین به مواردی اطلاق می‌شود که طی آن میزان باران یا برفی که در یک مکان تجربه می‌شود به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش از حد طبیعی باشد (سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۱۸). رخداد بارش ابر سنگین، اغلب دارای ویژگی‌های محلی بوده و محدوده تحت تأثیرشان بیشتر از چند کیلومتر نیست اما این رویدادها درون سامانه‌های بزرگ مقیاسی ادغام شده و فعالیت دارند که ممکن است رطوبت شان را از مسیر دورتری دریافت کرده باشند.

یکی از بلاهای طبیعی که در ارتباط با وقوع بارش‌های ابرسنگین و فرین در ایران و بخصوص در جنوب غربی می‌باشد، پدیده سیلاب است که همه ساله میلیاردها ریال خسارت به زمین‌های کشاورزی، منابع طبیعی و سازه‌های عمرانی مانند پل‌ها، کانال‌ها، سدها و جاده‌ها وارد می‌سازد. بارش‌های سنگین شاخصی برای تغییر اقلیم هستند و به تغییرات آب و هوایی وابسته اند، چرا که با افزایش دما، جو قادر به نگهداری مقدار بخار آب بیشتری خواهد بود و اقیانوس‌های گرم‌تر میزان آب تبخیر شده در هوا را افزایش می‌دهند (ملی لو و همکاران، ۲۰۱۴). این پژوهش با هدف تحلیل الگوهای همدیدی و ترمودینامیک منجر به بارش‌های ابر سنگین در حوضه آبخیز کرخه و تاثیر آن بر پهنه آبی دریاچه سد کرخه انجام شد. در ۱۷ ایستگاه منتخب در حوضه کرخه، در طول دوره آماری (۲۰۱۸-۲۰۰۵) در مجموع ۵۳۵ روز تجمعی بارش سنگین (بارش بیش از ۳۰ میلیمتر در روز) ثبت شده است. بیشترین فراوانی وقوع بارش‌های سنگین حوضه در فصل پاییز و سپس فصل زمستان رخ می‌دهد. بارش‌های سنگین از مقدار حداقلی ۱۵ تا ۴۹ روز (مقدار تجمعی بلند مدت است) در سطح حوضه تغییر دارند. ایستگاه‌های دره شهر و الشتر به ترتیب با فراوانی ۴۹ و ۴۶ روز بیشتر رخداد بارش سنگین و ایستگاه‌های بستان و بدرآباد به ترتیب با فراوانی ۱۵ و ۲۱ روز کمترین رخداد بارش سنگین را در طی دوره آماری ۱۳ ساله گزارش کردند. مجموع بارش‌های سنگین به تفکیک سال روند افزایشی را نشان می‌دهد. این روند افزایشی یک تهدید بزرگ برای حیات سدهای موجود و همچنین افزایش رواناب سطحی و سیلاب‌های گسترده در آینده خواهد بود. برای انتخاب روزهای بارش فراگیر ابر سنگین علاوه بر آستانه ۳۰ میلی‌متر برای یک روز شرط دیگری نیز مورد بررسی قرار گرفت، بطوریکه حداقل در ۵۰ درصد ایستگاه‌ها در آن روز بارش بیش‌تر از ۳۰ میلی‌متر ثبت شده باشد. بر اساس شرط‌های دوگانه نامبرده، ۷ رخداد فراگیر برای بارش‌های ابر سنگین حوضه کرخه شناسایی شد. در رخداد‌های بارش‌های ابر سنگین بر وسعت دریاچه سد کرخه از حداقل ۵ تا حداکثر ۵۱ کیلومتر مربع افزوده شده است. بطور متوسط در هر رخداد بارش ابر سنگین حدود ۲۵/۵ کیلومتر مربع بر وسعت دریاچه سد اضافه می‌شود. در ایجاد بارش‌های ابرسنگین دریا‌های گرم عرض‌های جنوبی منابع اصلی رطوبتی سامانه‌ها می‌باشند سامانه‌های تشکیل شده در این نواحی به علت ماهیت حرارتی و برخورداری از دمای بالا، استعداد رطوبت‌پذیری بالاتری را دارا می‌باشند که در صورت برخورداری از دینامیک مناسب جریانات بالاسو و تلاطم مناسب برای توزیع و پالایش رطوبت در درون خود، بارش‌های سنگین و سیل‌آسایی را در طول مسیر خود ایجاد می‌کنند. در بررسی بین طول دوره بارشی و میزان افزایش پهنه آبی دریاچه مشاهده گردید عامل اصلی افزایش پهنه آبی دریاچه، افزایش روزهای بارشی سامانه نیست بلکه گسترش جنوب سوی ناوه مدیترانه و شار قائم بخار آب شمال سو دریا‌های گرم جنوبی به جلو ناوه، نقش اصلی را در شدت بارش‌های ابرسنگین و در نتیجه افزایش پهنه آبی دریاچه سد کرخه برعهده دارد. در این میان افزایش تعداد روزهای دوره بارشی در مرتبط دوم قرار دارد. در تمامی نمونه‌های مطالعاتی بارش‌های ابر سنگین، در ترازهای زیرین وردسپهر الگوی سامانه‌های پرفشار سیبری، کم فشار سودان، پرفشار عربستان و الگوی ترکیبی کم فشار سودان - کم فشار پاکستان و در ترازهای بالایی وردسپهر سامانه‌های واچرخندی عربستان و چرخند مدیترانه‌ای به شکل ناوه بر منطقه حاکم می‌باشد. رطوبت انتقالی دریا‌های گرم جنوب (دریای عمان، عرب، سرخ) از ترازهای زیرین و رطوبت منطقه همگرایی حاره‌ای در ترازهای بالا مهم‌ترین عامل ایجاد اغتشاشات جوی و بارش‌های ابرسنگین می‌باشند. همچنین در بررسی موقعیت قرارگیری هسته جت برای ایجاد بارش‌های ابرسنگین، هسته جت درست منطبق بر مرکز کشور عربستان در موقعیت عرضی ۲۴ درجه شمالی و طول ۴۲ شرقی شکل می‌گیرد، به‌گونه‌ای که ناپایدارترین بخش جت (منطقه خروجی جت) منطبق بر بخش جلویی ناوه بر روی حوضه کرخه استقرار می‌یابد. نتایج این تحقیق در بحث الگوهای همدیدی غالب در تأیید با مطالعات محققینی از جمله لشکری و همکاران (۱۳۹۴)، لشکری و همکاران (۱۳۹۵)، امیدوار و همکاران (۱۳۹۶)، راستگو و سعادت آبادی (۱۳۹۷)، محمدی و لشکری (۱۳۹۷) و اسفندیاری و لشکری (۲۰۲۰) می‌باشد. بنابراین با توجه به اینکه بیشترین بارش‌های سنگین و ابر سنگین در سطح حوضه متعلق به ماه‌های دسامبر، آوریل، نوامبر و

مارس است، لازم است که مسئولین مرتبط با حوضه آبخیز حوضه کرخه اقدامات پیشگیرانه لازم را به‌ویژه برای چهار ماه نامبرده، انجام دهند.

## منابع

- امیدوار، کمال؛ سپندار، نساء و شفيعی، شهاب (۱۳۹۶). تحلیل سینوپتیک و ترمودینامیک بارش سنگین و سیلابی روزهای ۵ تا ۸ آبان ۱۳۹۴ در استان کرمانشاه، *فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۱۰۷، صص. ۲۳۷-۲۵۲.
- امیدوار، کمال؛ تنی، نظام؛ ابراهیمی، رضا و قیائی، ابراهیم (۱۳۹۷). واکاوی همدیدی دینامیکی بارش ابر سنگین ۴ آذر ۱۳۹۳، مطالعه موردی (کهگیلویه و بویر احمد)، *جغرافیای طبیعی*، ۱۱(۴۱)، صص. ۱۹-۳۶.
- امینی، میترا؛ لشکری، حسن؛ کریمپور، مصطفی و حجتی، زهرا (۱۳۹۲). تحلیل سینوپتیک سامانه های همراه با بارش سنگین و سیل زا در حوضه رودخانه کشکان برای دوره آماری (۱۳۸۴-۱۳۵۰)، *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۰(۴۳)، صص. ۱-۱۷.
- ایزد نهدار، زهرا (۱۳۷۰). بررسی سینوپتیکی بعضی سیستم‌های مدیترانه‌ای و اثرات آن بر روی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.
- برزو، فرزانه و عزیززی، قاسم (۱۳۹۴). پیشنهاد معیاری ساده برای برآورد بارش سنگین در مناطق مختلف ایران، *پژوهش های جغرافیای طبیعی*، ۴۷(۳)، صص. ۳۴۷-۳۶۵.
- خسروی، یونس؛ دوستکامیان، مهدی و طاهریان، اله مراد (۱۳۹۶). بررسی و تحلیل الگوی فرارفت رطوبتی بارش‌های فراگیر ایران، *فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران*، ۱۱(۵۳)، صص. ۲۵۲.
- راستگو، زهرا و رنجبر سعادت آباد، عباس (۱۳۹۷). مطالعه بارش های شدید و حدی استان بوشهر از دیدگاه همدیدی - دینامیکی. *نشریه هواشناسی و علوم جو* (۱)، صص. ۷۷-۹۶.
- علیچانی، بهلول (۱۳۹۵). آب و هوای ایران، انتشارات پیام نور.
- کریمی احمد آباد، مصطفی و فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۹۰). شار رطوبت و الگوهای فضایی - زمانی منابع تامین رطوبت بارش‌های ایران، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹(۲۲)، صص. ۱۰۹-۱۲۳.
- لشکری، حسن؛ متکان، علی اکبر؛ آزادی، مجید و محمدی، زینب (۱۳۹۵). تحلیل همدیدی نقش پرفشار عربستان و رودباد جنب حاره‌ای در کوتاه ترین طول دوره بارشی جنوب و جنوب غرب ایران، *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۴(۴)، صص. ۵۹-۷۴.
- لشکری، حسن و محمدی، زینب (۱۳۹۴). اثر موقعیت استقرار پرفشار جنب حاره‌ای عربستان بر سامانه‌های بارشی در جنوب و جنوب غرب ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۷(۱)، صص. ۷۳-۹۰.
- لشکری، حسن (۱۳۷۵). الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب غربی ایران. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- محمدی، زینب و لشکری، حسن (۱۳۹۷). نقش جابجایی مکانی پرفشار عربستان و رودباد جنب حاره ای در الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۰(۳)، صص. ۴۹۱-۵۰۹.
- مفیدی، عباس. زرین، آذر (۱۳۸۴). بررسی سینوپتیکی تاثیر سامانه‌های کم فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران، *تحقیقات جغرافیایی*، شماره دوره ۲۰، و شماره مجله ۲، صص. ۱۱۳-۱۳۶.
- مرادی، محمد و رنجبر سعادت آبادی، عباس (۱۳۹۹). بررسی همدیدی سیلاب سیستان و بلوچستان و برف سنگین گیلان در زمستان ۱۳۹۸، *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۳۵، صص. ۲۲۷-۲۴۳.
- Chen, Y.L., Ghu, Y.J., Chen, C.S., Tu, C.C., Teng, J.H. and Lin, P.I. (2018). Analysis and Simulations of a Heavy Rainfall Event Over Northern Taiwan during 11–12 June 2012. *Monthly Weather Review*. 146, pp.2715-2697.
- Esfandiari, N. and Lashkari, H. (2020). The effect of atmospheric rivers on cold-season heavy precipitation events in Iran. *Journal of Water and Climate Change*, jwc2020259. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.259>.
- Gimeno, L., Dominguez, F., Nieto, R., Trigo, R., Drumond, A., Reason, C. J. C., Taschetto, A. S., Ramos, A. M., Kumar, R. and Marengo, J. (2016). Major Mechanisms of Atmospheric Moisture Transport and Their Role in Extreme Precipitation Events". *Annual Review of Environment and Resources* 41(1), pp. 117–141. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ110615-085558>.
- Konrad, C. P. and Dettinger, M. D. (2017). Flood Runoff in Relation to Water Vapor Transport by Atmospheric Rivers Over the Western United States, 1949–2015. *Geophysical Research Letters* 44(22), pp.11456-11462.
- Kumar, A., Dudhia, Rotunno, R., Niyogi, D. and Mohanty, U. C. (2008). Analysis of the 26 July 2005 heavy rain event over Mumbai, India using the weather research and Forecasting (WRF) model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 134(636), pp. 1897-1910.

- Keikhosravi, G. (2021). Evaluating the effect of heat waves on early melting of snow covers of Karkheh catchment in Iran. *Natural Hazards* 108, pp. 2167–2186, <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04773-y>.
- Lindesay, J. A. and Dabreton, P. C. (1993). Water vapor transport over southern Africa during wet and dry early and late summer months. In: *J. Climatology*, Vol. 13, pp. 151–170.
- Liberato, M. L. R., Ramos, A. M. and Trigo, R. M. (2012). Moisture sources and large-scale dynamics associated with a flash flood event. *Geophys Monogr Ser* 200, pp. 111–126. <https://doi.org/10.1029/2012GM001244>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*. 1, 17(7), pp. 1425–1432. DOI: 10.1080/01431169608948714
- Melillo, J. M., Richmond T. C. and Yohe, G. W. (2014). Climate change impacts in the United States: The third National Climate Assessment". Global Change Research Program: U.S. <http://nca2014.globalchange.gov>.
- Matlik, O. and Post, P. (2008). Synoptic weather types that have caused heavy precipitation in Estonia in the period 1961–2005. *Estonian Journal of Engineering*. 14(3), pp. 195–208.
- Viale, M. and Mario, N. (2011). Climatology of Winter Orographic Precipitation over the Subtropical Central Andes and Associated Synoptic and Regional Characteristics, *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 12 Issue 4, pp. 481.
- World meteorological organization. (2018). Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events, Accessed January. <https://www.wmo.int>
- Zhang, Q. G. (2002). The bimodality of 100hPa south Asia high and its relationship to the climate anomaly over east Asia in summer; *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 80, No. 4
- Zhang, R. (2001). Relations of water vapor transport from Indian monsoon with that over East Asia and the summer rainfall in China. *Advances in Atmospheric Science*, VOL. 18, No. 5, pp. 1005–1017.

## References

- Amini, M., Lashkari, H., Karampour, M. and Hojjati, Z. (2013). Synoptic analysis of systems with heavy rainfall and flooding in the Kashkan river basin for the statistical period (1350–1384), *Journal of Geography and Planning*, 20 (43), pp. 1–17. [In Persian]
- Alijani, B. (2016). *Iran Climate*, Payame Noor Publications. [In Persian]
- Chen, Y.L., Ghu, Y.J., Chen, C.S., Tu, C.C., Teng, J.H. and Lin, P.I. (2018). Analysis and Simulations of a Heavy Rainfall Event Over Northern Taiwan during 11–12 June 2012. *Monthly Weather Review*. 146, pp. 2715–2697.
- Borzoo, F. and Azizi, Q. (2015). Proposing a simple criterion for estimating heavy rainfall in different regions of Iran, *Natural Geography Research*, 47 (3), pp. 365–347. [In Persian]
- Esfandiari, N. and Lashkari, H. (2020). The effect of atmospheric rivers on cold-season heavy precipitation events in Iran. *Journal of Water and Climate Change*, jwc2020259. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.259>
- Gimeno, L., Dominguez, F., Nieto, R., Trigo, R., Drumond, A., Reason, C.J.C., Taschetto, A.S., Ramos, A.M., Kumar, R. and Marengo J. (2016). Major Mechanisms of Atmospheric Moisture Transport and Their Role in Extreme Precipitation Events". *Annual Review of Environment and Resources* 41(1), pp. 117–141. <https://doi.org/10.1146/annurev-enviro110615-085558>.
- Omidvar, K., Sepandar, N. and Shafi'i, S. (2017). Synoptic and thermodynamic analysis of heavy rainfall and floods from November 26 to 29, 2015 in Kermanshah province, *Journal of Geographical Information Research (Sepehr)*, 107, pp. 237–252. [In Persian]
- Omidvar, K., Tani, N., Ebrahimi, R. and Ghiasi, E. (2018). Dynamic Synoptic Analysis of Heavy Cloud Rainfall December 25, 2014, Case Study (Kohgiluyeh and Boyer Ahmad), *Natural Geography*, 11 (41), pp. 19–36. [In Persian]
- Izad Neghdar, Z. (1991). Synoptic study of some Mediterranean systems and its effects on Iran, M.Sc. Thesis, Institute of Geophysics, University of Tehran. [In Persian]
- Konrad, C. P. and Dettinger, M. D. (2017). Flood Runoff in Relation to Water Vapor Transport by Atmospheric Rivers Over the Western United States, 1949–2015. *Geophysical Research Letters* 44(22), pp. 11456–11462.
- Karimi Ahmadabad, M. and Farajzadeh, M. (2011). Humidity flux and spatio-temporal patterns of sources of moisture supply in Iranian rainfall. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 19 (22), pp. 109–123. [In Persian]
- Kumar, A., Dudhia, R., Rotunno, R., Niyogi, D. and Mohanty, U.C. (2008). Analysis of the 26 July 2005 heavy rain event over Mumbai, India using the weather research and Forecasting (WRF) model, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 134(636), pp. 1897–1910.
- Keikhosravi, G. (2021). Evaluating the effect of heat waves on early melting of snow covers of Karkheh catchment in Iran, *Natural Hazards* 108, 2167–2186, <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04773-y>.



- Khosravi, Y., Doustkamian, M. and Taherian, A. M. (2017). Investigation and Analysis of Moisture Adsorption Patterns of Comprehensive Precipitation in Iran, *Iranian Journal of Geographical Association*, 11 (53), pp. 252. [In Persian]
- Khorshiddoust, A. M., Rasouli, A. A., Slajegheh, A. and NassajiZavareh, M. (2016). Homogeneity Assessment of Annual and Seasonal Maximum and Minimum Temperatures Time Series (Case study of Khazar Region). *Geography and Planning*, 20(57), pp. 133-149.
- Lindesay, J. A. and Dabreton, P. C. (1993). Water vapor transport over southern Africa during wet and dry early and late summer months. *In. j. climatology*, Vol. 13, pp. 151-170.
- Liberato, M.L.R., Ramos, A.M. and Trigo, R.M. (2012). Moisture sources and large-scale dynamics associated with a flash flood event. *Geophys Monogr Ser 200*, pp. 111-126. <https://doi.org/10.1029/2012GM001244>.
- Lashkari, H., Motkan, A. A., Azadi, M. and Mohammadi, Z. (2016). Synoptic analysis of the role of Saudi Arabia and subtropical high pressure in the shortest rainfall period in southern and southwestern Iran, *Quarterly Journal of Environmental Sciences*, 14 (4), pp. 59-74. [In Persian]
- Lashkari, H. and Mohammadi, Z. (2015). Effect of Saudi subtropical high pressure location on precipitation systems in southern and southwestern Iran, *Natural Geography Research*, 47 (1), pp. 73-90. [In Persian]
- Lashkari, H. (1996). *Synoptic pattern of heavy rainfall in southwestern Iran*. PhD Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran. [In Persian]
- McFeeters, S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 1, 17(7), pp. 1425-1432. DOI: 10.1080/01431169608948714
- Melillo, J.M., T.C. Richmond, and Yohe, G.W. (2014). *Climate change impacts in the United States: The third National Climate Assessment*. Global Change Research Program: U.S. <http://nca2014.globalchange.gov>.
- Matlik, O. and Post, P. (2008). Synoptic weather types that have caused heavy precipitation in Estonia in the period 1961-2005. *Estonian Journal of Engineering*, 14(3), pp. 195-208.
- Mohammadi, Z. and Lashkari, H. (2018). The Role of High Pressure Spatial Displacement of Saudi Arabia and Subtropical Rivers in Synoptic and Thermodynamic Patterns of Extreme Wetlands in Southern and Southwestern Iran, *Natural Geography Research*, 50 (3), pp. 491-509. [In Persian]
- Mofidi, A. and Zarrin, A. (2005). Synoptic study of the effect of low pressure Sudanese systems on the occurrence of silage precipitation in Iran, *Geographical Research, Volume 20, and Journal No. 2*, pp. 113-136. [In Persian]
- Moradi, M., Ranjbar Saadatabadi, A. (2020). Synoptic study of Sistan and Baluchestan flood and Gilan heavy snow in winter 1398, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 35, pp. 227-243. [In Persian]
- Rastgou, Z. and Ranjbar Saadatabad, A. (2018). Study of heavy and limited rainfall in Bushehr province from a synoptic-dynamic perspective. *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences* 1 (1), pp. 96-77. [In Persian]
- Rahimzadeh, F. and Nasaji Zavareh, M. (2015). Trends and variability of temperature during 1961-2010 over Iran, after adjustment of non climatic inhomogeneities. *Geographical Research*, 29(4), pp. 181-196.
- Viale, M. and Mario, N. (2011). Climatology of Winter Orographic Precipitation over the Subtropical Central Andes and Associated Synoptic and Regional Characteristics, *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 12 Issue 4, pp. 481.
- World meteorological organization. (2018). Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events, Accessed January. <https://www.wmo.int>
- Zhang, Q. G. (2002). The bimodality of 100hPa south asia high and its relationship to the climate anomaly over east asia in summer; *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 80, No. 4
- Zhang, R. (2001). Relations of water vapor transport from Indian monsoon with that over East Asia and the summer rainfall in china. *Advances in Atmospheric Science*, VOL. 18, No. 5, pp. 1005-1017.

## نحوه استناد به این مقاله:

کیخسروی، قاسم؛ شکیب، علیرضا و حمیدپور، پگاه (۱۴۰۰). تحلیل الگوهای همبندی و ترمودینامیک منجر به بارش‌های ابر سنگین و برآورد پهنه آبی حاصل از بارش‌ها در حوضه آبخیز کرخه. *مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی*، ۳(۸)، صص. ۸۳-۱۰۰. DOI:10.22124/gscj.2022.20667.1108

## Copyrights:

Copyright for this article are retained by the author(s), with publication rights granted to *Geographical studies of Coastal Areas Journal*. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

