



Identification of Days with Heavy Rainfall Based on Regional Thresholding in Iran

Enayat Asadolahi¹ , Mehry Akbari² , Zahra Hejazizadeh³ 

1. PhD Student, Department of Natural Geography, Faculty of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: asadolahi5096@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor of Climatology, Department of Natural Geography, Faculty of Geography Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: mehryakbary@gmail.com
3. Professor of Climatology, Department of Natural Geography, Faculty of Geography Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: hejazizadeh@yahoo.com

Article Info

ABSTRACT

Article type

Research Article

Article history:

Received: 15 January 2025

Revised: 10 June 2025

Accepted: 16 July 2025

Published: 15 March 2026

Keywords:

Iran,
heavy rainfall,
Precipitation threshold,
ERA5 data.

The main purpose of this research is to identify the days with heavy rains and to investigate the frequency of their occurrence. For this purpose, firstly, ERA5 hourly rainfall data with a spatial resolution of 0.25 x 0.25 was obtained for the years 1940 to 2023, and then the total daily rainfall and their seasonal breakdown were calculated, and then to separate the days A threshold of half a millimeter has been considered as rain or non-rain. And by using the 95th percentile index, the flood thresholds have been extracted. After extracting the seasonal thresholds for more detailed analysis, the thresholds were classified into seven classes, the first class has the lowest threshold and the seventh class has the highest threshold. The results show that the highest amount of threshold, i.e. rainfall above 30 mm, existed in all seasons of the year, but in terms of spatial coverage, it was more pronounced in the two seasons of autumn and winter, and in the summer season, it reached its minimum, which is less than one percent of the country's area. The lowest recorded threshold means rainfall less than 2 mm to 5 mm (first and second floor) existed only in the summer season and its spatial coverage has reached about 55% of the country's area. In terms of frequency, the main core of torrential rains is on the southern shores of the Caspian in the summer season, and in other seasons, in addition to the southern shores of the Caspian, it is located on the west, northwest, southwest and limited areas of the northeast.

Cite this article: Asadolahi, E., Akbari, M., & Hejazizadeh, Z. (2026). Identification of Days with Heavy Rainfall Based on Regional Thresholding in Iran. *Journal of Geography and Planning*, 30(95), 299-310.
<http://doi.org/10.22034/gp.2025.65476.3355>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2025.65476.3355>

Publisher: University of Tabriz.

Introduction

Today, one of the primary challenges facing humanity is climate change and understanding the strategies to address it. These changes are directly or indirectly linked to human activities and consequently have numerous impacts on human life. One of the most significant effects of climate change is the rise in temperature, commonly referred to as global warming in international discussions. Global warming itself has many consequences, one of the most critical being alterations in precipitation patterns. This increase in temperature raises the saturation point of water vapor and the capacity for water retention in the atmosphere, creating conditions conducive to heavy rainfall events. Recent studies indicate that temperatures have risen significantly worldwide, particularly in Iran. Therefore, it can be inferred that heavy rainfall events have increased in tandem with rising temperatures, leading to substantial negative impacts on socio-economic factors, resulting in loss of income and adversely affecting the national economy.

Materials and Methods

In this study, in order to identify heavy rains, the rainfall data of the European medium-term prediction center for the years 1940 to 2023 with a spatial resolution of 0.25 by 0.25 degrees of arc for the country of Iran and percentile techniques have been used. This data has an hourly scale, that is, 24 impressions are recorded for each day. After receiving the data, the sum of them was calculated for each day, and then the rainfall was separated for each season, and then seasonal thresholds were extracted using the 95th percentile index, then the frequency of heavy rainfall was extracted for each season, and finally they have been analyzed.

Results

Considering the threshold of half a millimeter, the precipitations were divided into two groups of rainy days and non-rainy days. A code of zero (no rain) indicates days with less than half a millimeter of precipitation, while a code of one (rainy days) indicates days with precipitation equal to or greater than half a millimeter. After identifying rainy days from non-rainy days using the 95th percentile, flood thresholds were identified seasonally and for better analysis the thresholds were classified into seven categories. The first category covers thresholds less than 2 mm, the second category for thresholds between 2 and 5 mm, the third category covers thresholds between 5 and 10 mm, the fourth category from 10 to 15 mm, the fifth category covers thresholds of 15. up to 20 mm, the sixth category for thresholds between 20 and 30 mm, and the last category for thresholds greater than 30 mm. Examining the thresholds shows that the lowest threshold, i.e. first to second floors, occurred only in the summer season and did not exist in other seasons. The main focus of the 7th layer, that is, rains above 30 mm in the summer season, is on the southeast regions, and in other seasons, it is on the west, southwest, and south, and in the fall season, in addition to the mentioned regions, it is also on the southern shores of the Caspian Sea.

Conclusion

The main purpose of this study is to identify the thresholds of heavy rains and the days associated with it. For this purpose, the 95th percentile index and the total daily rainfall data of the ERA5 database during the years 1940 to 2023 were used, and in the next step, for a more detailed analysis, the thresholds were classified into seven classes, the first class being the lowest threshold with less rainfall and equal to 2 mm. And the seventh floor is the highest threshold with more than 30 mm of rain, and then the days with torrential rains are identified for each season. Their occurrence frequency has been calculated. Examining the seasonal thresholds shows that lower thresholds equal to 2 mm to 5 mm (first and second floor) occurred in the summer season and spatially corresponds to the south, west, east and to some extent the central regions of the country, and has a spatial coverage of about 55% It is from the area of the country. The comparison of the thresholds during different seasons shows that with the beginning of the autumn season, the thresholds have increased both in terms of amount and in terms of spatial coverage, so that during the three seasons of spring, autumn and winter, the thresholds of the first and second floors that existed in the summer season have disappeared. And the maximum thresholds are shifted in terms of location in these three seasons compared to the summer season and are located on the west, southwest, and south shores of the Caspian (only in the fall season). The cause of these changes can be seen as the retreat of the high-pressure subtropical system that dominates Iran's summer atmosphere towards low latitudes, which has provided the ground for the penetration of the precipitation system. Examining the frequent changes of torrential rains shows that the main core of torrential rains is located on the southern shores of the Caspian Sea in summer and on the southern, western, southwestern, northwestern and northeastern shores of the Caspian Sea in other seasons. The maximum frequency of torrential rains with 340 cases was in the summer season. Therefore, the results of this research with the studies conducted by researchers such as Alijani et al. (2014), Mirmousavi et al. (2015), Zarin and Dadashi (1400) matches.

Keywords: Iran, heavy rainfall, Precipitation threshold, ERA5 data.



شناسایی روزهای همراه با بارش سیل آسا مبتنی بر آستانه گذاری منطقه‌ای در ایران

عنایت اسدالهی^۱، مهری اکبری^۲، زهرا بیگم حجازی زاده^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: asadolah5096@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: mehryakbary@gmail.com

۳. استاد، گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: hejazizadeh@yahoo.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۴

کلیدواژه‌ها:

ایران، بارش سیل آسا،

آستانه بارشی،

داده‌های ERA5.

هدف اصلی از این پژوهش شناسایی روزهای توأم با بارش سیل آسا و بررسی فراوانی رخ داد آن‌ها در ایران می‌باشد. برای این منظور ابتدا اقدام به دریافت داده‌های بارش ساعتی ERA5 با تفکیک مکانی ۰/۲۵ در ۰/۲۵ درجه برای سال‌های ۱۹۴۰ تا ۲۰۲۳ شده و پس از آن اقدام به محاسبه مجموع بارندگی روزانه و تفکیک فصلی آن‌ها شده و در ادامه برای جداسازی روزهای بارشی از غیر بارشی آستانه نیم میلی‌متر در نظر گرفته شده و با استفاده از شاخص صدک ۹۵ام اقدام به استخراج آستانه‌های بارش سیل آسا شده است. پس از استخراج آستانه‌های برای هر فصلی جهت تحلیل دقیق‌تر اقدام به طبقه‌بندی آستانه‌ها در هفت طبقه شده که طبقه اول کم‌ترین آستانه و طبقه هفتم بالاترین آستانه را دارد. نتایج نشان می‌دهد که بالاترین میزان آستانه بارش بالاتر از ۳۰ میلی‌متر در تمامی فصول سال وجود داشته ولی از نظر پوشش مکانی در دو فصل پاییز و زمستان نمود بیشتری دارد و در فصل تابستان به حداقل خود کمتر از یک درصد از مساحت کشور رسیده است. کم‌ترین آستانه ثبت شده بارشی کم‌تر از ۲ میلی‌متر تا ۵ میلی‌متر (طبقه اول و دوم) فقط در فصل تابستان وجود داشته و پوشش مکانی آن به حدود ۵۵ درصد از مساحت کشور رسیده است. از نظر فراوانی هسته اصلی بارش‌های سیل آسا در فصل تابستان بر روی سواحل جنوبی خزر بوده و در سایر فصول علاوه بر سواحل جنوبی خزر بر روی غرب، شمال‌غرب، جنوب‌غربی و مناطق محدودی از شمال شرقی قرار دارد.

استناد: اسدالهی، عنایت؛ اکبری، مهری و بیگم حجازی زاده، زهرا (۱۴۰۵). شناسایی روزهای همراه با بارش سیل آسا مبتنی بر آستانه گذاری منطقه‌ای در ایران. *جغرافیا*

و برنامه‌ریزی، ۳۰ (۹۵)، ۲۹۹-۳۱۰.

<http://doi.org/10.22034/gp.2025.65476.3355>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

امروزه یکی از چالش‌های اصلی بشر تغییرات اقلیمی و شناخت راهکارهای مقابله با آن می‌باشد. این تغییرات به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم وابسته به فعالیت‌های انسانی است (UNEP^۱, 2009)، و به تبع سبب تاثیرات فراوانی بر زندگی بشری شده است. از مهم‌ترین اثرات تغییرات اقلیمی افزایش دما می‌باشد که در مجامع جهانی به عنوان گرمایش جهانی یاد می‌شود (لطفی و همکاران، ۱۳۹۸). همین افزایش دما باعث می‌شود که نقطه اشباع بخار آب و ظرفیت نگهداری آب در جو به شدت افزایش یابد و زمینه رخ داد بارش‌های سیل‌آسا را فراهم آورد (داننبرگ و همکاران، ۲۰۱۹). خود گرمایش جهانی دارای پیامدهای فراوانی می‌باشد که از مهم‌ترین آن می‌توان به تغییرات در الگوهای بارشی اشاره کرد (شغیعی و همکاران، ۱۳۹۵؛ علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). تغییرات ایجاد شده در الگوهای بارشی سبب ایجاد تغییراتی در نوع و میزان بارش‌ها شده (اکبری و اسدالهی، ۱۴۰۰) و باعث کاهش بارش در ایران شده است (عساکره و همکاران، ۱۴۰۰). یکی از مهم‌ترین تغییرات ایجاد شده رخ داد بارش‌های سنگین می‌باشد. ویژگی اصلی این بارش‌ها تغییر پذیری شدید آن‌ها در مکان و زمان می‌باشد (مسعودیان، ۱۳۷۷). جهت رخ داد بارش سنگین وجود عامل رطوبت بسیار مهم تر از عامل صعود می‌باشد (علیجانی، ۱۳۸۱). وقوع ناگهانی بارش‌های سنگین سبب خسارات جانی و مالی فراوانی می‌شود. وقوع این بارش‌ها در ایران به سبب قرارگیری در منطقه خشک و کم بارانی منجر به ایجاد سیل در مدت زمان کوتاهی شده و خسارات بسیار زیادی به دنبال دارد (عبدالهی، ۱۴۰۰). بررسی احتمال وقوع سیل و تهیه نقشه‌های مناطق خطر امری ضروری و لازم می‌باشد (آقایاری و همکاران، ۱۴۰۴). بنابراین شناسایی این گونه بارش‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مطالعات اخیر نشان داده است که دما در سراسر جهان به ویژه ایران به طور قابل توجهی افزایش یافته است (سریواستاوا و همکاران^۲، ۱۹۹۲؛ تورکش و همکاران^۳، ۲۰۰۲؛ بینستون و استفسون^۴، ۲۰۰۴؛ فوجیبه و همکاران^۵، ۲۰۰۷؛ گای گارسیا^۶، ۲۰۰۹؛ زاهدی و همکاران، ۱۳۸۶؛ ورشوایان و همکاران، ۱۳۹۰؛ ژیانین و همکاران، ۱۳۹۵؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ احمدی و رودباری، ۱۳۹۸؛ اکبری و اسدالهی، ۱۴۰۲). بررسی تغییرات ناهنجاری دمای سطح زمین ایران نشان داده که از سال ۱۹۷۳ در ایران جهش قابل توجهی در ناهنجاری‌های دمای رخ داده و در بیش از ۸۶ درصد از کشور ایران ناهنجاری دمای روند افزایشی داشته است (اکبری و اسدالهی، ۲۰۲۵). بنابراین می‌توان دریافت که بارش‌های سیل‌آسا به موازات افزایش دما افزایش یافته و باعث تاثیرات منفی قابل توجهی بر محرک‌های اجتماعی-اقتصادی می‌شود، به نحوی که این رویداد منجر به از دست دادن درآمدها شده و در نتیجه بر اقتصاد ملی تاثیر منفی می‌گذارد.

بنابراین با توجه به مطالب فوق یکی از نیازهای اساسی امروزه مطالعه و شناخت فرین‌های اقلیمی به خصوص فرین‌های بارشی می‌باشد. کارل و همکاران^۷ (۱۹۹۶) در بررسی شاخص‌های تغییر اقلیم برای ایالات متحده در بخش بارش‌های سنگین آستانه ۸/۵۰ میلی‌متر را به عنوان بارش فرین تعریف کرده و نتایج نشان داد که بارش‌های بالاتر از این آستانه در آمریکا روند افزایشی دارند. کلین تانک و کونن^۸ (۲۰۰۳) در پژوهشی جهت شناسایی و بررسی روند تغییرات فرین‌های دما و بارش از داده‌های ۱۰۰ ایستگاه در قاره اروپا طی سال‌های ۱۹۴۶ تا ۱۹۹۹ و شاخص‌های فرین اقلیمی استفاده نموده از میان شاخص‌های اقلیمی چهار شاخص دما و هفت شاخص بارشی بوده و از میان هفت شاخص بارشی سه شاخص صدکی وجود دارد. نتایج این پژوهش

1. United Nations Environmental Program
2. Srivastava et al
3. Türkeş et al
4. Beniston, and Stephenson
5. Fujibe et al
6. Gay and Garcia
7. Karl et al
8. Klein Tank and Können

نشان داد که تمامی شاخص‌های بارش‌های فرین برای اغلب ایستگاه روند افزایشی شدیدی داشته است. شمیدلی و فری^۱ (۲۰۰۵) با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۱۰۴ ایستگاه به بررسی بارش‌های شدید کشور سوئیس طی قرن بیستم میلادی پرداخته و جهت شناسایی روزهای همراه با بارش شدید از آستانه‌های صدکی استفاده نموده‌اند. نتایج به خوبی افزایشی بودن بارش‌های شدید را نشان داده و این روند افزایشی در فصل زمستان به حداکثر رسیده است. بورس و هورتین^۲ (۲۰۰۷) برای تحلیل بارش‌های روزانه در منطقه دورهام انگلیس از سه آستانه ۱۵، ۲۲/۶ و ۲۵ میلیمتر استفاده نموده و نتایج نشان داد که بارش‌های بیشتر از این سه آستانه از سال ۱۸۶۰ تا ۱۸۸۰ روند صعودی داشته و پس از آن روند کاهشی پیدا کرده است. کیسلی^۳ (۲۰۰۹) جهت بررسی بارشی شدید جمهوری چک از داده‌های ۱۷۵ ایستگاه طی دوره زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ و شاخص صدکی ۹۰ام و ۹۵ام استفاده کرده و نتایج به خوبی نشان داد که روند افزایشی شدیدی و منسجمی در فصل زمستان حاکم بوده و در فصل تابستان این انسجام از نظر مکانی کمتر شده است. روستا و همکاران^۴ (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی شرایط جوی حاکم بر بارش‌های ایران طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۳ پرداخته آن‌ها آستانه تشخیص روزه‌های بارشی از غیر بارشی را یک میلیمتر در نظر گرفتند. ژانگ^۵ (۲۰۲۳) به صورت موردی اقدام به بررسی و تحلیل هم‌مدیدی بارش شدید و فراگیر ۲۶ تا ۳۰ جولای ۲۰۲۲ در کشور چین نموده و نتایج نشان داد که طی این روزها در تراز میانی جو ناوه و در سطح پایین رودباد وجود داشته و شرایط را برای انتقال فراوان بخار آب در جهت جنوب شرقی را فراهم نموده و باعث رخ داد بارش سنگین و فراگیر شده است. مارنگو و همکاران^۶ (۲۰۲۴) در تحقیق خود نشان دادند که عامل اصلی ایجاد لغزش‌های رخ داده در شهر سائو سباستیا در ساحل شمالی ایالات ساووپائولو طی ۱۸ تا ۱۹ فوریه ۲۰۲۳ رخ داد بارش بسیار شدید ناشی از عبور توده هوایی سرد بر فراز اقیانوس اطلس جنوبی بوده که باعث ریزش باران به میزان ۶۸۳ میلیمتر طی ۱۵ ساعت شده است. حمیدیان پور و همکاران (۱۳۸۹) برای تشخیص بارش‌های سنگین از روزهای بارشی عادی آستانه بارشی بالاتر از ۱۵ میلیمتر را در نظر گرفته و مشخص گردید که در منطقه شمال شرقی ایران طی بازه زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۶ تعداد ۱۸۶ بارش سنگین اتفاق افتاده و در ادامه با تحلیل عاملی اقدام به طبقه‌بندی الگوهای گردشی این بارش‌ها نموده و نتایج نشان داد که سه الگوی گردشی، ترکیبی سودانی - مدیترانه‌ای، کم-فشارهای مدیترانه‌ای و کمفشار سودانی عامل اصلی ریزش بارش‌های سنگین در این مناطق می‌باشند. ضیابری و صفراد (۱۳۹۸) با ارائه شاخص جدید اقدام به مطالعه بارش‌های سنگین و فراگیر سواحل جنوبی خزر طی فصل پاییز نموده آن‌ها از داده‌های بارش روزانه هشت ایستگاه در سطح منطقه طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ میلادی استفاده نموده و روزی را به عنوان بارش سنگین قلمداد کردند که مقدار بارش روزانه‌ای آن بالاتر از میانگین بلند مدت آن ایستگاه بوده و شرط فراگیری رخ داد این حالت برای ۶ ایستگاه بوده است. نتایج نشان داد که ۱۰۴ بارش سنگین و فراگیر طی دوره مطالعاتی در سواحل جنوبی خزر رخ داده و مطالعه شرایط جوی برای تمامی موارد نشان داد که مرکز پرفشاری در نیمه شمالی خزر وجود داشته که باعث حرکت جریانات شمالی به سمت جنوب خزر و انتقال بخار آب دریای خزر به نواحی جنوبی شده است. اکبری و صیاد (۱۴۰۰) در بررسی مطالعات انجام گرفته در خصوص تغییر اقلیم در ایران بیان داشتند که نتایج اکثر تحقیقات در این زمینه نشان می‌دهد که از مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم در ایران افزایش فرین‌های جوی می‌باشد. حجازی‌زاده و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از داده‌های روزانه بارش و دما سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۰ به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل آسا تهران پرداخته و نتایج نشان داد که شاخص‌های حدی دما ایستگاه‌های ابعلی، شمیران و مهرآباد روند افزایشی داشته و شاخص‌های بارش حدی فقط در ایستگاه ابعلی دارای روند افزایشی بوده است. معنوی‌پور و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از صدک ۹۵ام اقدام به استخراج بارش‌های سنگین ناحیه غرب ایران طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ براساس داده‌های روزانه بارش ۳۲ ایستگاه هم‌مدیدی نموده و جهت تحلیل هم‌مدیدی گسترش مکانی ۳۰ درصد از ایستگاه را در نظر گرفته و نتایج نشان داد که ۵۲ مورد بارش سنگین فراگیر رخ داده و در

1. Schmidli and Frei
2. Burt and Horton
3. Kysely
4. Rousta et al
5. Zhang
6. Marengo et all

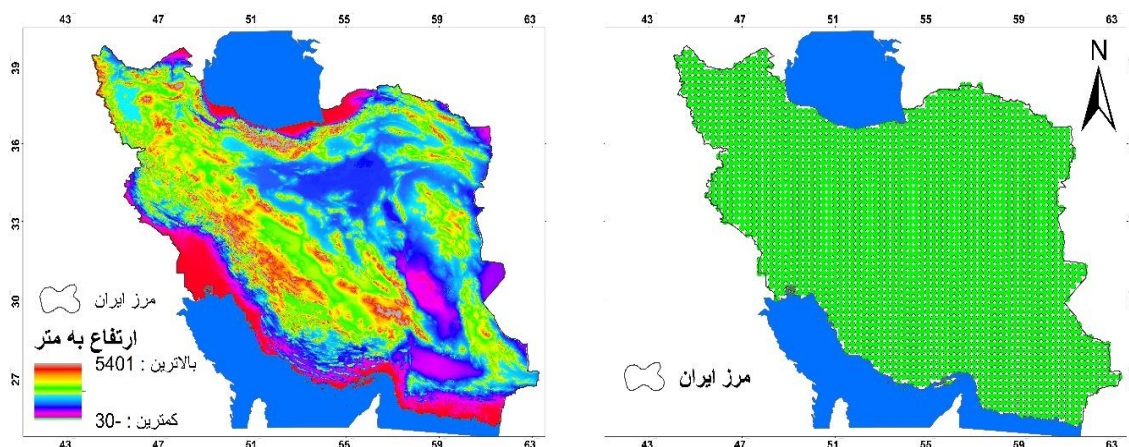
تمامی موارد یک رودخانه جوی بر روی منطقه مطالعاتی وجود داشته است. با توجه به بررسی پیشینه مطالعات انجام گرفته در خصوص بارش‌های سیل‌آسا یا سنگین در ایران و خارج می‌توان دریافت که در اکثر مطالعات انجام گرفته محققین بصورت موردی به بررسی بارش‌های سیل‌آسا و شرایط جوی حاکم بر آن پرداخته‌اند و یا از روش صدک بخصوص صدک ۹۵ام جهت شناسایی آستانه بارش‌های سیل‌آسا در سری‌های زمانی سالانه استفاده کرده‌اند. ابطحی و همکاران (۱۴۰۴) با استفاده از شاخص صدک ۹۵ام اقدام به شناسایی بارش‌های سنگین در منطقه غرب و شمال غرب نموده و در گام بعدی اقدام به تحلیل همیدی و ارتباط این بارش‌ها با رودخانه جوی پرداخته و نتایج نشان داد که رودخانه‌های جوی در ارتباط با بارش‌های سنگین از سه الگو کلی پیروی می‌کنند. الگوی کم‌فشار سودانی و الگو ترکیبی کم‌فشار سودانی و مدیترانه به ترتیب دارای بالاترین سهم را در ایجاد رودخانه جوی منجر به بارش‌های سنگین را داشته است. اسدالهی و همکاران (۱۴۰۴) با هدف شناسایی و تحلیل همیدی فراگیرترین بارش‌های سیل‌آسا فصلی ایران از داده‌های شبکه‌ای ERA5 با تفکیک مکانی ۰/۲۵ در ۰/۲۵ درجه قوسی طی سال‌های ۱۹۴۰ تا ۲۰۲۳ و صدک ۹۵ام استفاده نموده و نتایج نشان داد که بالاترین بارش فراگیر طی دوره مطالعاتی برای فصل بهار با پوشش ۴۱/۹ درصد، تابستان ۱۶/۸۴ درصد، پاییز ۴۰/۶۹ و زمستان ۵۵/۳۲ درصد از مساحت کشور را در بر گرفته است. آن‌ها نشان دادند که در زمان رخ داد بارش‌های سیل‌آسا فراگیر همواره رودخانه جوی با منشاء دریای سرخ وجود داشته و دخالت شاخه فرعی دیگر از دریای مدیترانه سبب افزایش میزان بارش و همچنین افزایش پوشش مکانی بارش‌های سیل‌آسا بر روی ایران شده است.

در نظر گرفتن سری زمانی سالانه برای شناسایی آستانه‌ها سبب می‌شود که بارش‌های رخ داده مثلا در فصل زمستان یا هر کدام از چهار فصل سال که جزء بارش‌های سیل‌آسا هستند در نظر گرفته نشده و یا اینکه شرایط عکس حاکم باشد. در پژوهش‌های پیشین، آستانه‌های بارش‌های سیل‌آسا عمدتاً به صورت سالانه بررسی شده‌اند. در این مطالعه، به منظور پر کردن خلأ پژوهشی، آستانه‌ها به صورت فصلی و منطقه‌ای استخراج شده‌اند. شناسایی آستانه‌ها به صورت فصلی باعث می‌گردد که آستانه‌ها واقعی و روزهای همراه با بارش سیل‌آسا واقعی استخراج شود.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش کشور ایران با وسعت ۱۶۴۵۱۹۵ کیلومتر مربع در نیمه جنوبی منطقه معتدل شمالی بین عرض شمالی ۳° ۲۵' و ۳۹° ۴۷' از خط استوا و ۱۴° ۴۴' و ۲۰° ۶۳' طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. پست‌ترین نقاط ایران به صورت نواری به دور سواحل جنوبی خزر و نواحی جنوبی و جنوب غربی قرار گرفته است.



شکل ۱. مدل رقومی ارتفاع ۹۰ متری منطقه مطالعاتی و توزیع مکانی یاخته بارشی ۰/۲۵ در ۰/۲۵ درجه قوسی پایگاه داده ERA5

براساس مدل رقومی ارتفاع ۹۰ متری کم‌ترین ارتفاع ایران منفی ۳۰ و بیش‌ترین ارتفاع آن ۵۴۰۱ متر می‌باشد. کم‌ترین ارتفاع ایران در چاله لوت و بلندترین آن قله دماوند در میان رشته کوه البرز قرار دارد، در کناره جنوبی دریای خزر ارتفاع زمین به حدود ۲۸ متر پایین تر از سطح دریای آزاد می‌رسد (مسعودیان، ۱۳۹۰، اکبری و اسدالهی، ۱۴۰۰) (شکل ۱).

روش پژوهش

در این پژوهش به منظور مطالعه بارش‌های سیل‌آسا از داده‌های بارش مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF) برای نسخه ERA5^۱ در مقیاس ساعتی برای سال‌های ۱۹۴۰ تا ۲۰۲۳ با تفکیک مکانی ۰/۲۵ در ۰/۲۵ درجه قوسی برای سرزمین ایران استفاده شده است. داده‌های بارش نسخه ERA5 دارای مقیاس ساعتی بوده و هر روز ۲۴ بار این داده‌ها ثبت شده و این باعث ایجاد ماتریسی به ابعاد ۷۳۶۳۴۴ (تعداد برداشت) در ۲۴۹۴ (تعداد یاخته‌ها) شده که پس از کد نویسی در محیط متلب اقدام به محاسبه مجموع بارش به صورت روزانه گردید و این کار یک ماتریس جدید به ابعاد ۳۰۶۸۱ (تعداد روزها) در ۲۴۹۴ (تعداد یاخته‌ها) ایجاد کرده است. داده‌های اقلیمی از نظر زمانی به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول از این داده‌ها همیشه در یک محیط وجود دارند و فقط در طی روزهای سال کم یا زیاد می‌شوند این داده‌های از نظر زمانی دارای پیوستگی هستند، برای نمونه می‌توان به داده‌های دما اشاره کرد این داده از نظر زمانی پیوسته بوده و دارای دامنه‌ای از بی‌نهایت منفی تا بی‌نهایت مثبت هست بنابراین هر روز دما خوا مثبت، منفی و یا صفر برای یک منطقه یا ایستگاه ثبت می‌شود. دسته دوم داده‌های هستند که همیشه وجود ندارند و از نظر زمانی حالت گسسته دارند که از این میان می‌توان به باران و برف، آلودگی هوا و طوفان‌های گرد و غبار اشاره کرد به طور مثال امروز بارش داریم ولی فردا بارش نداریم، امروز هوا آلوده هست ولی فردا هوا آلوده نیست. بنابراین شناسایی فرین‌های هر کدام از داده‌ها باید با هم فرق داشته باشند.

در این پژوهش پس از دریافت داده‌های بارشی از پایگاه داده مربوطه و محاسبات مقدماتی اقدام به شناسایی روزهای بارشی از غیر بارشی با در نظر گرفتن آستانه نیم میلی‌متر شده علت استفاده از این آستانه حذف خطاء موجود در داده‌ها، کاهش خطاء در داده‌های شبکه‌ای و همچنین شناسایی روزهای واقعی بارشی براساس تعریف سازمان هواشناسی می‌باشد، در نتیجه استفاده از این آستانه به عنوان یک فیلتر اولیه برای شناسایی روزهای بارشی و تمرکز بر رویدادهای بارش سیل‌آسا بسیار مهم می‌باشد. بنابراین روزی که بارش آن بالاتر یا مساوی نیم میلی‌متر باشد به عنوان یک روز همراه با بارش شناسایی می‌شود (اسدالهی و همکاران، ۱۳۹۵). از مهم‌ترین روش‌ها برای شناسایی روزهای توام با بارش‌های سیل‌آسا استفاده از روش‌های صدکی بخصوص صدک ۹۰ام، ۹۵ام و ۹۹ام می‌باشد (عساکره و اشرفی، ۱۴۰۳). صدک ۹۰ام چون ۱۰ درصد بالای داده‌ها می‌باشد بارش‌های را در بر می‌گیرد که خیلی شدید نیستند و باعث کاهش حساسیت تحلیل به رویدادهای شدید می‌شود. صدک ۹۹ام تنها یک درصد بالای داده‌ها را شامل می‌شود و از رویداد بسیار کم می‌باشد. این تعداد کم در تحلیل‌های آماری معمولاً کافی نمی‌باشد به ویژه در داده‌های کوتاه مدت و در مناطقی با تنوع بارش کم سبب رخ دادن خطاء می‌شود.

اما صدک ۹۵ام برخلاف دو صدک دیگر به اندازه کافی بالا می‌باشد که رویدادهای شدید را شناسایی کند، و به اندازه کافی داده فراهم می‌کند تا تحلیل آماری معنادار باشد و باعث می‌شود که بتوان الگوها و روندهای مرتبط با بارش‌های سنگین را با دقت بیشتری بررسی کرد. بنابراین در پژوهش حاضر از صدک ۹۵ام جهت شناسایی بارش‌های سیل‌آسا استفاده شده است. نمایه آستانه صدکی براساس رابطه ۱ تعریف می‌شود.

$$p_a = \frac{an}{100} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه فوق p_a آستانه صدک مورد نظر، a صدک مورد نظر و n طول دوره‌ی آماری می‌باشد (حسینجانی و همکاران، ۱۳۹۹).

1. <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=download>.

بنابراین برای استخراج آستانه‌های بارشی سیل‌آسا فقط از داده‌های روزهای که دارای بارش هستند استفاده می‌شود و روزهای فاقد بارش حذف شده و اصل داده‌های ورودی به تابع صدکی فقط روزهای توام با بارش تعریف می‌شود. با این تکنیک می‌توان اقدام به شناسایی آستانه‌های واقعی از غیر واقعی بارش کرد. در نتیجه در این پژوهش پس از شناسایی روزهای بارشی از غیر بارشی با در نظر گرفتن آستانه نیم میلیمتر با استفاده از صدک ۹۵م آستانه‌های بارش‌های سیل‌آسا به صورت جداگانه برای هر یاخته محاسبه شده و سپس اقدام به مقایسه بین آستانه‌های استخراج شده بصورت فصلی شده و در پایان به بررسی فراوانی رخ داد روزهای توام با بارش سیل‌آسا و مقایسه‌ای آن‌ها بصورت فصلی شده است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

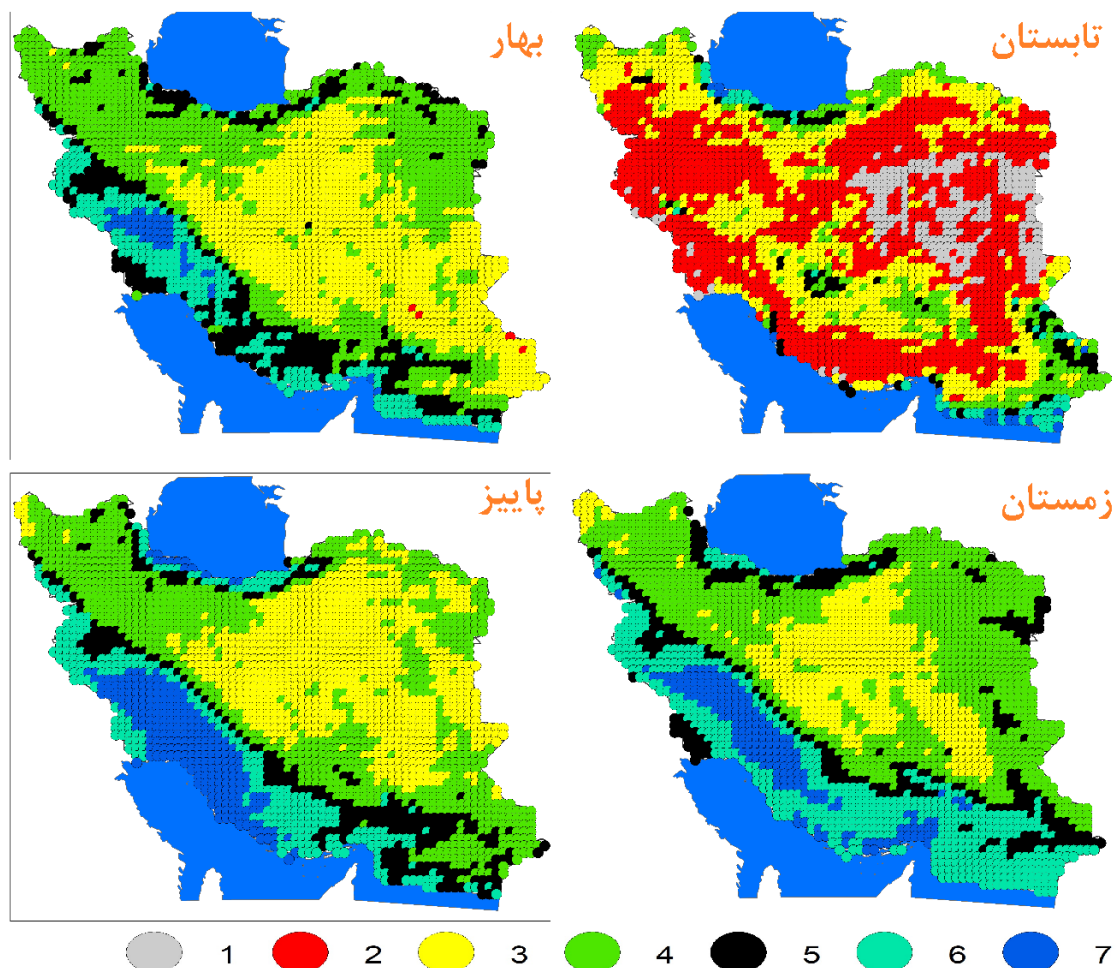
با در نظر گرفتن آستانه نیم میلیمتر اقدام به دسته بندی بارش به دو دسته روزهای بارشی و غیربارشی شده به نحوی که کدهای صفر (عدم بارش) روزهای که بارش آن کمتر از آستانه نیم میلیمتر و کد یک (روزهای بارشی) روزهای با بارش‌های بالاتر یا مساوی از نیم میلیمتر شده است. پس از جدا سازی داده‌های بارشی از غیر بارشی با استفاده از صدک ۹۵م اقدام به شناسایی آستانه بارش‌های سیل‌آسا برای هر فصل گردیده و در گام بعدی برای بررسی دقیق‌تر پراکنش فضایی آستانه‌ها اقدام به طبقه بندی آن در هفت طبقه شده و مشخصات هر طبقه در جدول (۱) آمده است. در پایان برای درک بهتر اقدام به مقایسه بین فراوانی‌های بارش‌های سیل‌آسا برای هر فصل شده است.

جدول ۱. مشخصات طبقاتی آستانه‌های استخراج شده براساس صدک ۹۵م

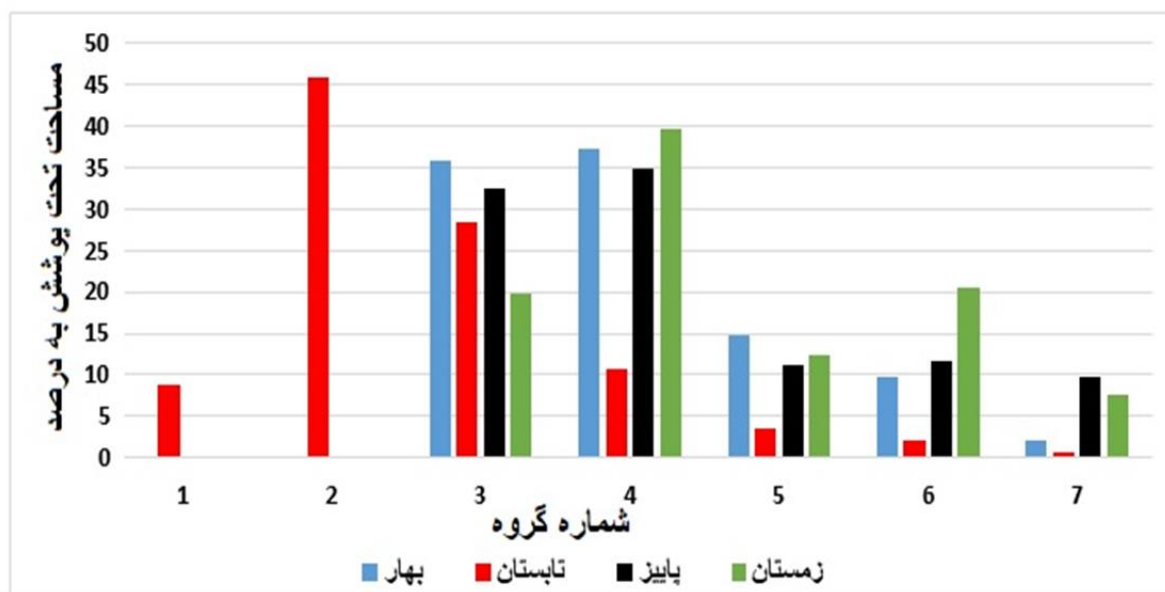
مشخصات طبقات	کمتر از ۲ میلیمتر	بین ۲ تا ۵ میلیمتر	بین ۵ تا ۱۰ میلیمتر	بین ۱۰ تا ۱۵ میلیمتر	بین ۱۵ تا ۲۰ میلیمتر	بزرگتر از ۳۰ میلیمتر
شماره طبقات	۱	۲	۳	۴	۵	۷

پراکنش فضایی آستانه‌های بارش سیل‌آسا برای فصل بهار نشان می‌دهد که طبقه اول آستانه‌ها با بارش کمتر از ۲ میلیمتر وجود نداشته و برای طبقه دوم فقط چهار نقطه با پوشش مکانی بسیار ناچیز بر روی جنوب شرقی قرار گرفته است. در فصل بهار بالاترین پوشش مکانی آستانه‌ها مربوط به طبقه چهارم و پس از آن طبقه سوم با بارش‌های بین ۱۰ تا ۱۵ میلیمتر بوده و از نظر مکانی شمال غرب، جنوب شرقی، نواحی مرکزی، شرقی، شمال شرقی و نواحی شمال تحت پوشش این طبقات می‌باشد. بررسی طبقات پنجم، ششم و هفتم از نظر پوشش مکانی نشان می‌دهد که مساحت آن‌ها در قیاس با دو طبقه سوم و چهارم با شیب تندی کاهش یافته به نحوی که پوشش مکانی این طبقات به ترتیب ۱۴/۸۸، ۹/۷۸ و ۲ درصد می‌باشد. تمرکز اصلی سه طبقه یاد شده بر روی نوار جنوبی، غربی و به صورت چندین لکه بر روی سواحل جنوبی خزر، شمال شرقی و شمال غربی کشور می‌باشد. مقایسه آستانه‌ها فصل بهار با فصل تابستان نشان می‌دهد که برخلاف فصل بهار تمامی هفت طبقه بارشی بر روی ایران در فصل تابستان وجود داشته و این می‌تواند نشانه‌ای بر کاهش بارندگی در فصل تابستان در قیاس با فصل بهار و به طبع آن کاهش آستانه‌ها باشد به نحوی که در این فصل پوشش مکانی سه طبقه اول با بارش کمتر از ۲ تا ۵ میلیمتر به حدود ۸۳ درصد رسیده و کل ایران بجز نواحی جنوب شرقی و سواحل جنوبی خزر تحت پوشش این طبقات می‌باشد. بیشینه آستانه‌ها در فصل تابستان به صورت چند لکه آبی رنگ در جنوب شرقی و جنوب غربی سواحل جنوبی خزر واقع شده است. با شروع فصل سرد سال و افزایش بارندگی‌ها میزان آستانه‌ها در دو فصل پاییز و زمستان در قیاس با فصل تابستان افزایش یافته و از نظر پوشش مکانی در فصل پاییز و زمستان طبقه اول و دوم بطور کلی از بین رفته و طبقه چهارم در این دو فصل به حداکثر پوشش مکانی خود رسیده است. پوشش مکانی طبقه چهارم برای فصل پاییز و زمستان به ترتیب ۳۴/۸۴ و ۳۹/۵۷ درصد رسیده این در حالی هست که سهم طبقه ششم و هفتم در این دو فصل در مقایسه با دو فصل بهار و تابستان به شدت افزایش و از نظر مکانی بر روی غرب، جنوب، جنوب غربی و سواحل جنوبی خزر قرار گرفته است (شکل ۲ و ۳). در تحلیل کلی آستانه بارش‌های سیل‌آسا می‌توان بیان داشت که کم‌ترین آستانه بارشی در دو طبقه اول با بارش کمتر از ۲ تا ۵ میلیمتر تنها در فصل تابستان وجود داشته و

متوسط آستانه این فصل ۶/۳۲ میلیمتر می‌باشد، اما با شروع فصل سرد سال میزان آستانه افزایش یافته به گونه‌ای که متوسط آستانه بارش‌های سیل‌آسا برای فصل پاییز ۱۵/۵۶، فصل زمستان ۱۶/۶۵ و بهار ۱۲/۹۹ میلیمتر رسیده و باعث افزایش مناطق تحت پوشش طبقه سوم تا هفتم شده است.

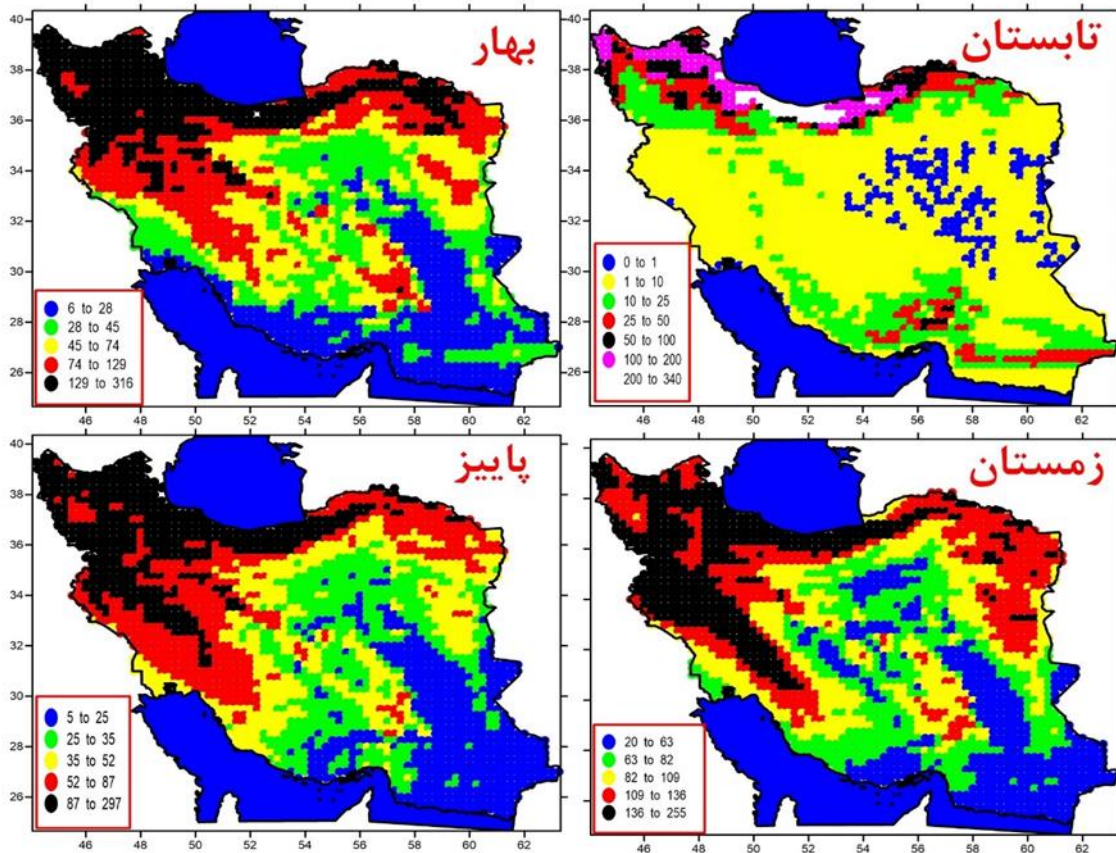


شکل ۲. توزیع مکانی آستانه بارش‌های سیل‌آسا براساس صدک ۱۵۹ام برای فصول مختلف سال



شکل ۳. مساحت تحت پوشش شاخص صدک ۱۹۵م برای فصول مختلف سال

بررسی توزیع مکانی فراوانی بارش‌های سیل‌آسا برای فصل بهار نشان می‌دهد که حداقل و حداکثر فراوانی بارش‌های سیل‌آسا بین ۶ تا ۳۱۶ مورد متغیر هست. بالاترین طبقه فراوانی بین ۱۲۹ تا ۳۱۶ مورد با رنگ مشکی در نوار شمالی بخصوص شمال غربی کشور وجود داشته و کم‌ترین آن با ۶ تا ۲۸ مورد در نوار جنوبی و جنوب شرقی کشور رخ داده است. نواحی غربی و قسمت‌های از شمال شرقی دارای فراوانی بین ۷۴ تا ۱۲۹ مورد می‌باشد. اما در فصل تابستان چون میزان آستانه‌های بارشی نسبت به سایر فصول کاهش یافته سبب افزایش فراوانی رخ داد بارش‌های سیل‌آسا به میزان ۳۴۰ مورد شده و این فراوانی در طبقه بین ۲۰۰ تا ۳۴۰ مورد قرار دارد و از نظر مکانی منطبق بر سواحل جنوبی دریای خزر می‌باشد. در این فصل بخشی از نواحی شرقی و مرکزی ایران که بار رنگ آبی نشان داده شده دارای کم‌ترین فراوانی رخ داد بارش‌های سیل‌آسا بین صفر تا یک مورد می‌باشد. بررسی فصل تابستان نشان می‌دهد که بیشتر پهنه ایران دارای فراوانی بارش‌های سیل‌آسا به میزان ۱ تا ۱۰ مورد می‌باشد. بیشینه فراوانی در فصل پاییز و زمستان به ترتیب ۲۹۷ و ۲۵۵ مورد می‌باشد. در دو فصل پاییز و زمستان هسته بیشینه بارش‌ها از نظر مکانی بر روی نواحی غربی، شمال غربی و نوار شمالی واقع شده و کمینه آن‌ها بر روی جنوب شرقی و بصورت لکه‌های پراکنده‌ای در مرکز کشور قرار گرفته است (شکل ۴).



شکل ۴. توزیع مکانی فراوانی بارش‌های سیل‌آسا ایران برای فصول مختلف

نتیجه‌گیری

هدف اصلی از این مطالعه شناسایی آستانه‌های بارش‌های سیل آسا و روزهای توام با آن می‌باشد. بدین منظور از شاخص صدک ۹۵ام و داده‌های مجموع بارش روزانه پایگاه داده ERA5 طی سال‌های ۱۹۴۰ تا ۲۰۲۳ استفاده شده و در گام بعدی جهت تحلیل دقیق‌تر اقدام به طبقه‌بندی آستانه‌ها در هفت طبقه شده که طبقه اول کم‌ترین آستانه با بارش کمتر و مساوی ۲ میلی‌متر و طبقه هفتم بالاترین آستانه با بارش بیشتر از ۳۰ میلی‌متر گردیده و در ادامه اقدام به شناسایی روزهای توام با بارش‌های سیل آسا برای هر فصل شده و فراوانی رخ داد آن‌ها محاسبه شده است. بررسی آستانه‌های فصلی نشان که آستانه‌های کمتر مساوی ۲ میلی‌متر تا ۵ میلی‌متر (طبقه اول و دوم) در فصل تابستان رخ داده و از نظر مکانی بر نواحی جنوب، غرب، شرق و تا حدودی نواحی مرکزی کشور منطبق هست و دارای پوشش مکانی حدود ۵۵ درصد از مساحت کشور می‌باشد. مقایسه آستانه‌ها طی فصول مختلف نشان می‌دهد با شروع فصل پاییز آستانه‌ها هم از نظر میزان و هم از نظر پوشش مکانی افزایش یافته به گونه‌ای که در طی سه فصل بهار، پاییز و زمستان آستانه طبقات اول و دوم که در فصل تابستان وجود داشته از بین رفته و بیشینه آستانه‌ها از نظر مکانی در این سه فصل نسبت به فصل تابستان جابجا شده و بر روی غرب، جنوب‌غربی، سواحل جنوبی خزر (فقط در فصل پاییز) واقع شده است. علت این تغییرات را می‌توان عقب نشینی پرفشار جنب حاره بر جو تابستانه ایران به سمت عرض‌های پایینی دانست که زمینه نفوذ سامانه بارشی را فراهم نموده است. بررسی تغییرات فراوانی رخ داد بارش‌های سیل آسا نشان می‌دهد که هسته اصلی بارش‌های سیل آسا در فصل تابستان بر روی سواحل جنوبی دریای خزر و در سایر فصول بر روی

جنوب سواحل خزر، غرب، جنوب‌غربی، شمال‌غربی و شمال‌شرقی کشور واقع شده است. بیشینه فراوانی بارش‌های سیل‌آسا با ۳۴۰ مورد در فصل تابستان بوده است. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعات انجام شده توسط پژوهشگرانی همچون علیجانی و همکاران (۱۳۹۴)، میرموسوی و همکاران (۱۳۹۵)، زرین و داداشی (۱۴۰۰) مطابقت دارد.

منابع

- قایاری، لیلا؛ اصغری سراسکانرود، صیاد و زینالی، بتول (۱۴۰۴). شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع مخاطره سیلاب در شهرستان گرمی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۹(۹۱)، ۶۰-۷۸.
- احمدی، محمود و داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۸). *پایش روند دمای ماهیانه ایران مبتنی بر برون‌داد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان مدت هواسپهر اروپایی، جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)*، ۱۷(۶۰)، ۸۶-۱۰۴.
- اسدالهی، عنایت؛ میر موسوی، سیدحسین و جلالی، مسعود (۱۳۹۵). *مطالعه تداوم روزهای خشک و بارانی با استفاده از مدل‌های زنجیره مارکف (مطالعه موردی استان زنجان)*، دانشگاه زنجان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.
- اسدالهی، عنایت؛ اکبری، مه‌ری و حجازی‌زاده، زهرا (۱۴۰۴). *تحلیل توزیع فصلی بارش‌های سیل‌آسای فراگیر در ایران*. نشریه *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۲(۱)، ۸۱-۹۸.
- اکبری، مه‌ری و اسدالهی، عنایت (۱۴۰۰). *گرمایش جهانی و تغییرات ضخامت جو طی دوره سرد سال در ایران*. پژوهش‌های *تغییرات آب و هوایی*، ۲(۸)، ۸۳-۹۵.
- اکبری، مه‌ری و صیاد، وحیده (۱۴۰۰). *تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران*. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۵۳(۱)، ۷۴-۳۷.
- چهره آرا ضیابری، تهمینه و صفرراد، طاهر (۱۳۹۸). *ارائه شاخصی جدید برای مطالعه بارش‌های سنگین و فراگیر سواحل جنوبی خزر طی فصل پاییز، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۱۷(۳۲)، ۳۰۶-۲۸۳.
- ابطحی، وحیده؛ جهانبخش، سعید؛ رستم‌زاده، هاشم و لشکری، حسن (۱۴۰۴). *الگوهای هم‌دیدی رودخانه‌های جوی منجر در بارش‌های سنگین غرب و شمال غرب ایران*. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۹(۹۱)، ۴۵-۱۵.
- حجازی‌زاده، زهرا؛ اکبری، مه‌ری؛ ساسانپور، فرزانه؛ حسینی، علیرضا و محمدی، نیلوفر (۱۴۰۱). *بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل‌آسا در استان تهران، مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۲)، ۸۷-۱۰۵.
- حسینجانی، لیلا؛ عساکره، حسین؛ میرموسوی، سیدحسین و فرجی، عبدالله (۱۳۹۹). *تحلیل اقلیمی - آماری تغییرات بارش‌های فرین بالا و فراگیر در ناحیه‌ی خزری ایران*، رساله دکتری، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان.
- حمیدیان پور، محسن؛ علیجانی، بهلول و صادقی، علیرضا (۱۳۸۹). *شناسایی الگوهای هم‌دیدی بارش‌های شدید شمال-شرق ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. ۱(۵)، ۵۳-۵.
- زاهدی، مجید؛ ساری صراف، بهروز و جامعی، جاوید (۱۳۸۶). *تحلیل تغییرات زمانی - مکانی دمای منطقه شمال غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه*، ۱۵(۱۰)، ۱۹۸-۱۸۳.
- زرین، آذر و داداشی رودباری، عباسعلی (۱۴۰۰). *تاثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های سنگین ایران با بکارگیری مدل همادی CMIP6*. *نشریه آب و توسعه پایدار*، ۸(۴)، ۱۱۹-۱۲۴.
- ژیانیان، زهره؛ فرجی، عبدالله ع؛ عساکره، حسین (۱۳۹۵). *تحلیل هم‌دیدی پویشی شب‌های گرم فراگیر در ایران*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.

- علی پور، یوسف؛ حجازی‌زاده، زهرا؛ اکبری، مه‌ری و سلیقه، محمد (۱۳۹۷). بررسی تغییرات پرفشار جنب حاره تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیوار ایران با رویکرد تغییر اقلیم. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، ۷(۱۸)، ۱۶-۱.
- علیجانی، بهلول؛ دوستکامیان، مهدی؛ اشرفی، سعیده و شاکری، فهیمه (۱۳۹۴). بررسی تغییرات الگوهای خودهستگی فضایی درون دهه‌ای بارش ایران طی نیم قرن اخیر. *مجله جغرافیا و امایش شهری*، ۱۴(۱)، ۷۱-۸۸.
- عساکره، حسین و اشرفی، سعیده (۱۴۰۳). مقایسه روش‌های همبستگی و میانگین در انتخاب روزهای نماینده طبقات الگوهای فشار تراز دریا توام با بارش‌های سنگین و فراگیر در ایران زمین. *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۵ (۵۹).
- عساکره، حسین؛ مسعودیان، سیدابوالفضل و ترکارانی، فاطمه (۱۴۰۰). بررسی وردایی دهه‌ای بارش سالانه ایران زمین طی چهار دهه اخیر (۱۳۹۴-۱۳۵۵)، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۵(۷۶)، ۱۸۷-۲۰۲.
- علیجانی، بهلول؛ طولابی‌نژاد، میثم و کربلائی درئی، علی‌رضا (۱۳۹۸). رفتارسنجی اثر گرمایش جهانی بر پرفشار جنب حاره. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۱(۱)، ۳۳-۵۰.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱). شناسایی تیپ‌های هوایی باران آور تهران براساس محاسبه چرخندگی. *نشریه تحقیقات جغرافیایی*.
- عبداللهی، محمد (۱۴۰۰). *تحلیل بارش‌های سنگین و سیلاب شهری (شهر لامر)*. دانشگاه اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد، راهنما: داریوش رحیمی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، ۱۴۰۰.
- شفیعی، شهاب؛ غلامعلی مظفری و مزیدی، احمد (۱۳۹۵). *بررسی آستانه‌های حدی (فرین) و واکاوی همدیدی الگوهای موثر بر وقوع آن‌ها در غرب ایران*؛ رساله دکتری، دانشگاه یزد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی.
- لطفی سیرائی، علی؛ علیجانی، بهلول و ناصرزاده، محمدحسین (۱۳۹۸). *شبیه‌سازی و پیش‌بینی شاخص‌های حدی اقلیمی در استان تهران و البرز*، رساله دکتری، دانشگاه خوارزمی تهران، دانشکده علوم جغرافیا.
- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۹۰). *آب و هوای ایران*، مشهد: انتشارات شریعه توس.
- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۷۷). *بررسی نظام تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران زمین*. رساله دکتری. دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا.
- معنوی‌پور، کبری؛ زینالی، بتول و صلاحی، برومند (۱۴۰۳). بررسی ارتباط بین بارش‌های سنگین غرب کشور ایران با رودخانه جوی، *مطالعات علوم محیط زیست*، ۹(۲)، ۸۳۳۲-۸۳۲۲.
- میرموسوی، حسین؛ دوستکامیان، مهدی و ستوده، مهدی (۱۳۹۳). بررسی و تحلیل الگوی فضایی تغییرات درون دهه‌ای بارش‌های سنگین و فوق‌سنگین ایران، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۷(۶۳)، ۸۶-۶۷.
- ورشایوان، وحید؛ خلیلی، علی؛ قهرمان، نوذر و حجام، سهراب (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونه اقلیمی ایران، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۷(۱)، ۱۷۹-۱۶۹.
- Aryee, J. N. A. Afrifa F.O.T. Agyapong, K.H. GyauFrimpong, N.A. Quagraine, K.T.& Davies P. (2024). *Quantifying climatic heavy-precipitation-induced floods in West Africa using multiple precipitation indices*, 25(7), 250-275. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02309>
- Beniston, M. & Stephenson, D.B. (2004). Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions, *Global and Planetary Change*, 44(1-4), 1-9. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2004.06.001.
- Burt, T. P. & Horton, B. P. (2007). Inter-decadal variability in daily rainfall at Durham (UK) since the 1850s. *International Journal of Climatology*, 27(7), 945-956. <https://doi.org/10.1002/joc.1443>.

- Dannenberg M.P., Wise E.K., and Smith W.K. (2019). Reduced tree growth in the semiarid United States due to asymmetric responses to intensifying precipitation extremes. *Science advances*, 5(10), 90_80. [https://DOI: 10.1126/sciadv.aaw0667](https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw0667)
- Fujibe, F. Yamazaki, N. Kobayashi, K. & Nakamigawa, H. (2007). long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan, *papers in Meteorology and Geophysics*, 58(1), 63-72. <https://doi.org/10.2467/mripapers.58.63>
- Gay-Garcia, C. Estrada, F. & Sánchez, A. (2009). Global and hemispheric temperatures revisited. *Climatic Change*, 94(3-4): 333-349. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9524-8>.
- Klein Tank, A.M.G. & Können, G.P. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe 1946-99, *Journal of Climate*. 16(22), 3665-3680. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<3665:TIIODT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<3665:TIIODT>2.0.CO;2).
- Kyselý, J. (2009). Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961-2005. *Int. J. Clim.* 29(12), 1745-1758. <https://doi.org/10.1002/joc.1784>.
- Marengo, J.A. Cunha, A.P. Seluchi, M.E. Pedro, C. Giovannin, D. Vinicius, S. Enner, H. Andrea, M, Marcio, M. Rodrigo, A. Jose, M. Edward, P. Regina, C. Alvala, A. Osvaldo, L. Moraes, L. Carlos, A, & Demerval, G. (2024). Heavy rains and hydrogeological disasters on February 18th–19th, 2023, in the city of São Sebastião, São Paulo, Brazil: from meteorological causes to early warnings. *Nat Hazards*, 28(120), 7997–8024, <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06558-5>.
- Mehry, A.; Asadolahi, E. (2025). Analyzing Anomalies of Surface Temperatures in Iran. *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2025.05.015>
- Rousta, I.; Javadizadeh, F.; Dargahian, F.; Olafsson, H.; Shiri-Karimvandi, A.; Vahedinejad, S.H.; Doostkamian, M.; Monroy Vargas, E.R.; Asadolahi, A. (2018). Investigation of vorticity during prevalent winter precipitation in Iran. *Adv. Meteorol*, 2018(4), 1-13. <https://doi.org/10.1155/2018/6941501>
- Schmidli, J. & Frei, C. (2005). Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. *Int. J. Climatol*. 25(6), 753-771. <https://doi.org/10.1002/joc.1179>.
- Srivastava, H. DEWAN, B. DIKSHIT, S. PRAKASH RAO, G. SINGH, S. & RAO, K. (1992). Decadal trends in climate over India. *Mausam*, 43 (1), 7-20. <https://doi.org/10.54302/mausam.-v43i1.3312>.
- Türkeş, M. Sümer, M. & Demir, I. (2002). Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929–1999. *International Journal of Climatology*, 22(8), 947-977.
- UNDP. (2007). *Human Development Report 2007/ 2008*, Palgrave Macmillan, 399.
- Zhang, X. (2023). Analysis on the Heavy Rain Weather Process in Most Areas of China from July 26 to 30, 2022. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 11(1), 183-188. doi: 10.4236/gep.2023.111012.