

## Research Paper

# Temporal and Spatial Variations of Extreme Precipitation in Iran during Different Periods and Its Association With Global Warming

Fatemeh Dargahian<sup>1\*</sup>, Mehdi Doustkamian<sup>2</sup>, Marzieh Sadeghi<sup>3</sup>

1 Assistant Professor, Research institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

2 Ph.D. Climate change - Zanjan University

3 Master of Science (MSc) Meteorology

Received: 2019/07/30

Revised: 2020/04/03

Accepted: 2020/09/15

Use your device to scan and read the article online



DOI:

10.30495/wej.2021.22164.2172

### Keywords:

Anomalies, Extreme precipitation, Coefficient of variation, Trend analysis, Iran.

### Abstract

**Introduction:** Extreme precipitation is one of the most critical climate hazards and one of the consequences of climate change in arid and semi-arid countries. These hazards, if left unmanaged, could lead to economic and social damages. The present study aimed to identify the temporal and spatial variations of extreme precipitation in Iran.

**Methods:** Precipitation network data with a spatial resolution of 15x15 were first used for a statistical period of 50 years (1961-2011). Then, for the purpose of variations of inter-decade precipitation in Iran, the study period was equally divided into 5 distinct periods. MATLAB software and GIS were used to perform calculations. For every periods, spatial pattern, frequency, mean, coefficient of variation, and trend were calculated. The threshold of  $\geq 95$ th percentile, and the coverage of 50% of the total area of the country along with the continuation of at least two days of precipitation were considered as the criterion for the extreme precipitation.

**Findings:** The results of this study showed the highest frequency and extreme precipitation in the Caspian coast, the north-western and west, particularly the western Zagros. Investigation of the precipitation in different periods showed that the third period (1981-1990) had the highest frequency of extreme precipitation. It is while the highest coefficient of variability was observed in the first period (1961-1970) so that the maximum precipitation core was in the central and south-eastern Iran. Also, in spite of increasing frequency and precipitation trend in the southern half of the country in all periods, the northern half of Iran, particularly the Caspian coast had a decreasing trend.

**Citation:** Dargahian F, Doustkamian M, Sadeghi M. Temporal and Spatial Variations of Extreme Precipitation in Iran during Different Periods and Its Association with Global Warming. Water Resources Engineering Journal. 2021; 14 (49): 30- 47.

\*Corresponding author: Fatemeh Dargahian

**Address:** Assistant Professor, Research institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

**Tell:** 09128905602

**Email:** dargahian@rifr-ac.ir

## Extended Abstract

### Introduction

Extreme rainfall is one of the most important weather hazards and one of the consequences of climate change in countries with arid to semi-arid climates. Without proper planning and management, this type of risk leads to great economic and social damage. Changes in climate patterns can lead to severe floods, extreme heat and cold, more frequent droughts, rising sea levels, global warming and melting permanent ice. Rainfall is one of the most important climatic elements that has many temporal and spatial changes. This atmospheric phenomenon is very important for a country like Iran. Iran is one of the regions with abnormal rainfall behavior. These changes in precipitation are due to changes in the factors that produce it. Many studies have been done on heavy and Extreme Precipitation in the world. There is evidence that the intensity of marginal rainfall is increasing globally and has increased significantly in recent years. Extreme Precipitation as one of the manifestations of precipitation is one of the most vital climatic phenomena that can have significant effects on society and the environment. Therefore, understanding the complexities of the occurrence of Extreme Precipitation is the most important issue and recognizing the effective factors in its occurrence is one of the objectives of this study.

### Methods

In this study, in order to study and analyze the areas of threshold precipitation in Iran, daily precipitation data during the period 1961 to 2004 have been extracted from Asfzari databases. In order to increase the temporal resolution of the mentioned database, daily precipitation observations from 2004 to the end of 2011 have been interpolated and added to the mentioned databases using the same method and the same spatial separation. Also, in order to complete the Asfzari database, precipitation in 647 synoptic and climatological stations

of the country during the period 2005 to 2011 has been extracted from the Meteorological Organization. After preparing the database, the most important issue is to select the appropriate threshold to investigate the Extreme Precipitation. Considering that in the study of climatic phenomena, the most common method of threshold selection is the use of the percentile index, so in the present study, to select the day of heavy rainfall during the statistical period, the percentile threshold index along with two other criteria. Therefore, a day was known as heavy rain, which firstly has a rainfall higher than the 95th percentile, secondly covers at least 50% of the area of Iran, and thirdly lasts at least two days. After extracting heavy rainfall, linear regression was used in this study to investigate the temporal and spatial changes of annual heavy rainfall in Iran.

### Findings

In this study, in order to identify the temporal and spatial changes of annual limit precipitation in Iran, the spatial distribution of frequency, average and coefficient of precipitation changes in 5 periods of 10 years were drawn and analyzed. In the first period (1961-1970), the highest frequency of Extreme Precipitation in Iran (200 days) is related to the west coast of the Caspian coast and decreases from this border to the east. After that, the western, northwestern and northeastern regions of Iran have the highest amount (about 150 days). Therefore, as we move from north to south and from west to east, the frequency of precipitation is limited. The average of these precipitations decreases from high latitudes to low latitudes and east of the country. In the second period (1971-1980), the frequency distribution of Extreme Precipitation has increased compared to the previous period, especially in the highlands, and the maximum frequency of the core has spread to the northern coasts of the country.

Also, average rainfall with values above 180 mm, which covers 58% of the country, is related to the Caspian coast and the Zagros highlands, then west, northeast and northwest. In the third period (1981-1990) the frequency of annual rainfall compared to the first and second periods is seen with a significant increase. The core of the maximum frequency of Extreme Precipitation in the Caspian coastal strip is 270 days at Rasht station, which can be said to be due to the discontinuity caused by the subsidence of cold and dry high pressure Siberian or Black Sea and its collision with hot and humid southern Caspian air. In the fourth period (1990-2000), the maximum frequency of Extreme Precipitation has been stretched from northwest-southeast from north and northwest to the southern regions of Iran and parts of Kerman. In the fifth period, almost the whole area of Iran, except Bandar Abbas and a small part of the central regions, including Yazd and Kerman, have experienced abundance in the range of 80 to 200 days, and its maximum is seen in the Caspian coastal and Zagros highlands.

### Discussion

In order to analyze and study more accurately the temporal and spatial changes of Iranian rainfall during the statistical period 1340 to 1389, the spatial distribution of the trend and its significance for each period were analyzed. In the first period, it has a trend throughout the country, so that about 45.72% of the total area of the country is increasing. Distribution of marginal rainfall trend of the second period, unlike the first period, more than half of the country (approximately 60.15%) has an increasing trend that covers many parts of the central and eastern parts of the country. In the third period, marginal rainfall had similar trends to the first period, so that more than half of the country (51.97%) has a decreasing trend. The fourth period has been declining

more than three decades ago, so that in most parts of the country, including the north and south coasts, west and northwest, parts of the northeast and central regions, about 78.6% of the country's area is spread. In the fifth period, about 94.21% of the country is allocated to increasing trends and includes a few parts of the southwest, including Ahvaz, parts of Semnan, Isfahan and Zahedan.

### Conclusion

In this study, with the help of statistical analysis, the temporal and spatial changes of annual Extreme Precipitation in Iran were investigated and identified. The results showed that the highest frequency and average Extreme Precipitation of the country is related to the Caspian coast and then the northwest and west, especially the western slopes of the Zagros during 50 years. The values of the coefficient of variation are increasing in all periods from north to south and west to east. Finally, during this period, Iran's Extreme Precipitation showed an increasing trend and this increasing trend is specific to the southern parts of the country, including the heights of the South Zagros. Also, a significant increase has been observed in the average rainfall of the southeastern regions of the country. Analysis of the relationship between global warming and the frequency of Extreme Precipitation indicates that global warming has strongly affected the frequency of Extreme Precipitation, which is more significant in the southwestern parts of the country.

### Ethical Considerations

#### Compliance with ethical guidelines

All subjects full fill the informed consent.

### Funding

No funding.

### Authors' contributions

Design and conceptualization: Fatemeh Dargahian

Data analysis: Me. Mehdi Doustkamian

Supervision and final writing: Marzieh Sadeghi

### Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

## مقاله پژوهشی

## بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی ایران طی دوره‌های مختلف و ارتباط آن با گرمایش جهانی

فاطمه درگاهیان<sup>۱\*</sup>، مهدی دوستکامیان<sup>۲</sup>، مرضیه صادقی<sup>۳</sup>

۱. استادیار پژوهش، عضو هیئت علمی بخش تحقیقات بیابان موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۲. دکتری تغییر اقلیم دانشگاه زنجان، ایران

۳. کارشناسی ارشد آب و هواشناسی دانشگاه زنجان، ایران

## چکیده

**هدف:** بارش‌های حدی یکی از مهمترین مخاطرات جوی و از جمله پیامدهای تغییر اقلیم در کشورهای دارای آب و هوای خشک تا نیمه خشک می‌باشد. در صورت عدم برنامه‌ریزی صحیح و مدیریت، این نوع مخاطرات خسارات اقتصادی و اجتماعی زیادی را در پی دارد. هدف از این مطالعه شناسایی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی سالانه ایران بود. ابتدا داده‌های شبکه‌بندی شده بارش با تفکیک مکانی ۱۵×۱۵ برای دوره آماری ۵۰ ساله (۱۳۴۰-۱۳۸۹) مورد استفاده قرار گرفت

**روش:** سپس به منظور تغییرات درون دهه‌ای بارش ایران دوره آماری مورد مطالعه به پنج دوره مساوی تقسیم گردیده است. برای انجام محاسبات از امکانات برنامه نویسی در نرم افزار متلب و سامانه اطلاعات جغرافیایی بهره گرفته شده است. سپس برای هر کدام از دوره‌ها توزیع مکانی فراوانی، میانگین، ضریب تغییرات و روند؛ ترسیم و مورد تحلیل قرار گرفت. بهترین معیار برای انتخاب روزهای بارش حدی، آستانه صدک ۹۵ به بالا و پوشش ۵۰ درصدی از کل مساحت کشور همراه با تداوم حداقل دو روز، مناسب تشخیص داده شد.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در دوره های مورد مطالعه بیشترین فراوانی و میانگین بارش‌های حدی در ابتدا مربوط به کرانه‌های ساحلی خزر و پس از آن نواحی شمال غرب و غرب، بخصوص دامنه‌های غربی زاگرس می‌باشد. بررسی رخداد بارش‌های حدی طی دوره‌های مختلف نشان داد دوره سوم (۱۳۶۰-۱۳۶۹) دارای بیشترین فراوانی رخداد بارش‌های حدی بوده است که اینک بالاترین ضریب تغییرپذیری بارش‌های حدی مربوط به دهه اول (۱۳۴۰-۱۳۴۹) می‌باشد به طوری که هسته بیشینه آن در نواحی مرکزی و جنوب شرقی کشور مشاهده شده است. در مجموع نتایج حاصل نشان داد که فراوانی و روند بارش‌های حدی در نیمه‌های جنوبی کشور در همه دوره‌ها روند افزایشی و در نیمه‌های شمالی و بخصوص سواحل خزر روند کاهشی داشته است.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۸

تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۵



DOI:  
10.30495/wej.2021.22164  
.2172

## واژه‌های کلیدی:

ناهنجاری‌ها، بارش حدی، ضریب تغییرات، روند، ایران.

\* نویسنده مسئول:

نشانی:

تلفن:

پست الکترونیکی:

نسبت به شاخص‌های بارش، از گرایش منفی برخوردار بودند و اکثر ایستگاه‌ها تغییرات معنی‌داری را در طول دوره آماری مورد مطالعه نشان ندادند. در ایران مطالعات بسیاری در ارتباط با بارش‌های حدی و سنگین انجام شده است که به چند نمونه از مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود از جمله: بررسی منشأ رطوبت بارش‌های فوق سنگین بوشهر (۱۸)، بررسی بارش‌های سنگین شمال شرق ایران طی دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۶ (۱۷) مطالعه بررسی رخداد بارش‌های سنگین استان بوشهر (۱۳) و مطالعه شناسایی الگوهای هم‌دید بارش‌های شدید سواحل شمالی خلیج فارس، به مطالعه علجانی و همکاران (۳) اشاره نمود. شناسایی الگوهای سینوپتیکی بارش‌های سنگین سیل‌خیز غرب ایران با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی نشان داد تنها یک مؤلفه، ۹۹.۹۹ درصد واریانس این الگوها را تبیین و توجیه می‌کند. بنابراین الگوی مولد تمامی این رخدادها شرایط مشابهی را دارا بوده است (۱۴) بارش حدی به‌عنوان یکی از جلوه‌های بارش از حیاتی‌ترین پدیده‌های اقلیمی است که می‌تواند اثرات قابل توجهی در جامعه و محیط بر جای بگذارد. بنابراین شناخت پیچیدگی‌های رخداد بارش حدی مهم‌ترین مسئله است و شناخت عوامل مؤثر در رخداد آن از اهداف این مطالعه است. جهت دستیابی به این شناخت در این مطالعه به بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی در پهنه ایران پرداخته می‌شود.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور بررسی و تحلیل نواحی آستانه‌های بارش حدی ایران داده‌های بارش روزانه طی دوره ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۳ از پایگاه داده‌ای اسفزاری استخراج گردیده است. پایگاه داده‌های اسفزاری ویرایش نخست توسط مسعودیان (۲۰) با استفاده از ۱۴۳۷ ایستگاه سینوپتیکی و کلیماتولوژی طراحی شده است. تفکیک مکانی داده‌ها ۱۵×۱۵ کیلومتر است که در سیستم تصویر لامبرت مخروطی هم‌شکل نگاشته شده‌اند. بدین ترتیب در سراسر ایران به تعداد ۷۱۸۷ یاخته وجود دارد. به منظور افزایش تفکیک زمانی پایگاه داده مذکور مشاهدات روزانه بارش از سال ۱۳۸۳ تا انتهای ۱۳۹۰ با استفاده از همان روش و همان تفکیک مکانی، میان‌یابی و به پایگاه داده‌های مذکور افزوده شده است. هم‌چنین جهت تکمیل پایگاه داده‌های اسفزاری، بارش در ۶۴۷ ایستگاه سینوپتیکی و کلیماتولوژی کشور طی دوره ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۰ از سازمان هواشناسی کشور استخراج گردیده است.

تغییر در الگوهای آب و هوایی می‌تواند به وقوع سیل‌های شدید، گرم و سرماهای شدید، تکرار بیشتر خشکسالی‌ها، بالا آمدن سطح آب دریا، گرم شدن جهانی هوا و ذوب شدن یخ‌های دائمی منجر شود (۲). بارش از مهم‌ترین عناصر اقلیمی در ادامه حیات انسان و سایر موجودات زنده است و یکی از متغیرهای محیطی بسیار مهمی است که تغییرات زمانی و مکانی زیادی دارد، این پدیده جوی برای کشوری چون ایران اهمیت زیادی دارد (۱۳). ایران از جمله مناطقی است که شاهد رفتار ناهنجار و بی‌قاعدگی بارش است (۱۹). این تغییرات در بارش ناشی از تغییرات عوامل تولیدکننده آن است و بی‌نظمی موجود در عوامل ایجاد بارش به توزیع زمانی و مکانی آن منجر می‌شود (۲۳). در زمینه بارش‌های حدی و سنگین در جهان مطالعات بسیاری انجام شده است. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد شدت بارش‌های حدی در مقیاس جهانی در حال افزایش است و به‌طور قابل توجهی در سال‌های اخیر تقویت شده است (۴). به‌طور مثال افزایش قابل توجهی در میزان بارش شدید در غرب چین (۳۳)، در برزیل (۲۸)، در آلمان (۳۰)، در بلغارستان (۹)، در جنوب غربی مونت‌نگرو (۸) مشاهده شده است. اگرچه در طی نیم قرن گذشته در بیشتر نقاط جهان، روند بارش‌های سنگین افزایش یافته است اما در بیشتر نواحی از جمله آفریقای مرکزی، گینه، کوناکری و زیمبابوه، بارش‌های سنگین از روند کاهشی برخوردار بوده است (۱). در جنوب شرقی آسیا و بخش‌هایی از اقیانوس آرام مرکزی (۱۶)، در کرالای هند (۲۴)، در یک منطقه زیست‌محیطی در برزیل (۲۶) روند منفی را تجربه کرده‌اند. هم‌چنین سورو (۲۷) در بررسی بارش‌های شدید ساحل عاج در طی دوره ۱۰ ساله، نشان داد که داده‌های بارش شدید در مقیاس زیر روزانه (ساعتی: ۱۵ تا ۲۴۰ دقیقه) دارای روند منفی بوده است. بنابراین ایجاد بارندگی‌های شدید و حدی و تغییرات در روند آن در مقیاس زمانی و مکانی مختلف در هر گوشه از جهان دارای رفتار متفاوتی بوده و بی‌تأثیر از سایر متغیرهای اقلیمی نیست. از این‌رو می‌توان به پژوهش‌هایی چند در زمینه ارتباط بارش و دما اشاره نمود: به‌عنوان مثال شواهدی وجود دارد که دمای اتمسفر می‌تواند منجر به بارندگی‌های شدیدتر در طول مقیاس زمانی کوتاه (تا چند ساعت) شده و نیز به‌طور بالقوه دما بر توزیع زمانی بارش مؤثر است (۱۵)؛ (۷)؛ (۳۲)؛ (۲۹) با بررسی منبع رطوبت و بخار آب و وقوع بارش‌های گسترده و حدی در شمال‌شرق چین با استفاده از داده‌های روزانه ۲۰۰ ایستگاه از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ نشان داد در طول و قبل از این‌رویدادها بادهای آسیایی در شمال‌شرق چین فعال بوده‌اند.

دلپا و همکاران (۱) به بررسی شاخص‌های بارش سنگین (شدت، مدت و فراوانی و همبستگی فضایی) پرتغال در دوره ۶۷ ساله (۱۹۴۱-۲۰۰۷) پرداخت نتایج در ۵۷ ایستگاه هواشناسی نشان داد که چندین ایستگاه

$b$	$a$	رابطه
$= \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(p_i - \bar{p})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}$	$= \bar{p}$ $- b\bar{t}$	۲

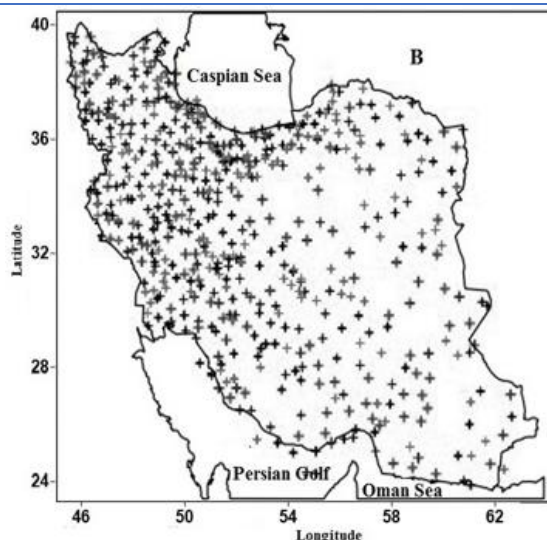
شیب مثبت، ( $b > 0$ ) نشان دهنده رابطه مستقیم دو متغیر است. بدین معنی که در امتداد زمان بارش سنگین افزایش می‌یابد. شیب منفی، ( $b < 0$ ) نشان دهنده رابطه معکوس زمان - بارش سنگین است. شیب صفر، ( $b = 0$ ) نیز نشان دهنده فقدان روند است (۵).

### نتایج و بحث

در این مطالعه جهت شناسایی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی سالانه ایران توزیع مکانی فراوانی، میانگین و ضریب تغییرات بارش در ۵ دوره ۱۰ ساله ترسیم و تحلیل شد که نتایج آنها در شکل ۱ و ۲ ارائه شده است. در این اشکال نقشه‌های فراوانی (با طیف رنگی) در سمت راست و ضریب تغییرات با طیف رنگی در پس زمینه و میانگین سالانه بارش به صورت خطوط هم‌چند بر روی آن در سمت چپ مشاهده می‌شود. شکل ۲ الف و ب توزیع مکانی فراوانی، میانگین و ضریب تغییرات بارش‌های حدی دوره اول (۱۳۴۹-۱۳۴۰) را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود، بیشترین فراوانی بارش‌های حدی ایران (۲۰۰ روز) در این دوره مربوط به کرانه غربی ساحل خزر بوده و از این مرز به سمت شرق کاهش می‌یابد. پس از آن نواحی غرب، شمال غرب و شمال شرق ایران بیشترین مقدار (حدود ۱۵۰ روز) را به خود اختصاص داده‌اند از این رو هرچه از شمال به سمت جنوب و از غرب به سمت شرق پیش می‌رویم فراوانی بارش‌های حدی و به تبع آن میانگین این بارش‌ها از عرض‌های بالا به سمت عرض‌های پایین و شرق کشور کاهش می‌یابد. در این دوره (اول) بیشتر مساحت ایران بارش‌های حدی کمتر از میانگین و بالای ضریب تغییرات را تجربه نموده‌اند. بعد از سواحل شمالی دریای خزر، بیشینه میانگین بارش‌های حدی در بخش‌هایی از شمال غرب ایران و امتداد کوه‌های زاگرس دیده می‌شود (شکل ۲-ب). از طرفی کمینه میانگین این بارش‌ها (۰ تا ۲۰ میلی‌متر) مربوط به نواحی مرکزی و نیمه‌های شرقی کشور بوده که پهنه‌ای به مساحت ۱۵ درصد را در بر گرفته است. این در حالی است که در حدود ۴۵ درصد از مساحت کشور میانگین‌های کمتر از ۴۰ میلی-متر مشاهده شده است (جدول ۱- دوره اول).

بالا در نواحی مرکزی و شرقی ایران نشان دهنده وجود ناهمگنی و توزیع نامنظم بارش‌های حدی می‌باشد.

اندازه ضریب تغییرات، توزیع مکانی فراوانی، میانگین و ضریب تغییرات مربوط به دوره دوم (۱۳۵۹-۱۳۵۰) را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل ۲ (پ، ج) استنباط می‌شود توزیع فراوانی بارش‌های حدی نسبت به دوره قبل بخصوص در ارتفاعات افزایش یافته و هسته بیشینه



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و شبکه ایستگاه‌ها

پس از آماده شدن پایگاه داده، جهت بررسی بارش‌های حدی، شدید و مخاطره‌آمیز مهم‌ترین مسئله انتخاب آستانه مناسب می‌باشد. نظر به اینکه در بررسی پدیده‌های فرین اقلیمی رایج‌ترین روش انتخاب آستانه، استفاده از شاخص صدک می‌باشد از این رو در پژوهش حاضر جهت انتخاب روز بارش سنگین طی دوره آماری (۱۳۴۰-۱۳۸۹) شاخص آستانه صدک به همراه دو معیار دیگر، ملاک انتخاب قرار گرفت. بنابراین روزی با عنوان بارش سنگین شناخته شد که اولاً دارای مقداری بالاتر از صدک ۹۵ باشد، دوماً حداقل ۵۰ درصد از مساحت ایران را پوشش داده باشد، سوماً حداقل دو روز تداوم داشته باشد. بعد از استخراج بارش‌های سنگین به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش سنگین سالانه ایران در این مطالعه از رگرسیون خطی استفاده شده است. در این رویه میزان تغییرپذیری بارش سنگین طی زمان مورد تحلیل قرار می‌گیرد و معنی‌داری روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد و با استفاده از آزمون  $t$  استودنت واریانس. تحلیل رگرسیونی روشی ساده برای مدل‌سازی روابط تابعی میان متغیرهاست، به بیان ساده‌تر معادله رگرسیون، فرمولی برای برآورد ارزش‌های متغیر  $Y$  از ارزش‌های متغیر  $X_i$  است (۵). در معادله رگرسیون ساده بارش سنگین ( $p$ ) و زمان ( $t$ ) و مربعات خطاها طبق رابطه زیر تعریف می‌شود (۶):

رابطه (۱)

$$p = a + bt + e_t$$

در رابطه ۱  $t$  زمان،  $a$  عرض از مبدأ،  $b$  شیب خط روند و  $e_t$  خطای تصادفی مدل رگرسیونی می‌باشد. شیب خط نوع و میزان رابطه را نشان می‌دهد. در واقع میزان تغییر در بارش سنگین به ازای گذر زمان ( $t$ ) را برآورد می‌نماید. برای محاسبه شیب خط ( $b$ ) و عرض از مبدأ ( $a$ ) از فرمول‌های زیر استفاده می‌شود (۱۲).

مناطق پربارش با ارتفاعات زاگرس نشان‌دهنده نقش باران‌های اوروگرافیک یا ارتفاعی است و مکانیسم آن به صورتی است که ارتفاعات نقش کمک‌کننده در عامل صعود دارند. به این معنی که بادهای غربی یا شمالی در بدو ورود به کشور با این موانع کوهستانی برخورد نموده و امکان صعود بیشتری پیدا کرده، در نتیجه با کاهش آدیاباتیک حرارت، زمینه اشباع و تشکیل بارندگی را به دست می‌آورند. در مقابل کمترین فراوانی در این دوره همانند دوره اول مربوط به نواحی مرکزی، جنوب و جنوب شرق کشور است (شکل ۲-ح).

فراوانی در سواحل شمالی کشور گسترده شده است. همچنین میانگین بارش‌های حدی با مقادیر بالای ۱۸۰ میلی‌متر که ۵۸ درصد مساحت کشور را در بر گرفته مربوط به سواحل خزر و ارتفاعات زاگرس، سپس غرب، شمال شرق و شمال غرب است. در عین حال با افزایش در میانگین بارش‌های حدی، کمترین ضریب تغییرپذیری با گستره‌ای به مساحت ۵۷ درصد در امتداد کوه‌های زاگرس مشاهده می‌شود. انطباق هسته بیشینه فراوانی‌ها و مناطق پربارش کشور بر روی ارتفاعات در این مطالعه نیز به‌طور قابل توجهی مشاهده می‌شود و این انطباق نسبی

### جدول ۱- درصد مساحت تحت پوشش میانگین و ضریب تغییرات بارش‌های حدی ایران (۱۳۹۰-۱۳۴۰).

طبقات میانگین بارش حدی (به میلی‌متر)

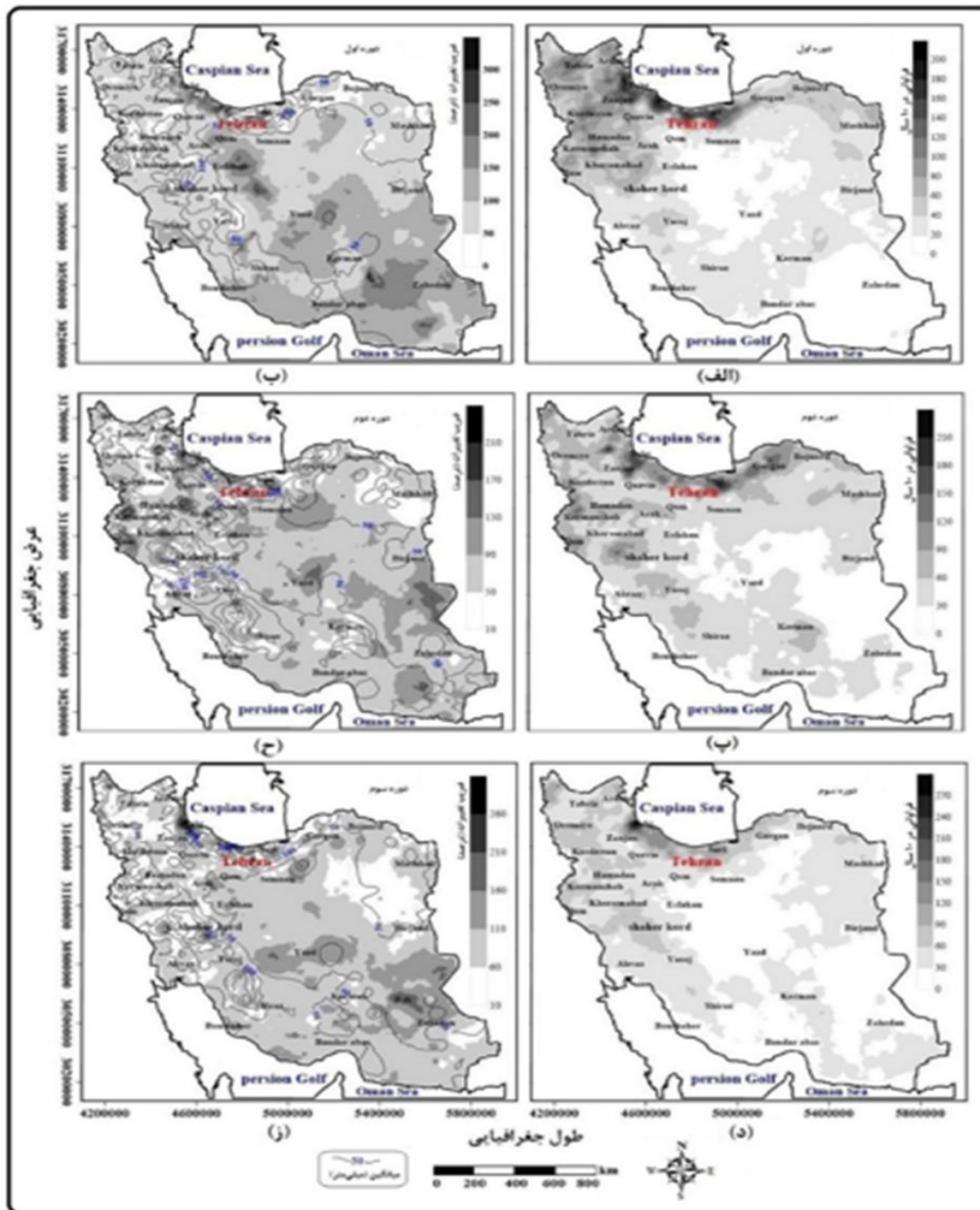
طبقات	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	دوره پنجم	کل دوره
۰ تا ۲۰	۳.۱۵	۱.۶	۹.۵	۳.۴	۲	۰.۴
۲۰ تا ۴۰	۷.۲۸	۶.۱۵	۲۲	۳.۱۹	۴.۱۹	۹.۲۲
۴۰ تا ۶۰	۶.۱۶	۱.۲۰	۵.۲۰	۸.۱۸	۸.۲۳	۷.۲۲
۶۰ تا ۸۰	۹.۱۰	۹.۱۵	۸.۱۷	۷.۱۳	۳.۱۵	۹.۱۵
۸۰ به بالا	۶.۲۸	۵.۴۲	۷.۳۳	۹.۴۳	۵.۳۹	۱.۳۸

طبقات ضریب تغییرات (به درصد)

طبقات	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	دوره پنجم	کل دوره
۰ تا ۲۰	۰.۱	۰.۱	۰	۰.۱	۰	۰
۲۰ تا ۴۰	۹.۳	۴.۷	۳.۴	۱.۶	۵.۲	۰.۲
۴۰ تا ۶۰	۴.۱۷	۶.۲۸	۴.۲۲	۲.۲۰	۸.۱۸	۲.۱۳
۶۰ تا ۸۰	۲.۲۰	۷.۳۳	۷.۲۹	۲.۲۸	۶.۲۸	۳.۲۸
۸۰ به بالا	۴.۵۸	۲.۳۰	۶.۴۳	۴.۴۵	۱.۵۰	۳.۵۸

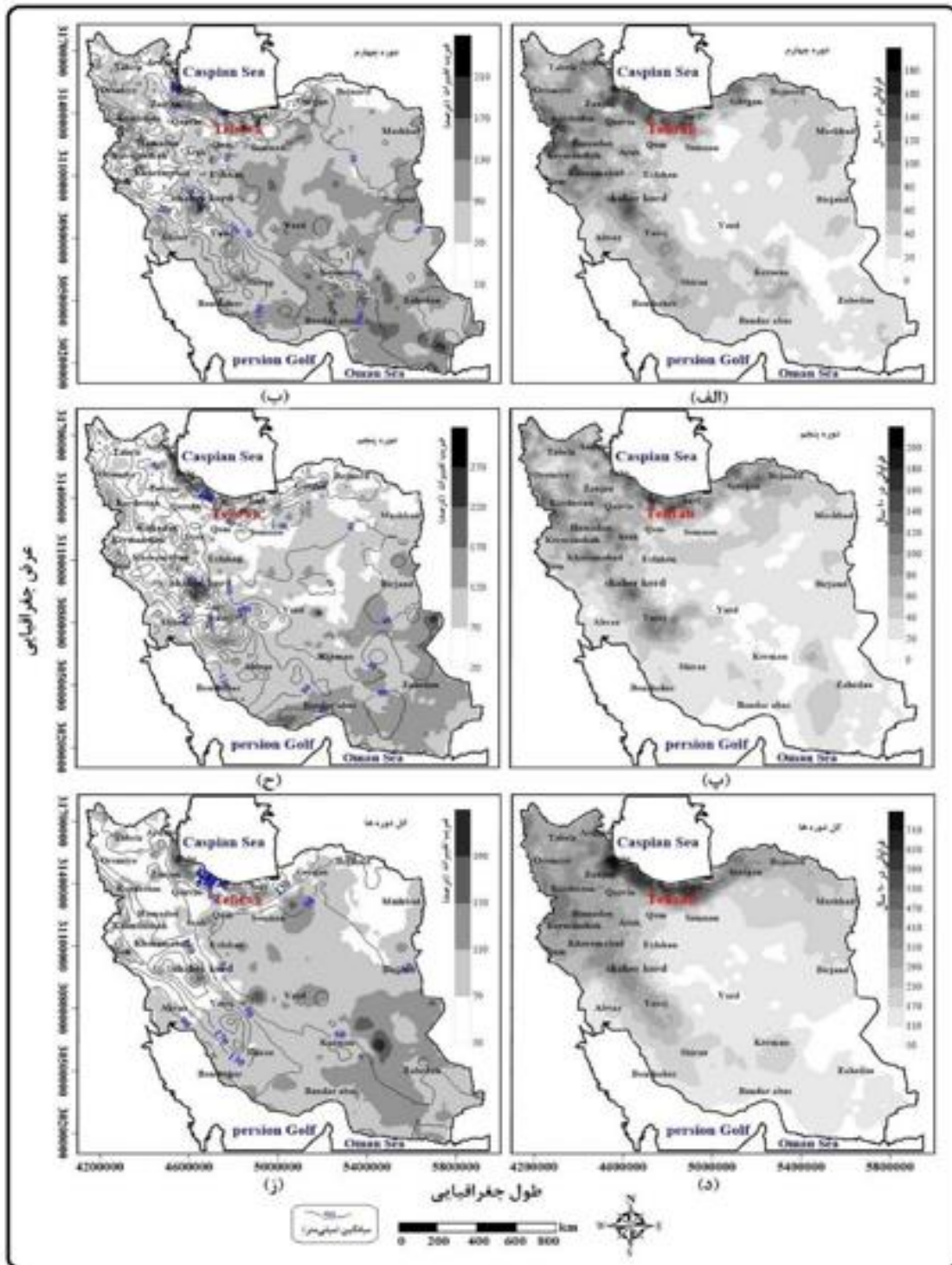
دوره همانند دو دوره قبل همزمان با افزایش فراوانی میانگین‌های بالای ۲۰۰ میلی‌متر در کرانه‌های ساحلی خزر، در مابقی نقاط کشور از جمله ارتفاعات زاگرس و البرز، شمال شرق و تا حدی جنوب شرق منحنی هم-بارش ۱۰۰ میلی‌متر مشاهده می‌شود. در نهایت کمینه اندازه میانگین بارش‌های حدی با خطوط هم‌بارش ۵۰ میلی‌متر مربوط به نواحی مرکزی ایران است که به صورت پیوسته در پهنه‌ای به مساحت ۴۸ درصد کشور گسترده شده است. بالاترین ضریب تغییرات در این دوره با مساحتی بیش از ۴۲ درصد شامل بخش‌هایی در نواحی غربی ساحل خزر، سمنان و یزد در مرکز و بخش‌هایی از سیستان و بلوچستان و کرمان در شرق کشور بوده است (شکل ۲-ز)

شکل ۲- (د، ز) و جدول (۱- دوره سوم) توزیع مکانی فراوانی، میانگین و ضریب تغییرات دهه سوم (۱۳۶۹-۱۳۶۰) را نشان می‌دهد با توجه به مشاهدات موجود این چنین برمی‌آید که فراوانی بارش حدی سالانه نسبت به دوره‌های اول و دوم با افزایش چشمگیری دیده می‌شود. هسته بیشینه فراوانی بارش‌های حدی در نوار ساحلی خزر با ۲۷۰ روز در ایستگاه رشت بوده که می‌توان گفت به دلیل ناپیوستگی ایجاد شده در اثر فرارفت هوای سرد و خشک پرفشار سیبری یا دریای سیاه و برخورد آن با هوای گرم و مرطوب جنوب خزر به بیشینه مقدار خود رسیده است (۲۰). در مقابل در نواحی ایران مرکزی فراوانی روزهای با بارش حدی به کمتر از ۳۰ روز (در طول ده سال) رسیده است (شکل ۲-د). در این



شکل ۲- نقشه‌های فراوانی و میانگین و ضریب تغییرات بارش‌های حدی سالانه ایران مربوط به دهه اول (۴۹-۴۰)، دهه دوم (۵۹-۵۰) و دهه سوم (۶۹-۶۰)





شکل ۳- نقشه فراوانی، میانگین و ضریب تغییرات بارش‌های حدی سالانه مربوط به دهه چهارم (۷۹-۷۰)، دهه پنجم (۸۹-۸۰) و مجموع کل دوره‌ها (۱۳۹۰-۱۳۴۰).

خزری و ارتفاعات زاگرس (با مساحتی حدود ۴۳/۹ درصد) به مقادیر بالای میانگین و در عین حال ضریب تغییرات کمتر از ۵۰ درصد اختصاص یافته‌اند (جدول ۱- دوره چهارم). از این رو می‌توان گفت که این مقادیر در این نواحی (ارتفاعات زاگرس و البرز) نشان دهنده دریافت منظم بارش در طول سال و به‌طور مداوم در هر سال است. بالاترین

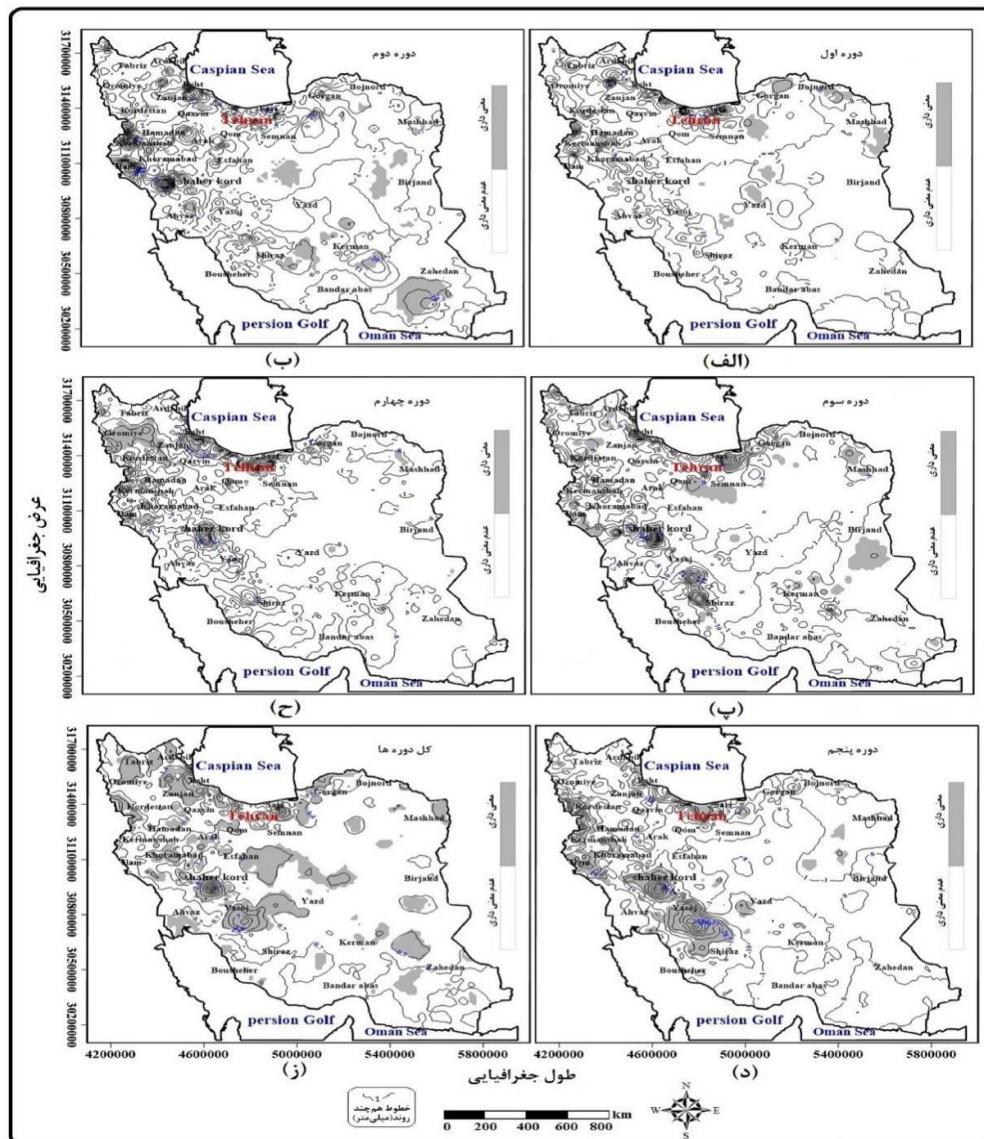
شکل ۳ الف و ب توزیع مکانی فراوانی، میانگین و ضریب تغییرات دوره چهارم را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیشینه فراوانی بارش‌های حدی با جهت شمال‌غرب- جنوب‌شرقی از سمت شمال و شمال‌غرب تا مناطق جنوبی ایران و بخش‌هایی از کرمان کشیده شده است. از نقشه‌های میانگین و ضریب تغییرات معلوم می‌شود که نواحی

### تحلیل روند بارش حدی ایران

به منظور تحلیل و بررسی دقیق‌تر تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی ایران طی دوره آماری ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۹ توزیع مکانی روند و معنی‌داری آن برای هر دوره مورد تحلیل قرار گرفت. بنابراین معنی‌داری با طیف رنگی در پس زمینه و روند به صورت خطوط هم‌چند بر روی آن ترسیم و در شکل ۴ ارائه شده و درصد مساحت تحت پوشش روند و معنی‌داری در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. شکل ۴-الف توزیع روند بارش‌های حدی ایران در دوره اول (۱۳۴۹-۱۳۴۰) را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود در این دوره سراسر کشور دارای روند بوده به طوری که از کل مساحت کشور در حدود ۷۲.۴۵ درصد آن روند افزایشی حاکم است که نواحی مرکزی، جنوب، بخش‌هایی از غرب و جنوب غرب، شرق و جنوب شرق، هم‌چنین قسمت‌هایی از کرانه شرقی ساحل دریای خزر را شامل می‌شود (شکل ۴-الف). در مقابل از باقی‌مانده مساحت کشور حدود ۲۸.۵۴ درصد به روند کاهشی اختصاص یافته که بخش‌های دیگر ایران از جمله شمال شرقی، بخش‌هایی از سواحل غربی و مرکزی خزر، غرب و جنوب غربی کشور، یزد و کرمان را شامل می‌شود. از این مقدار تنها ۵۲.۱ درصد کشور (شمال شرق و بخش کوچکی از اردبیل) به لحاظ آماری معنی‌دار است (جدول ۲ و ۳ - دوره اول). شکل ۴-ب و جدول (۲، ۳) مشاهدات مربوط به توزیع روند بارش‌های حدی دوره دوم (۱۳۵۹-۱۳۵۰) را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این دوره بر خلاف دوره اول بیش از نیمی از مساحت کشور (تقریباً ۱۵۶.۰ درصد) دارای روند افزایشی بوده که بخش‌های زیادی از مناطق مرکزی و نیمه‌های شرقی کشور را در برمی‌گیرد. از این مقدار فقط حدود ۷۰.۴ درصد از بارش‌های حدی کشور در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است و به صورت پراکنده در بخش‌هایی از نواحی غربی، مرکزی و مناطق جنوبی کشور مشاهده می‌شود. بیشترین مساحت کشور (۳۰۹۵) در این دوره، مربوط به بارش‌های حدی بین (۱.۲۴-) تا (۵۲.۱۹) میلی‌متر می‌باشد که از این مقدار، ۸۵.۳۹ درصد کشور روند کاهشی را تجربه نموده و بخش‌های ناچیزی از سواحل شمالی، غرب، شمال غرب، بخش‌هایی از نواحی جنوب شرقی و در نهایت بخش کمی از شمال شرق کشور را شامل می‌شود (شکل ۴-ب). در مقابل تنها در حدود ۴۰ درصد کشور مقادیر بالای ۶۳ میلی‌متر (بخش‌هایی از غرب کشور) حاکم است (جدول ۲- دوره دوم).

ضریب تغییرپذیری در این دوره مشاهده شده و در پهنه‌ای نزدیک به ۴۶ درصد از مساحت کشور نواحی مرکزی و جنوب شرق کشور را شامل می‌شود (شکل ۳-ب)

شکل ۳-پ، ج) توزیع فراوانی، میانگین و ضریب تغییرات دوره پنجم را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود تقریباً کل پهنه ایران به‌جز بندرعباس و قسمت‌های کمی از نواحی مرکزی از جمله یزد و کرمان، فراوانی در بازه ۸۰ تا ۲۰۰ روز را تجربه نموده‌اند و بیشینه آن در نوار ساحلی خزر و ارتفاعات زاگرس به چشم می‌آید. فراوانی بارش‌های حدی در این دوره در مناطق جنوب شرقی کشور نسبت به دوره‌های قبل افزایش یافته و هم‌چنین در این نواحی (نیمه‌های شرقی) میانگین‌هایی در بازه ۶۰ تا ۸۰ میلی‌متر و همراه با آن ضریب تغییرات بین ۱۲۰ تا ۲۲۰ درصد مشاهده می‌شود. در این راستا می‌توان گفت که فراوانی بارش‌های تابستانه در این دوره درصد بالایی را به خود اختصاص داده است. به طوری که مکانیسم رخداد بارش‌های سنگین در این منطقه از کشور به سبب مهیایی شرایط رطوبت تراز پایین با منشأ خلیج فارس و ناهنجاری‌های منفی تراز ۵۰۰ و در نهایت استقرار رودباد جنب حاره در غرب نواحی جنوب شرقی کشور می‌باشد (۳). پس از شناسایی تغییرات بارش‌های حدی در دوره‌های مختلف لازم است جهت دستیابی به یک شناخت دقیق‌تر از رفتار این بارش‌ها، توزیع مکانی فراوانی، میانگین و ضریب تغییرات در کل دوره آماری (۱۳۴۰-۱۳۹۰) مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا در شکل ۳ (د، ز) مشاهده می‌شود که در مجموع فراوانی رخداد بارش‌های حدی سالانه در ایران از نظر توزیع مکانی از سمت جنوب به شمال و از شرق به سمت غرب در حال افزایش بوده و همراه با آن در این نواحی، میانگین بارش‌ها نیز افزایش و ضریب تغییرات کاهش می‌یابد. از آنجایی که بیشینه بارش‌های حدی در نیمه‌های شمالی و غربی کشور رخ داده است می‌توان گفت که اکثر این بارش‌ها در مجموع دوره‌های مختلف در فصل زمستان و پاییز به وقوع پیوسته و متأثر از ورود بادهای غربی بر روی پهنه ایران است. بنابراین می‌توان گفت که رژیم غالب بارش کشور زمستانه و ناشی از سامانه‌های بزرگ مقیاس با منشأ مدیترانه می‌باشد. در حالت کلی بالاترین میزان تغییرپذیری با ۵۸ درصد شامل نواحی مرکزی و جنوب شرق کشور بوده و کمترین آن (۵۰ درصد به پایین) در مساحت اندکی مربوط به کرانه‌های ساحلی خزر و نواحی ارتفاعی به سبب نحوه آرایش ناهمواری‌ها است (شکل ۳-ز).



شکل ۴- توزیع مکانی روند بارش‌های حدی ایران در دوره‌های مختلف و کل دوره‌ها.

بارش‌های حدی در دوره چهارم (۱۳۷۹-۱۳۷۰) از روند کاهشی بیشتری نسبت به سه دهه پیش برخوردار بوده، به طوری که این روند در اکثر نواحی کشور از جمله سواحل شمالی و جنوبی، غرب و شمال غرب، بخش‌هایی از شمال شرق و نواحی مرکزی، در حدود ۷۸/۶ درصد از مساحت کشور گسترده شده است و به لحاظ آماری از این مقدار فقط ۴/۷۵ درصد آن در سطح ۹۵ درصد اطمینان، معنی دار است (جدول ۳- دوره چهارم). این معنی داری به ویژه در سواحل غربی خزر و ارتفاعات زاگرس مرکزی (شهرکرد) قابل مشاهده است. در این دوره حدود ۲۱/۹۴ درصد کشور به روندهای افزایشی اختصاص یافته و بخش‌های اندکی از جنوب غربی از جمله اهواز، بخش‌هایی از سمنان، اصفهان و زاهدان را شامل می‌شود. از این مقدار تنها بخش ناچیزی از مساحت کشور (۱۷ درصد) آن هم در نواحی شمال غرب، به لحاظ آماری معنی دار است (جدول ۳- دوره چهارم)

شکل ۴- پ تحلیل روند بارش‌های حدی دوره سوم (۱۳۶۰-۱۳۶۹) را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل و جدول (۳- دوره سوم) می‌توان گفت که از نظر توزیع مکانی، بارش‌های حدی این دوره روندهایی مشابه با دوره اول داشته به طوری که بیش از نیمی از مساحت کشور (۵۷/۹۷ درصد) را روند کاهشی در بر گرفته است. هسته بیشینه این روند در سواحل شمالی کشور است و بعد از آن بخش‌هایی از زاگرس مرکزی و جنوبی، کرمان و خراسان شمالی را شامل می‌شود که حدود ۱۲/۳ درصد آن روند معنی داری را نشان می‌دهد. در مقابل، بارش‌های حدی با روند افزایشی در نواحی زاگرس جنوبی، بخش‌هایی از سمنان، بیرجند و شمال غرب در حدود ۴۸/۳ درصد از مساحت کشور حاکم شده و تنها ۹۶/۲ درصد آن به لحاظ آماری معنی دار است. این روند معنی دار، سواحل شرقی خزر و بخش‌هایی از غرب و جنوب غرب کشور را شامل می‌شود. همان گونه که از شکل ۴- ح استنباط می‌شود می‌توان گفت که

## جدول ۲- درصد مساحت تحت پوشش روند بارش های حدی سالانه ایران (۱۳۸۹-۱۳۴۰).

دوره ها	طبقات روند بارش به میلی متر)	مساحت (درصد)	دوره ها	طبقات روند بارش به میلی متر)	مساحت (درصد)
دوره اول (۱۳۴۰-۱۳۴۹)	(-۳۰.۷۶ تا -۷۸.۳۷)	(۲.۰)	دوره چهارم (۱۳۷۰-۱۳۷۹)	(-۳۷.۳۳ تا -۲۳.۷۲)	(۶.۱)
	(-۷۸.۳۷ تا ۷۴.۰)	(۳.۶۱)		(-۳۷.۳۳ تا ۴۹.۵)	(۲.۹۵)
	(۷۴.۰ تا ۲۶.۳۹)	(۵.۳۸)		(۴۹.۵ تا ۳۴.۴۴)	(۱.۳)
	(۲۶.۳۹ تا ۷۹.۷۷)	(۱.۰)		(۳۴.۴۴ تا ۲۱.۸۳)	(۱.۰)
دوره دوم (۱۳۵۰-۱۳۵۹)	(-۰.۵۲۴ تا -۶۲.۶۷)	(۲.۱)	دوره پنجم (۱۳۸۰-۱۳۸۹)	(-۴۹.۹۶ تا -۳۸.۶۴)	(۶.۰)
	(-۰.۵۲۴ تا ۵۳.۱۹)	(۳.۹۵)		(-۳۸.۶۴ تا -۲۸.۳۲)	(۸.۴)
	(۵۳.۱۹ تا ۱۰.۶۳)	(۳)		(-۲۸.۳۲ تا -۱۷.۰)	(۸.۵۲)
	(۱۰.۶۳ تا ۱۰.۶)	(۴.۰)		(-۱۷.۰ تا ۹۴.۳۱)	(۸.۴۱)
دوره سوم (۱۳۶۰-۱۳۶۹)	(-۱۶.۷۷ تا -۳۸.۳۰)	(۶.۰)	کل دوره ها (۱۳۴۰-۱۳۸۹)	(-۵۷.۴ تا -۶۳.۱۲)	(۵.۰)
	(-۳۸.۳۰ تا ۴۰.۱۶)	(۶.۹۵)		(-۵۷.۴ تا ۵۰.۳)	(۹۷)
	(۴۰.۱۶ تا ۱۹.۶۳)	(۷.۳)		(۵۰.۳ تا ۵۷.۱۱)	(۵.۲)
	(۱۹.۶۳ تا ۱۱۰)	(۲.۰)		(۵۷.۱۱ تا ۶۴.۱۹)	(۱.۰)

۹۵ درصد معنی دار است. این درصد معنی داری به صورت پراکنده در بخش های گسترده از نواحی مرکزی از جمله یزد، اصفهان، بخش های کمی از شمال غرب و جنوب شرق گسترش یافته است. روند مثبت با منحنی ۷۰ در سراسر پهنه مشاهده می شود، به طوری که این منحنی از سمت شمال غرب و غرب تا سمت عرض های جنوبی کشور کشیده شده و با یک انحنا به سمت عرض های بالا ادامه داشته و در شمال شرق از کشور خارج شده است. در مقایسه با روند افزایشی، حدود ۲۵.۳۰ درصد کشور دارای روند کاهشی بوده که این روند تنها در ۵ درصد از مساحت به لحاظ آماری معنی دار است (شکل ۴- ز). بیشترین مساحت کشور (۹۷ درصد) روندی بین ۵۷.۴ تا ۵۰.۳ میلی متر را تجربه نموده و مقادیر بین ۵۷.۱۱ تا ۶۴.۱۹ میلی متر تنها در ۱.۰ درصد (بخشی از زاگرس مرکزی در شهرکرد) مساحت گسترش یافته است (جدول ۲- کل دوره ها).

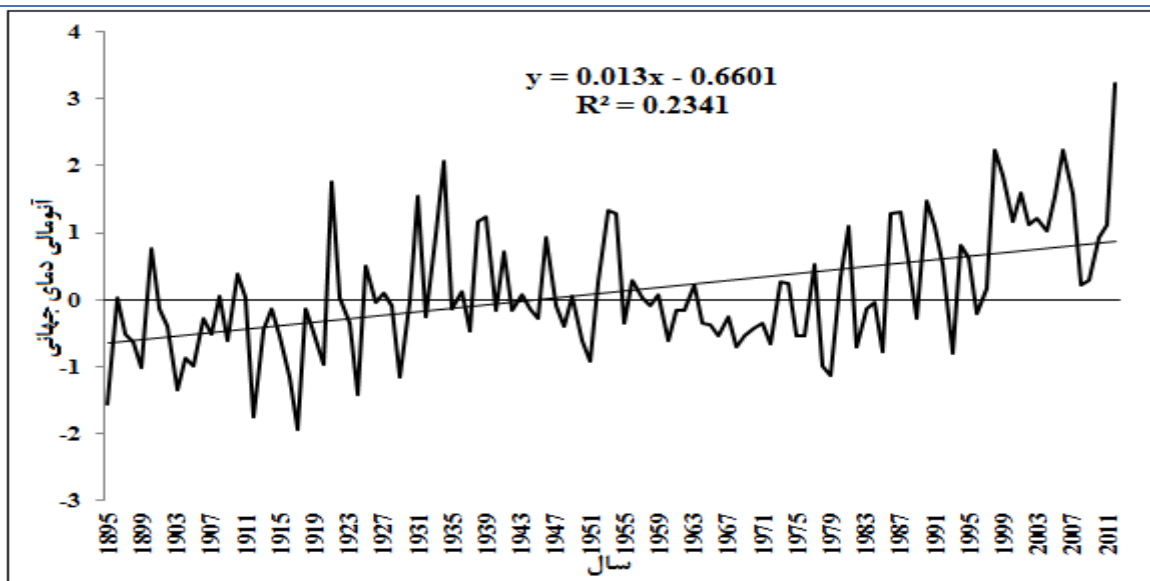
شکل ۴- د توزیع مکانی روند بارش های حدی دوره آخر (۱۳۸۹-۱۳۸۰) را نشان می دهد با توجه به این شکل و جدول (۳- دوره پنجم) می توان گفت که روند کاهشی در بیشتر مساحت کشور (۵۹ درصد) حاکم شده و هم چنین به لحاظ آماری نسبت به همه دوره ها، در این دوره روند کاهشی درصد معنی داری بالایی (۵۷/۹ درصد) را نشان می دهد که به صورت پراکنده در بخش های مرکزی کرانه ساحلی خزر، خراسان جنوبی با درصد ناچیزی و در جنوب غربی به مقدار قابل توجهی دیده می شود. از طرفی روند افزایشی (در حدود ۴۸ درصد) بخش هایی از شرق و جنوب شرق، سمنان و بخش های کمی از نیمه های غربی کشور را شامل می شود (جدول ۳- دوره پنجم). پس از بررسی روند در طی دوره های مختلف، روند بارش های حدی در دوره طولانی مدت (۱۳۴۰-۱۳۸۹) نشان داد که بارش های حدی در اکثر نقاط کشور (حدود ۷۰ درصد مساحت کشور) روند افزایشی اما ضعیفی را تجربه نموده اند که از این مقدار تنها نزدیک به ۱۵ درصد آن به لحاظ آماری در سطح اطمینان

جدول ۳- نوع روند و درصد تحت پوشش آن برای بارش حدی سالانه ایران (۱۳۸۹-۱۳۴۰).

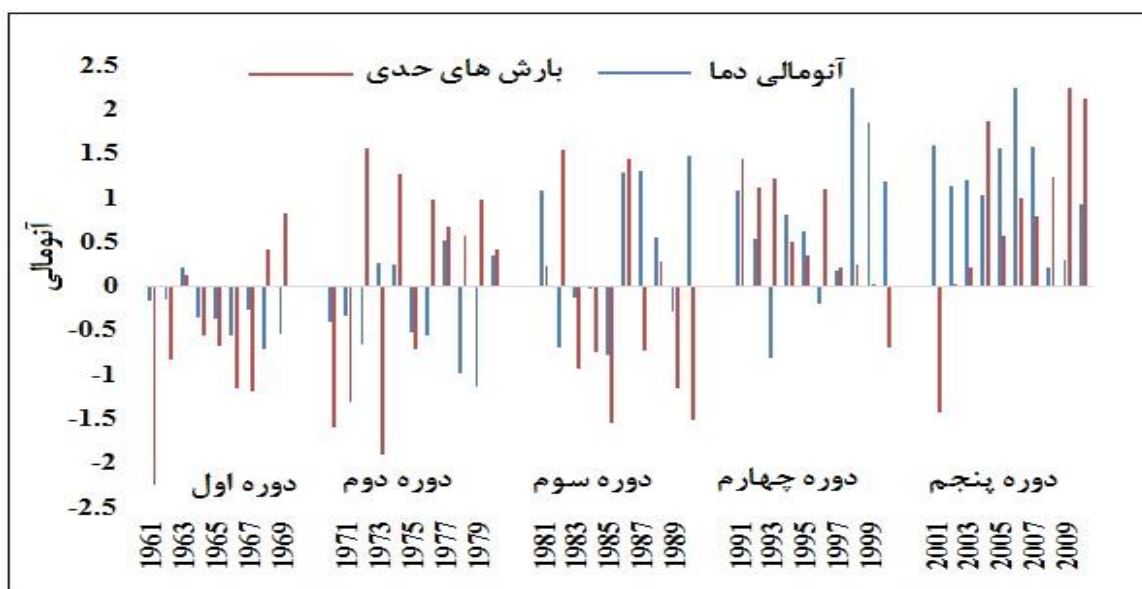
دوره‌ها	نوع روند	تحت پوشش درصد	سطح معنی داری	تحت پوشش درصد	دوره‌ها	نوع روند	تحت پوشش درصد	سطح معنی داری	تحت پوشش درصد
(۱۳۴۰-۱۳۴۹)	روند کاهشی	۲۸.۵۴	عدم معنی داری	۵۹.۱	دوره اول	روند کاهشی	۶۹.۵۲	عدم معنی داری	۳۱.۷۳
	روند افزایشی	۷۲.۴۵	عدم معنی داری	۷۱.۱		روند افزایشی	۰.۱۴۴	عدم معنی داری	۷۸.۲۱
(۱۳۵۰-۱۳۵۹)	روند کاهشی	۸۵.۳۹	عدم معنی داری	۶۶.۳	دوره دوم	روند کاهشی	۱۹.۳۶	عدم معنی داری	۳۵.۴۹
	روند افزایشی	۱۵.۶۰	عدم معنی داری	۷۰.۴		روند افزایشی	۴۵.۵۵	عدم معنی داری	۰۵.۴۱
(۱۳۶۰-۱۳۶۹)	روند کاهشی	۹۷.۵۱	عدم معنی داری	۱۲.۳	دوره سوم	روند کاهشی	۸۵.۴۸	عدم معنی داری	۷۸.۲۴
	روند افزایشی	۰.۳۴۸	عدم معنی داری	۹۶.۲		روند افزایشی	۰.۷۴۵	عدم معنی داری	۹۲.۵۴
(۱۳۷۰-۱۳۷۹)	روند کاهشی	۶۹.۵۲	عدم معنی داری	۵۹.۱	دوره چهارم	روند کاهشی	۶۹.۵۲	عدم معنی داری	۳۱.۷۳
	روند افزایشی	۷۲.۴۵	عدم معنی داری	۷۱.۱		روند افزایشی	۰.۱۴۴	عدم معنی داری	۷۸.۲۱
(۱۳۸۰-۱۳۸۹)	روند کاهشی	۸۵.۳۹	عدم معنی داری	۶۶.۳	دوره پنجم	روند کاهشی	۱۹.۳۶	عدم معنی داری	۳۵.۴۹
	روند افزایشی	۱۵.۶۰	عدم معنی داری	۷۰.۴		روند افزایشی	۴۵.۵۵	عدم معنی داری	۰۵.۴۱
(۱۳۹۰-۱۳۹۹)	روند کاهشی	۹۷.۵۱	عدم معنی داری	۱۲.۳	دوره ششم	روند کاهشی	۸۵.۴۸	عدم معنی داری	۷۸.۲۴
	روند افزایشی	۰.۳۴۸	عدم معنی داری	۹۶.۲		روند افزایشی	۰.۷۴۵	عدم معنی داری	۹۲.۵۴
(۱۴۰۰-۱۴۰۹)	روند کاهشی	۶۹.۵۲	عدم معنی داری	۵۹.۱	دوره هفتم	روند کاهشی	۶۹.۵۲	عدم معنی داری	۳۱.۷۳
	روند افزایشی	۷۲.۴۵	عدم معنی داری	۷۱.۱		روند افزایشی	۰.۱۴۴	عدم معنی داری	۷۸.۲۱

است (شکل ۵). همان طور که در شکل دیده می‌شود، بیشترین فراوانی وقوع بارش های حدی طی دوره اول (۱۹۷۰-۱۹۶۱) و دوم (۱۹۸۰-۱۹۷۱) رخ داده است. بنابراین می‌توان گفت افزایش گرمایش جهانی طی سال‌های اخیر به شدت بر روند بارش‌های حدی ایران تأثیر گذاشته، به طوری که سیر افزایشی آنومالی دمای جهانی با سیر نوسانات بارش-های حدی ایران تقریباً مطابقت دارد.

جهت بررسی علل افزایش فراوانی بارش‌های حدی در کشور در نیم قرن اخیر به بررسی تغییرات دمای جهانی پرداخته شد. با توجه به شکل ۵ نمایان می‌شود که از سال ۱۹۸۳ میلادی به بعد که معادل ۱۳۶۳ شمسی می‌باشد، آنومالی دما سیر افزایشی به خود می‌گیرد. این درحالی است که سیر بارش‌های حدی ایران تقریباً از همین سال یعنی دوره سوم (۱۹۹۰-۱۹۸۱) به بعد روند افزایشی محسوس به خود گرفته



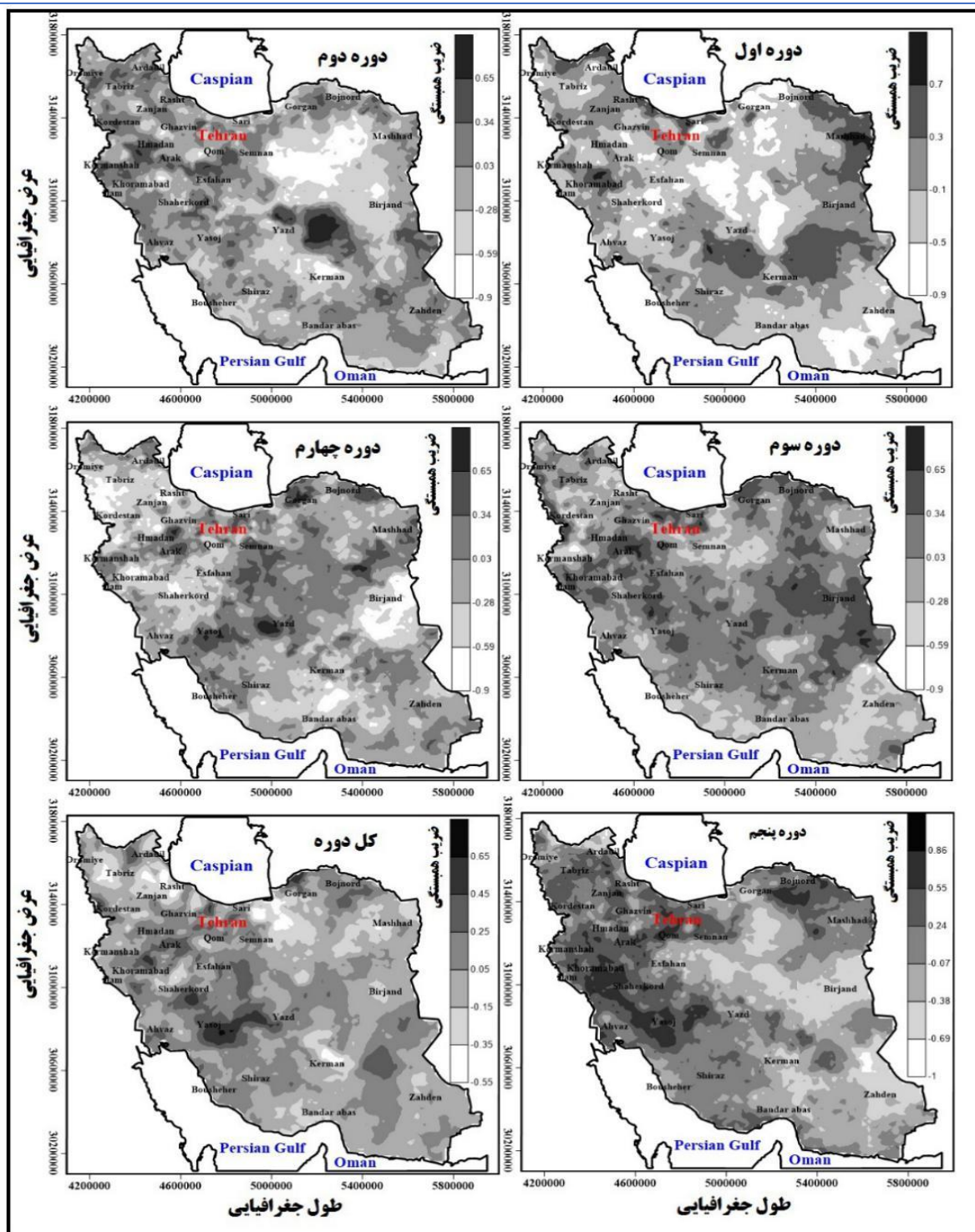
شکل ۵- ناهنجاری‌های دمایی جهانی و روند آن طی سالهای ۱۹۸۵ - ۲۰۱۲



شکل ۶- ناهنجاری‌ها دما و بارش‌های حدی طی دوره‌های مختلف در ایران.

بالایی را با بارش‌های حدی ایجاد کرده است. با این حال افزایش گرمایش جهانی در نیمه‌های شمالی کشور رابطه بالا و مستقیمی دارد یعنی با افزایش گرمایش جهانی بارش‌های حدی افزایش پیدا کرده است.

به منظور اینکه تحلیل دقیق‌تری از افزایش گرمایش جهانی و اثرات آن بر بارش‌های حدی ایران داشته باشیم رابطه بین گرمایش جهانی و فراوانی وقوع بارش‌های حدی ایران در شکل ۷ آورده شده است. براساس شکل ۷ تغییرات گرمایش جهانی در هر پنج دوره رابطه بسیار



شکل ۷- رابطه بین گرمایش جهانی و بارش‌های حدی ایران طی دوره‌های مختلف.

حدی اثر گذاشته و فراوانی آن‌ها را بیشتر کرده است. بنابراین تشدید رویدادهای آب و هوایی در نقاط مختلف در سطح دنیاست که می‌توان پیامدهای آن را به شکل ثبت دماهای بسیار بالا همچنین باران‌های شدید و طوفان‌های مهیب مشاهده کرد. براساس گزارش اعلام شده از سوی اداره ملی جوی و اقیانوس‌شناسی آمریکا در ۴ دهه اخیر شمار رویدادهای شدید آب و هوایی و بی‌سابقه در سطح زمین در

با این وجود در هر پنج دوره فراوانی وقوع بارش‌های حدی در بخش‌های شرقی و مرکزی ایران رابطه معکوسی داشته است به طوری که در این بخش از کشور با افزایش گرمایش جهانی بارش‌های حدی کاهش داشته است. در مجموع به سمت دوره‌های اخیر فراوانی وقوع بارش‌های حدی در اکثر قسمت‌های ایران رابطه مستقیم و قابل محسوسی را تجربه کرده است. پس روند گرمایش جهانی روی پدیده‌های فرین تا

کشور افزایش معنی‌داری مشاهده شده است. اما معلوم شد که بارش‌های حدی در سواحل شمالی کشور از روند کاهشی برخوردار بوده است. رزمی و اشرفی (۲۵) در بررسی تغییرات بارش‌های سنگین و فوق سنگین تبریز به نتایج مشابهی رسیدند. آنها نشان دادند که مجموع بارش‌های حاصل از صدک ۹۵ و ۹۹ (به عنوان آستانه بارش‌های سنگین و فوق سنگین)، دارای روند کاهشی معنی‌دار بوده، اما سهم آنها از بارش سالانه دارای روندی افزایشی است.

تحلیل رابطه بین گرمایش جهانی و فراوانی وقوع بارش‌های حدی بیانگر این است که گرمایش جهانی به شدت بر فراوانی وقوع بارش‌های حدی تاثیر گذاشته است که در بخش‌های جنوب غربی کشور این تاثیرات چشمگیرتر می‌باشد.

### ملاحظات اخلاقی

**پیروی از اصول اخلاق پژوهش** در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

**حامی مالی** هزینه‌های مطالعه حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شد.

**مشارکت نویسندگان** طراحی و ایده پردازی: فاطمه درگاهیان؛ تحلیل داده‌ها: مهدی دوستکامیان؛ کمک به نگارش نهایی: مرضیه صادقی.

**تعارض منافع** بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

### References

1. Aguilar E, Aziz Barry A, Brunet M, Ekan L, Fernandes A, Massoukina M, Thamba Umba O. (2009). Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955–2006. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 114(D2). <https://doi.org/10.1029/2008JD01100>
2. Ahmadi, I., Alijani, B. (2014). Identification of Synoptic Patterns Causing Heavy Rainfall in Northern Coast of Persian Gulf. *Physical*

حال افزایش بوده است. به این ترتیب پیش‌بینی می‌شود با ادامه پیدا کردن روند گرمایش جهانی در سال‌های آینده رویدادهای غیر معمول آب و هوایی مانند خشکسالی، وقوع طوفان‌های شدید یا کولاک در سطح زمین شدت بیشتری پیدا کند.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه با کمک تحلیل آماری، به بررسی و شناسایی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی سالانه ایران پرداخته شد. بدین منظور توزیع مکانی فراسنج‌های فراوانی، میانگین و ضریب تغییرات ترسیم و جهت بررسی دقیق‌تر از روش تحلیل روند بهره گرفته شد. نتایج حاصل از تحلیل آماری به ترتیب در ادامه می‌آید: بیشترین فراوانی و میانگین بارش‌های حدی کشور مربوط به کرانه‌های ساحلی خزر و پس از آن نواحی شمال غرب و غرب به‌خصوص دامنه‌های غربی زاگرس در طول ۵۰ سال مورد مطالعه است. این یافته با یافته‌های دوستکامیان و همکاران (۱۱) مطابقت دارد به طوری که ایشان در بررسی بارش‌های سنگین و فوق سنگین ایران نشان دادند که که کرانه‌های ساحلی دریای خزر و امتداد دامنه‌های غربی زاگرس، دارای بیشینه وقوع بارش‌های سنگین و فوق سنگین است.

مقادیر ضریب تغییرات در همه دوره‌ها از سمت شمال به جنوب و غرب به شرق در حال افزایش است. از نظر گسترش مکانی بیشترین مساحت تحت پوشش ضریب تغییرات بالای ۸۰ درصد در دهه اول (۱۳۴۹-۱۳۴۰) مشاهده شده که حدود ۵۸/۴ درصد از مساحت کشور را دربرگرفته است و هسته بیشینه آن در نواحی مرکزی و جنوب شرقی با مقدار بالای ۲۰۰ درصد مشاهده شده است.

در نهایت در طول دوره آماری مورد مطالعه (۱۳۴۰-۱۳۸۹) بارش‌های حدی ایران روند افزایشی را نشان می‌دهد و این روند افزایشی مختص به بخش‌های جنوبی کشور از جمله ارتفاعات زاگرس جنوبی می‌شود. همچنین در میانگین بارش‌های حدی نواحی جنوب شرقی

*Geography Research Quarterly*, 46(3), 275-296.

[Doi: 10.22059/jphgr.2014.52132](https://doi.org/10.22059/jphgr.2014.52132)

3. Alijani B, Khosravi M, Ismail Nejad M. (2010) Synoptic analysis of heavy rain on January 6, 2008 in southeastern Iran. *Climatological Research*, No. 1 (3): pp. 3-14
4. Alijani B. (2010). *Climate of Iran*. Payam Noor University. Tehran Iran.
5. Asakreh H, 2011. *Fundamentals of Statistical Climatology*, First Edition, Zanzan University Press, Zanzan.



6. Bazargan Lari A. (2006). Applied Linear Regression, Shiraz University Press.
7. Berg P, Moseley C, Haerter J. O. (2013). Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. Nat. Geosci 6(3):181-185. <https://doi.org/10.1038/ngeo1731>
8. Boers N, Donner R. V, Bookhagen B, Kurths J. (2015). Complex network analysis helps to identify impacts of the El Niño Southern Oscillation on moisture divergence in South America. Climate dynamics. 45(3-4): 619-632. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2265-7>
9. Burić D, Luković J, Bajat, B, Kilibarda M, Živkovic N. (2015). Recent trends in daily rainfall extremes over Montenegro (1951-2010). Natural Hazards & Earth System Sciences. 15(9):2069-2077. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2069-2015>, 2015.
10. Delima M, Isabel P, Santo F. E, Ramos A. M, Trigo R. M. (2015). Trends and correlations in annual extreme precipitation indices for mainland Portugal, 1941-2007: Theoretical and Applied Climatology. 119(1-2): 55-75. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-1079-6>
11. Doostkamian, M., Mirmousavi, S. (2015). The Study and Analysis the Clusters of Heavy Rainfall Threshold in Iarn. Geography and Development Iranian Journal, 13(41), 131-146. [Doi: 10.22111/gdij.2015.2232](https://doi.org/10.22111/gdij.2015.2232)
12. Farshad Far A. (2005). Principles and Statistical Methods of Multivariate, Taghobestan Publications, Kermanshah
13. Gandomkar, A. (2010). A Synoptic Study of Heavy Rain in Southern Regions of Bushehr Province. Journal of Studies of Human Settlements Planning, 5(10), 143-157.
14. Ghasemifar E, Naserpour S, arezomandi L. (2017). Analysis of synoptic patterns reated to extreme precipitation over west of Iran. Journal of spatial analysis environmental hazarts; 4 (2):69-86. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2717-fa.html>
15. Griffiths G.M, Salinger M.J, Leleu I. (2003). Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific convergence zone: Int. J. Applied Climatology (23): 847-869. <https://doi.org/10.1002/joc.923>
16. Haerter J. O, Berg P, Hagemann S. (2010). Heavy rain intensity distributions on varying time scales and at different temperatures. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 115(D17). <https://doi.org/10.1029/2009JD01334>
17. Hamidianpour M., Alijani B, Sadeghi A. (2010). Recognition of synoptic patterns of severe rainfall in Northeast Iran. Geographical studies of arid regions. First Year, No. 1 (1): 16-1. <http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-18-fa.html>
18. Khoshal, G., khosravei, M., nazareipoor, H. (2009). Identification Humidity Resources and Course of Super Heavy Precipitation in Bushehr Province. Geography and Development Iranian Journal, 7(16), 7-28. [Doi: 10.22111/gdij.2009.1173](https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1173)
19. Mohammadi, B., Masoudian, S. A. (2010). Synoptic Analysis of Heavy Rainfall in Iran Case Study: November 1994. Quarterly Journal of Geography and Development, 8 (19), 47-70. [Doi: 10.22111 / gdij.2010.1108](https://doi.org/10.22111/gdij.2010.1108)
20. Masoudian S, A. (2011). Climate of Iran. Sharia Toos Publications Mashhad, first edition, Mashhad, Iran.
21. Masoudian, S.A, Karsaz, S. (2015). Synoptic Analysis of Thickness Patterns at the Time of Heavy and Extensive Precipitations of South Zagros Area. Geography and Development Iranian Journal, 12(37), 15-28. [Doi: 10.22111/gdij.2015.1816](https://doi.org/10.22111/gdij.2015.1816)
22. Masoudian S. A, Rayatpishhe F, Keikhosravi Kiany M S. (2014). Introduction and a Comparison among Gridded Precipitation Database of Asfazari with GPCC, GPCP and CMAP. GeoRes. 2014; 29 (1):73-88 <http://georesearch.ir/article-1-417-fa.html>
23. Omidvar K, Turki M. (2012). Identifying patterns of heavy rainfall in Chaharmahal and Bakhtiari province.

- Space Planning and Planning, 16 (4): 135-169.  
<http://hmsp.modares.ac.ir/article-6231-21-fa.html>
24. Pal I, Al-Tabbaa, A. (2009). Trends in seasonal precipitation extremes—An indicator of ‘climate change’ in Kerala, India. *Journal of Hydrology*. 367(1-2): 62-69.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.025>
25. Razmi R, Ashrafi S. (2013) Analysis of changes in heavy and super heavy rainfall in Tabriz, 2nd International Conference on Environmental Hazards, Tehran.  
<https://civilica.com/doc/307373>
26. Santos, C. A. C. (2014). Recent changes in temperature and precipitation extremes in an ecological reserve in Federal District, Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 29(1):13-20.  
<https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000100002>
27. Soro G, Noufé D, Goula T, Shorohou B. (2016). Trend analysis for extreme rainfall at sub-daily and daily timescales in Côte d’Ivoire. *Climate*. 4(3): 37.  
<https://doi.org/10.3390/cli4030037>
28. Sugahara S, Da Rocha R. P, Silveira R. (2009). Non-stationary frequency analysis of extreme daily rainfall in Sao Paulo, Brazil. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*. 29(9); 1339-1349.  
<https://doi.org/10.1002/joc.1760>
29. Sun L, Shen B, Sui B. (2010). A study on water vapor transport and budget of heavy rain in Northeast China. *Advances in Atmospheric Sciences*. 27(6):1399-1414.  
<https://doi.org/10.1007/s00376-010-9087-2>
30. Tomassini L, Jacob D. (2009). Spatial analysis of trends in extreme precipitation events in high-resolution climate model results and observations for Germany. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 114(D12).  
<https://doi.org/10.1029/2008JD010652>
31. Westra, S., Fowler, H. J., Evans, J. P., Alexander, L. V., Berg, P., Johnson, F., ... & Roberts, N. M. (2014). Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, 52(3), 522-555.  
<https://doi.org/10.1002/2014RG00044>
32. Westra S, Evans J. P, Mehrotra R, Sharma A. (2013). A conditional disaggregation algorithm for generating fine time-scale rainfall data in a warmer climate. *Journal of Hydrology*. (479): 86-99.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.033>
33. Zhai P, Zhang X, Wan H, Pan X. (2005). Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *Journal of climate*. 18 (7): 1096-1108.  
<https://doi.org/10.1175/JCLI-3318.1>