


## Analysis of Spatiotemporal Variations and Trends of Precipitation in Yazd Province by Asfezari Database During 1349 to 1394

Mohamad Reza Shirgholami<sup>1</sup>, Seyed Abolfazl Masoodian<sup>2\*</sup> 

1. Ph.D. student of Climatology, University of Isfahan, Iran

2. Corresponding Author, Prof. of Climatology, University of Isfahan, Iran

---

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**

**Received:** 20 November 2021

**Revised:** 13 February 2022

**Accepted:** 14 March 2022

**Keywords:**

Extreme Precipitation, coefficient of variation, Trend, Asfezari database, Yazd province.

### ABSTRACT

Precipitation is one of the most important and variable elements of climate that has a lot of spatiotemporal variability, especially in arid and semi-arid regions. Adequate knowledge of precipitation variations is crucial for agricultural planning and water resource management in any region. For this purpose, in this study, using the daily data of Asfezari precipitation database during the period 1349 to 1394, the characteristics of precipitation and also the precipitation trends in Yazd province were investigated. The average coefficient of variation of the total annual rainfall of the province was 42.2 and varied from 32.9 to 68.4 in different cells. The highest coefficient of variation of precipitation on an annual scale was observed in the central and western regions of the province, which indicates the greater dispersion and risk of precipitation in these regions. The trend of precipitation was examined using nonparametric statistical tests of Mann-Kendall and Sen's slope estimator. The spatiotemporal distribution of the trend of total annual Precipitation and total annual extreme Precipitation was similar and in both cases the general trend of the province was decreasing. The highest share of extreme Precipitation in total annual Precipitation was observed in the central regions of the province (Yazd-Ardakan plain). Therefore, in rainy years, these areas have favorable conditions for severe floods.

---

**Cite this article:** Shirgholami, M., & Masoodian, S. A. (2023). Analysis of Spatiotemporal Variations and Trends of Precipitation in Yazd Province by Asfezari Database During 1349 to 1394. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(35), 95-114. DOI: 10.22111/jneh.2022.40681.1862



© Seyed Abolfazl Masoodian.

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2022.40681.1862

---

\* Corresponding Author Email: [s.a.masoodian@geo.ui.ac.ir](mailto:s.a.masoodian@geo.ui.ac.ir)

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳۵، فروردین ۱۴۰۲

## واکاوی تغییرها و روند مکانی زمانی بارش در استان یزد با استفاده از پایگاه داده

### اسفزاری طی سالهای ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴

محمد رضا شیرغلامی<sup>۱</sup>، سید ابوالفضل مسعودیان<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان  
 ۲. استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول)

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۴</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳</p> <p>واژه‌های کلیدی:                      بارش، ضریب تغییرها، بارش فرین، روند، پایگاه داده اسفزاری، استان یزد.</p>	<p>بارش یکی از مهم‌ترین و متغیرترین عناصر آب‌وهوایی است که تغییرپذیری مکانی - زمانی زیادی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد. آگاهی و دانش کافی از تغییرهای بارش برای برنامه‌ریزی کشاورزی و مدیریت منابع آب در هر منطقه بسیار مهم است. به همین منظور، در این پژوهش با استفاده از داده‌های روزانه پایگاه بارش اسفزاری در بازه زمانی ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴ به بررسی ویژگی‌های بارش و همچنین روند بارش در استان یزد پرداخته شد. میانگین ضریب تغییرهای مجموع بارش سالانه استان، ۴۲/۲ برآورد شد که از ۳۲/۹ تا ۶۸/۴ در یاخته‌های مختلف متغیر بود. بیشترین ضریب تغییرهای بارش در مقیاس سالانه نیز در مناطق مرکزی و غربی استان مشاهده شد که نشان‌دهنده پراکندگی و خطر بیشتر بارش در این مناطق می‌باشد. مقادیر مثبت کشیدگی و چولگی بارش سالانه نیز بیانگر فزونی سال‌های با بارش کمتر از میانگین بود. روند تغییرهای بارش با استفاده از آزمون‌های آماری ناپارامتری من کندال و برآوردگر شیب سن مورد بررسی قرار گرفت. توزیع مکانی - زمانی روند مجموع بارش سالانه و مجموع بارش فرین سالانه مشابه یکدیگر بود و در هر دو مورد روند کلی حاکم بر استان، روند کاهشی بود. بیشترین سهم بارش فرین به مجموع بارش سالانه نیز در مناطق مرکزی استان (دشت یزد-اردکان) مشاهده شد. بنابراین در سال‌های پرباران، این مناطق مستعد سیلاب‌های شدید هستند.</p>

استناد: شیرغلامی، محمد، مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۴۰۲). واکاوی تغییرات و روند مکانی زمانی بارش در استان یزد با استفاده از پایگاه داده اسفزاری طی سال‌های ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۲(۳۵): ۹۵-۱۱۴. DOI: 10.22111/jneh.2022.40681.1862



© محمد رضا شیرغلامی، سید ابوالفضل مسعودیان\*

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

\* این مقاله مستخرج از رساله دکتری آقای محمدرضا شیرغلامی به راهنمایی آقای دکتر سید ابوالفضل مسعودیان می‌باشد که در دانشگاه اصفهان انجام شده است.

## مقدمه

اطلاعات بارندگی در درک تعادل آب‌شناختی در مقیاس جهانی و نیز فهم تعاملات پیچیده بین مولفه‌های کوچک و بزرگ چرخه آب‌شناختی بسیار مهم است. بارش بخش مهمی از چرخه آب است که اقیانوس، خشکی و جو را به هم متصل می‌کند و گرمای نهان همراه با بارش منبع اصلی انرژی جوی است (ادلر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ قجرنیا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). بارندگی در طیف وسیعی از مقیاس‌های مکان-زمان تغییر می‌کند. در تمام این مقیاس‌های زمانی و مکانی، بارش به‌طور ذاتی متغیرتر از سایر متغیرهای آب‌وهوایی رایج مانند دما و فشار است (نیو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۱). تغییرها در مقدار، شدت، فراوانی و نوع بارش (مانند برف در مقابل باران) بر محیط و جامعه تأثیر می‌گذارد. باران‌های مداوم و ملایم به خاک نفوذ می‌کند و برای گیاهان مفید است. در حالی که همین مقدار بارندگی در مدت زمان کوتاه ممکن است باعث جاری‌شدن سیل و رواناب محلی شود (ترنبرث<sup>۴</sup>، ۲۰۱۱).

نگرانی‌های فزاینده در مورد تغییرهای آب‌وهوایی، نیاز به اطلاعات دقیق در مورد توزیع مکان-زمان بارش را افزایش داده است (نیو و همکاران، ۲۰۰۱). به‌طور خاص، انتظار می‌رود پدیده‌های مرتبط با تغییرهای ترکیب جو مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی تأثیر قابل‌توجهی بر آب‌وهوا داشته باشد. پنجمین گزارش ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC<sup>۵</sup>) نشان داد که متوسط دمای سطحی جهان از ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ روند صعودی خطی داشته است. علاوه بر این، آهنگ گرمایش جهانی بین سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۲ تقریباً دو برابر نرخ گرمایش جهانی از سال ۱۸۸۰ بوده است (لیو<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). تغییرهای آب‌وهوایی ناشی از گرمایش جهانی بر فراوانی، شدت و مدت و زمان وقوع بارش در مکان و زمان تأثیر گذاشته است. تحقیقات نشان داده است که بارش در طول قرن بیستم در نقاط مختلف جهان به‌طور قابل‌توجهی تغییر کرده است (بهاتی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۰؛ IPCC، ۲۰۱۳). همچنین نتایج شبیه‌سازی‌های مدل نشان می‌دهد که گرمایش جهانی منجر به افزایش بارش‌های شدید و فرین می‌شود، اگرچه ممکن است تفاوت‌هایی باتوجه به مناطق وجود داشته باشد (فوجیبه<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). برخی تحقیقات نشان داد درحالی‌که مناطق بسیاری در جهان (به‌عنوان مثال، آمریکای شمالی و مرکزی، جنوب اروپا، آسیای شرقی و منطقه مدیترانه) شاهد افزایش تعداد بارش‌های سنگین یا فرین بوده‌اند، مناطق دیگر (به‌عنوان مثال، شمال چین، استرالیا و آلمان شرقی) عکس این را مشاهده کرده‌اند. حتی در مقیاس‌های مکانی کوچک‌تر، ناهمگونی قابل‌توجهی در توزیع بارش شدید و روند آن مشهود بود. این امر به‌دلیل پویایی پیچیده آب‌وهوا و اندرکنش آن با عوامل دیگر، از جمله فعالیت‌های انسانی، تغییر کاربری زمین و شهرنشینی است (سانگ<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۹).

از آنجا که تغییر در الگوی بارش ممکن است منجر به سیل، خشکسالی، ازدست‌دادن تنوع زیستی و بهره‌وری کشاورزی شود، شناخت روند مکانی و زمانی بارش، به‌ویژه بارش‌های فرین برای پژوهشگران حوزه آب و هواشناسی،

1- Adler  
 2- Ghajamia  
 3- New  
 4- Trenberth  
 5- Intergovernmental Panel on Climate Change  
 6- Liu  
 7- Bhatti  
 8- Fujibe  
 9- Song

برنامه‌ریزان منابع آب و مدیران شهری بسیار مهم است (سایم‌الزمان و جا<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴). پژوهشگران بسیاری به بررسی ویژگی‌های عمومی بارش، توزیع مکانی زمانی بارش و به‌ویژه بررسی روند بارش در مناطق مختلف جهان پرداخته‌اند. نتایج مطالعات ژو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۰) در مناطق خشک و نیمه‌خشک چین نشان داد که به‌طور کلی، روند افزایشی شدت بارش در بیشتر ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود. با این وجود، بیشتر ایستگاه‌ها در مناطق نیمه‌خشک با ارتفاع کم، روند غیرمعدار را نشان دادند. شاخص‌های فراوانی نیز به‌طور کلی روند کاهشی روزهای خشک متوالی و روند افزایشی روزهای همراه با بارندگی را در مناطق نیمه‌خشک با ارتفاع زیاد نشان دادند. بنابراین، مناطق خشک و نیمه‌خشک مرطوب‌تر می‌شوند و این بدان معناست که احتمال خشکسالی به‌ویژه در مناطق خشک کاهش می‌یابد. سانگ و همکاران (۲۰۱۹) به‌منظور مطالعه تغییرهای بارش‌های فرین در پکن شش شاخص بارش فرین را تعریف کردند. نتایج نشان داد که تمام شاخص‌های بارندگی شدید، روند کاهشی داشتند. همچنین آن‌ها بیان کردند که تغییرهای بارش فرین احتمالاً ناشی از توسعه شهری و تغییرهای آب‌وهوایی است. یافته‌های دوره<sup>۳</sup> (۲۰۰۵) از بررسی الگوهای بارش جهانی حاکی از این است که مناطق مرطوب، مرطوب‌تر و مناطق خشک، خشک‌تر می‌شوند. علاوه بر این، افزایش بارش در عرض‌های جغرافیایی بالا و کاهش بارندگی در چین، استرالیا و جزایر کوچک در اقیانوس آرام الگوی بارشی حاکم بر جهان است. نیو و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی روند بارش حاصل از ایستگاه‌های باران‌سنجی به این نتیجه رسیدند که بارندگی زمین (بدون احتساب قطب جنوب) در طول قرن بیستم حدود ۹ میلی‌متر افزایش یافته است. همچنین روند بارندگی سالانه در بیشتر مناطق خشکی به استثنای مناطقی مانند نواحی حاره‌ای شمال آفریقا و بخش‌هایی از حوزه آمازون و غرب آمریکای جنوبی مثبت است.

مدرس و سیلوا<sup>۴</sup> (۲۰۰۷) با بررسی بارش ۲۰ ایستگاه هواشناسی واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران نتیجه گرفتند که اکثر ایستگاه‌ها هیچ‌گونه روند منفی و مثبت معناداری را در سراسر منطقه نشان ندادند. همچنین رضیئی و همکاران (۲۰۰۵) با مطالعه روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران نشان دادند که هیچ‌گونه شواهدی مبنی بر تغییر آب‌وهوا در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد. اگرچه بسیاری از ایستگاه‌ها روند منفی را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده کاهش بارندگی است، اما این روند از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبود. مطابق با یافته‌های علیجانی (۱۳۹۰)، بارش‌های شدید خطرآفرین در سراسر کشور حداقل ۴۰ درصد از بارش سالانه را در برمی‌گیرند. همچنین بی‌نظمی در بارش در سال‌های اخیر به جهت تغییر اقلیم تشدید شده است و فراوانی پدیده‌های فرین مانند بارش‌های رگباری و فرین افزایش یافته است.

اما انجام چنین مطالعاتی، مستلزم استفاده از داده‌های بارش با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا می‌باشد. اندازه‌گیری بارش با استفاده از باران‌سنج‌های سطحی از گذشته‌های دور انجام می‌شده است. مزیت اصلی داده‌های مبتنی بر اندازه‌گیری باران‌سنجی، پوشش زمانی آن‌ها است که به دهه‌های اولیه قرن بیستم در اکثر نقاط جهان می‌رسد. اما محدودیت اصلی این داده‌ها پوشش فضایی ضعیف آن‌ها در بسیاری از نقاط جهان به‌ویژه در مناطق اقیانوسی، خشکی‌های واقع در عرض‌های جغرافیایی بالا، مناطق بیابانی، کوهستانی و بخش‌هایی از مناطق حاره‌ای می‌باشد

1- Sayemuzzaman and Jha

2- Xu

3- Dore

4- Silva

(قبرنیا و همکاران، ۲۰۱۵؛ دارند و همکاران ۱۳۹۴). شناخت ویژگی‌های فیزیکی بارش، به‌ویژه با تفکیک مکانی و زمانی دقیق‌تر، مستلزم اندازه‌گیری‌های منظم، مکرر و پایدار است. بنابراین شبکه‌های فعلی دیدبانی‌های سطحی اغلب برای ارزیابی کمی بارش و ویژگی‌های آن کافی نیستند. در مقیاس جهانی، مفیدترین فرآورده‌ها پایگاه داده‌های شبکه‌ای هستند. پایگاه داده‌ها به دو صورت داده‌های مبتنی بر باران‌سنج‌های زمینی و داده‌های مبتنی بر ماهواره و سنجش‌ازدور در دسترس می‌باشند. برای تهیه پایگاه داده‌های مبتنی بر باران‌سنج‌ها، دیدبانی‌های باران‌سنج‌های نقطه‌ای به یک شبکه با تفکیک زمانی - مکانی از پیش تعیین‌شده نگاشته می‌شوند. اما از روش‌ها و رویکردهای گوناگونی جهت نگاشت داده‌های باران‌سنج‌ها بر روی شبکه استفاده می‌شود. نتیجه این رویکردهای مختلف این است که فرآورده‌های نهایی متفاوت از یکدیگر هستند، به‌ویژه در مناطقی که چگالی باران‌سنج‌ها کم است. علاوه بر این، درون‌بایی منجر به برآورد بیشتر در بارش‌های سنگین و برآورد کمتر در بارش‌های کم می‌شود (کید و هافمن<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). مجموعه داده‌های ماهواره‌ای پوشش فضایی کاملی را ارائه می‌دهند، اما از نظر زمانی با محدودیت مواجه هستند و اولین داده‌های سنجش از راه دور مربوط به اوایل دهه ۱۹۷۰ می‌باشد. در دهه‌های اخیر، از ادغام داده‌های باران‌سنجی و داده‌های ماهواره‌ای برای بهینه ساختن این دو پایگاه داده و پیش دقیق‌تر بارش استفاده شده است (نیو و همکاران، ۲۰۰۱).

استان یزد در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی زیاد بارش، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (کوهن<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۲؛ تیلاهون<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶). در این مناطق، بارش‌ها از نظر زمان، مکان، مقدار و مدت زمان بسیار متغیر است. بارندگی مهم‌ترین عامل محیطی است که فعالیت‌های کشاورزی را در این مناطق محدود می‌کند. مدیریت رطوبت خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک نه تنها با بارندگی محدود و غیرقابل اعتماد بلکه با تغییرپذیری بسیار زیاد در الگوی بارندگی مواجه است (تیلاهون، ۲۰۰۶). از آنجا که بخش وسیعی از استان یزد را مناطق کویری و غیرقابل سکونت در بر گرفته و در این مناطق هیچ گونه ایستگاه باران‌سنجی وجود ندارد، استفاده از داده‌های شبکه‌ای در این استان گریزناپذیر است. در این مطالعه از پایگاه داده‌های اسفزاری برای تحلیل وضعیت بارش در استان یزد استفاده شده است. این پایگاه داده، مجموعه‌ای از داده‌های شبکه‌ای چندین عنصر اقلیمی در سراسر ایران زمین است. داده‌های شبکه‌ای بارش این پایگاه داده بر اساس دیدبانی‌های ۲۱۸۸ ایستگاه باران‌سنجی، اقلیم‌شناسی و همدید و با روش میان‌بایی کریگینگ تولید شده است.

## داده‌ها و روش‌ها

### منطقه جغرافیایی مورد مطالعه

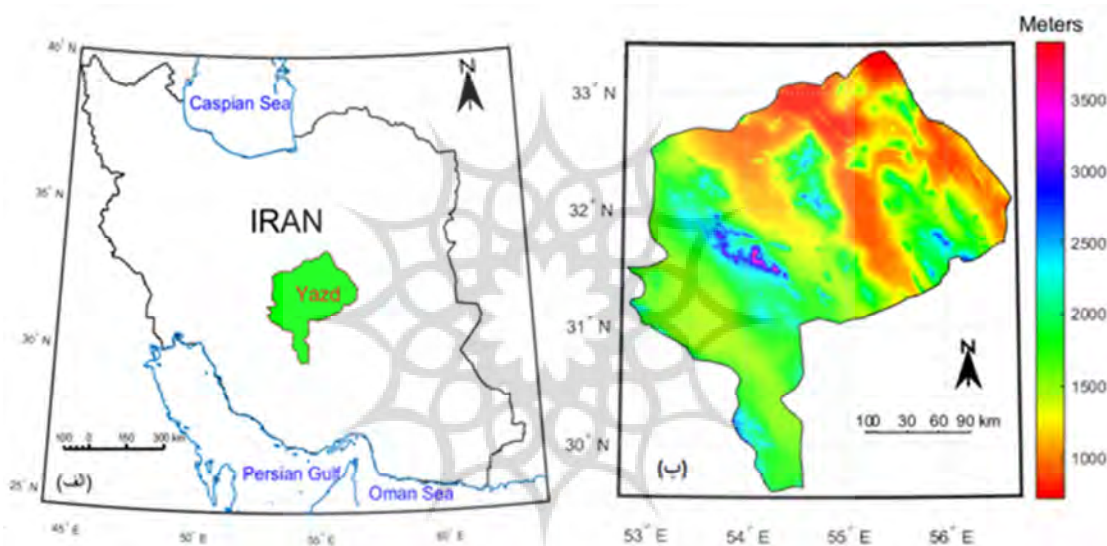
استان یزد با مساحت ۷۳۷۵۶ کیلومتر مربع در قسمت مرکزی فلات ایران واقع شده و ۴/۵ درصد از مساحت ایران را در بر می‌گیرد. این استان با جمعیت ۱۱۳۸۵۳۳ نفر بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و

1- Kidd and Huffman

2- Cohen

3- Tilahun

۳۰ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه طول جغرافیایی شرقی قرار گرفته است (شکل ۱ الف). مساحت اندکی از استان را ارتفاعات و مناطق کوهستانی پوشانده است، به طوری که تنها ۱/۸ درصد از مساحت استان را مناطقی با ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متر و ۱۲/۸ درصد را مناطقی با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر شامل می‌شود (شکل ۱ ب). با این حال، این ارتفاعات نقش حیاتی در منابع آب و تداوم حیات در این منطقه ایفا می‌کنند. استان یزد در حوضه آبریز اصلی (درجه ۱) فلات مرکزی واقع شده است و در محدوده ۵ حوضه آبریز فرعی (درجه ۲) شامل حوضه‌های آبریز گاخونی، کویر ابرقو - سیرجان، کویرهای سیاه‌کوه، ریگ زرین و دق سرخ، کویر لوت و حوضه آبریز کویرهای درانجیر و ساغند قرار گرفته است.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه (الف) و مدل رقومی ارتفاع (ب) استان یزد

### داده‌ها و روش کار

در این پژوهش برای بررسی توزیع مکانی- زمانی بارش و همچنین بررسی روند بارش در استان یزد از پایگاه داده اسفزاری استفاده شده است. این پایگاه داده مشتمل بر نقشه‌های بارش روزانه سراسر ایران زمین است. تقویم این داده‌ها از ۱۳۴۹/۱/۱ تا ۱۳۹۴/۱۲/۲۹ را شامل می‌شود. داده‌های شبکه‌ای بارش این پایگاه داده بر اساس دیدبانی‌های ۲۱۸۸ ایستگاه باران‌سنجی، اقلیمی و همدید تهیه شده است. این شبکه با استفاده از روش درون‌یابی کریگینگ حاصل شده است. در این پایگاه برای هر عنصر اقلیمی، شبکه‌ای با ابعاد  $۱۶۸۰۱ \times ۱۶۲۰۳$  تعریف شده است که در آن سطرها نشانگر یاخته‌های مکانی و ستون‌ها مشخص‌کننده زمان (برحسب روز) است. این پایگاه داده به افتخار اقلیم- شناس برجسته‌ی ایرانی حکیم ابوحاتم مظفر اسفزاری نام‌گذاری شده است (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳).

در این مطالعه، ابتدا برای ارزیابی و راستی‌آزمایی این پایگاه داده از داده‌های شبکه دیدبانی هواشناسی استان یزد استفاده شد و سپس تغییرهای مکانی بارش در طول دوره مطالعه در مقیاس‌های سالانه و فصلی مورد بررسی قرار گرفت. توزیع مکانی - زمانی بارش و سهم بارش هر فصل از مجموع بارش سالانه محاسبه شد. به‌منظور ارزیابی

تغییرهای بارش در سطح استان از شاخص ضریب تغییرات استفاده شد. فصلی بودن بارش را با این سنجه آماری می توان نشان داد. از آنجا که میزان بارندگی بسته به منطقه و فصل بسیار متفاوت است، از ضریب تغییرات برای نشان دادن پراکندگی بارندگی در مناطق مختلف استفاده می شود و به عنوان انحراف معیار (s) تقسیم بر میانگین ( $\bar{x}$ ) و مطابق رابطه (۱) به درصد تعریف می شود.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (1)$$

در مباحث آب و هواشناسی و نیز آب شناختی، از ضریب تغییرات برای توصیف بارندگی استفاده شده است و می توان از آن برای مقایسه تغییرهای بارندگی در دو یا چند منطقه مختلف استفاده کرد. ضریب تغییرات بزرگ تر نشان دهنده پراکندگی بیشتر است، در حالی که ضریب تغییرات کوچک تر نشان دهنده خطر کمتر است (تانجی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰، لیوادا و آسیماکوپولوس<sup>۲</sup>، ۲۰۰۵). در ادامه توزیع مکانی - زمانی روند مجموع بارش سالانه و مجموع بارش فرین سالانه و نیز روند تعداد روزهای بارانی نمایش داده شد. همچنین سهم بارش فرین هر یاخته از مجموع بارش سالانه به عنوان شاخصی از بارش های خطر آفرین به تصویر کشیده شد.

### آزمون من کندال

برای بررسی و مطالعه روند بارش از آزمون من کندال استفاده شد. آزمون من کندال یک آزمون ناپارامتری است که نیازی به توزیع نرمال داده ها ندارد. مزیت دیگر این آزمون حساسیت کم آن به وقفه های ناگهانی به دلیل سری های زمانی ناهمگن است (آهنی و همکاران، ۲۰۱۲: ۶). در این آزمون فرض صفر ( $H_0$ ) بیانگر نبود روند و فرض مقابل ( $H_1$ ) نشان دهنده وجود روند است.

آماره من - کندال از فرمول زیر محاسبه می شود

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

که  $\text{sgn}$  در فرمول بالا تابع علامت است. میانگین آماره s برابر صفر و واریانس آن از فرمول زیر به دست می آید

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18} \quad (3)$$

که m تعداد گروه های گره هستند و  $t_k$  تعداد اعضای گروه k ام است. برای  $n$  بزرگتر از ۱۰، آماره  $Z(S)$  که به صورت زیر تعریف می شود دارای توزیع نرمال استاندارد است.

$$Z(S) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

و بنابراین زمانی روند معنی دار است یا به عبارت دیگر فرض صفر در سطح اطمینان  $1-\alpha$  رد می شود که

$$|Z(S)| > Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad \text{یا} \quad p\_value \leq \alpha \quad (5)$$

1- Thangjai

2- Livada and Asimakopoulos

که  $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ ، از جدول نرمال استاندارد تعیین می‌شود. در این پژوهش از سطح معناداری  $\alpha=0/05$  استفاده شد. بنابراین باتوجه به اینکه  $Z$  یک آزمون دو سویه است، زمانی که  $|Z| \leq 1/96$  باشد فرض صفر پذیرفته می‌شود.

### برآوردگر شیب سن

برای تعیین مقدار شیب از روش ناپارامتری برآوردگر شیب سن استفاده می‌شود. ابتدا شیب  $N$  جفت از داده‌های مشاهداتی با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود (پارتال و کاهیا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶: ۲۰۱۶)

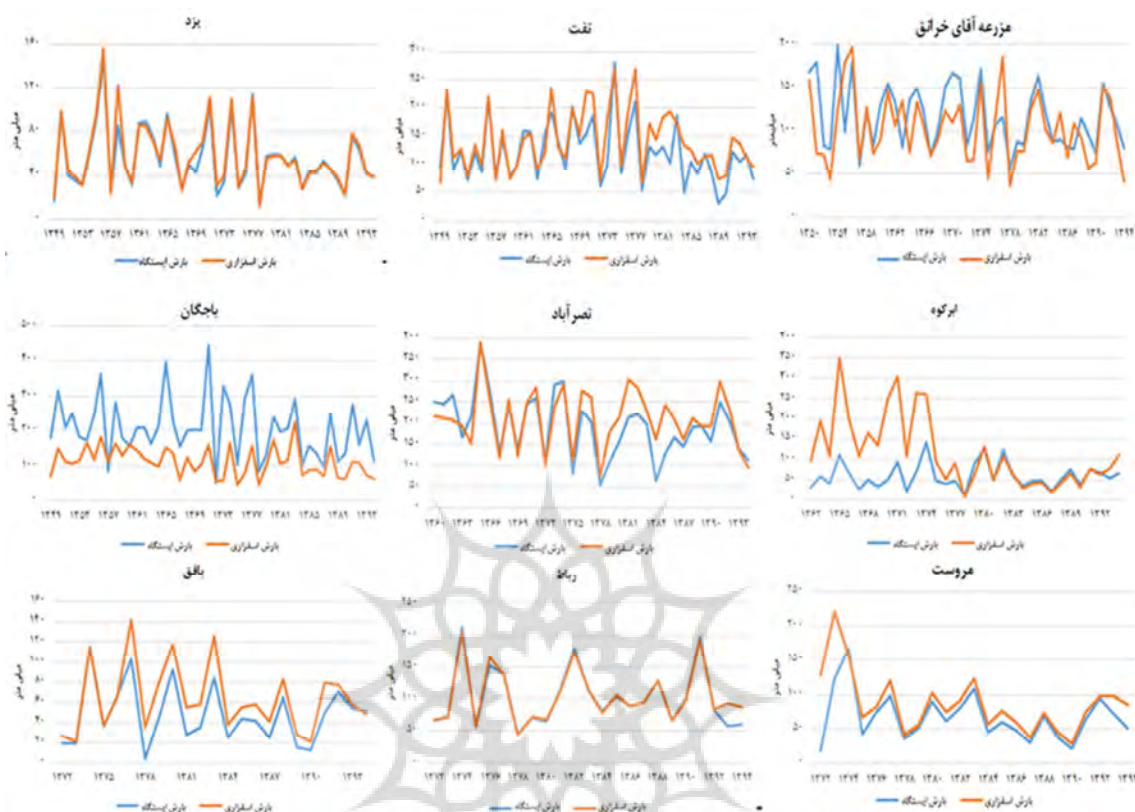
$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad j > k \quad \text{for } i = 1, \dots, n \quad (6)$$

که در این معادله  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب مقادیر داده‌ها در زمان‌های  $j$  و  $k$  است. بنابراین اگر  $n$  تعداد مشاهده در سری زمانی وجود داشته باشد،  $N = \frac{n(n-1)}{2}$  شیب خواهیم داشت و میانه این شیب‌ها، همان شیب سن خواهد بود. مقادیر مثبت شیب سن، نشان‌دهنده صعودی بودن روند و مقادیر منفی حاکی از نزول بودن روند می‌باشد.

### نتایج و بحث

نخست برای راستی‌آزمایی داده‌های پایگاه اسفزاری، ۹ ایستگاه هواشناسی (همدید، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی) انتخاب و نزدیک‌ترین یاخته متناظر با موقعیت این ایستگاه‌ها در یاخته‌های اسفزاری پیدا و سری زمانی بارش این یاخته با سری زمانی بارش ایستگاه متناظر مقایسه شد (شکل ۲). این ایستگاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که عمده پهنه استان را پوشش داده و تا حد ممکن دارای بالاترین دوره آماری باشند. برای بررسی همبستگی داده‌های اسفزاری با داده‌های ایستگاهی، دو سنجه ضریب تعیین و مجذور میانگین مربع خطا با استفاده از مدل رگرسیون خطی محاسبه شد. مقادیر این دو آماره همراه با مختصات ایستگاه‌ها در جدول شماره (۱) نمایش داده شده است. نتایج گویای این است که در بیشتر ایستگاه‌ها همبستگی بالایی بین داده‌های ایستگاهی و داده‌های پایگاه اسفزاری وجود دارد و در مجموع ضریب تعیین در ایستگاه‌های مختلف بین ۰/۵۴ تا ۰/۹۸ متغیر بود. ایستگاه‌های ابرکوه، باجگان، مزرعه آقای خرائق و مروست نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارای ضریب تعیین کمتری بودند. برای مشخص شدن دلیل این موضوع به فراداده این ایستگاه‌ها و همچنین نظر کارشناس آمار اداره کل هواشناسی یزد مراجعه شد. بررسی‌ها نشان داد که ایستگاه ابرکوه تا سال ۱۳۷۶ به صورت ایستگاه باران‌سنجی فعالیت می‌کرده است. اما در این سال همزمان با تغییر مکان ایستگاه، نوع آن نیز به ایستگاه اقلیم‌شناسی و در سال ۱۳۸۱ به ایستگاه همدید تبدیل شد. در سال ۱۳۷۶ باتوجه به اینکه مقادیر بارش اندازه‌گیری شده در ایستگاه قبلی در مقایسه با ایستگاه جدید بالاتر بود، در مرکز آمار هواشناسی استان اقدام به بازسازی داده‌های پیش از سال ۱۳۷۶ با بهره‌گیری از داده‌های ایستگاه‌های مجاور شد؛ اما این موضوع در بانک آمار سازمان هواشناسی لحاظ نشده است. درمورد ایستگاه‌های باجگان، مزرعه آقای خرائق و مروست نیز در سال ۱۳۷۶ باتوجه به ضعف عملکرد متصدیان آن‌ها، متصدیان جدیدی برای آن‌ها انتخاب شد که منجر به اندازه‌گیری و قرائت دقیق‌تر مقادیر بارش در این ایستگاه‌ها شد. در نمودارهای زیر نیز تفاوت داده‌های بارش این ۴ ایستگاه از سال ۱۳۷۶ به بعد مشهود می‌باشد.





شکل ۲: مقایسه بین داده‌های بارش ایستگاهی و پایگاه داده بارش اسفزاری

جدول ۱: نتایج همبستگی داده‌های بارش پایگاه اسفزاری و داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی

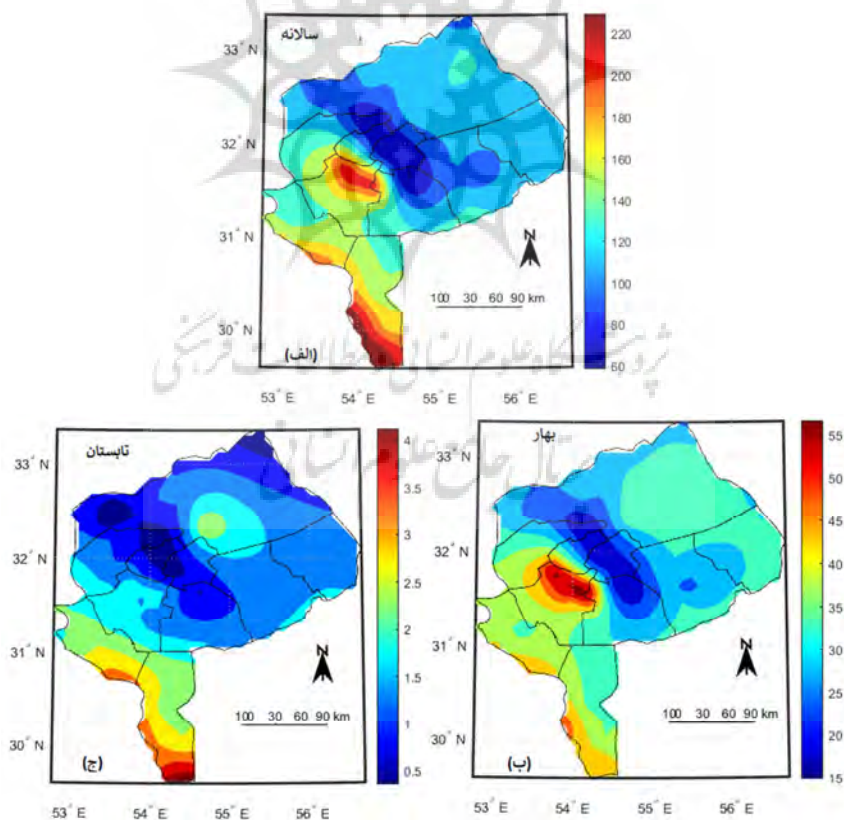
نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	$R^2$	RMSE
ابرکوه	۳۱/۱۲۰۱	۵۳/۲۲۶۶۶	۰/۵۴	۹۲/۷
باجگان	۳۱/۴۵۹۲	۵۵/۸۸۲۷	۰/۶۱	۱۱۸
بافقی	۳۱/۶۲۸۵	۵۵/۴۲۱۱	۰/۹۲	۲۰/۴
تفت	۳۱/۷۵۱۳	۵۴/۱۶۱۳	۰/۸۷	۳۳/۷
رباط پشت بادام	۳۳/۰۱۱۴	۵۵/۵۵۸۲	۰/۹۸	۱۰/۱
مروست	۳۰/۴۶۳۴	۵۴/۲۱۳	۰/۷۶	۳۳/۹
مزرعه آقا خرائق	۳۲/۳۹۷۶	۵۳/۴۸۸۶	۰/۶۳	۳۵/۵
نصرآباد	۳۱/۷۵۷۷	۵۳/۸۵۳۵	۰/۸۲	۴۵/۸۴
یزد	۳۱/۹۰۳۹	۵۴/۲۸۹۴	۰/۹۸	۷/۲

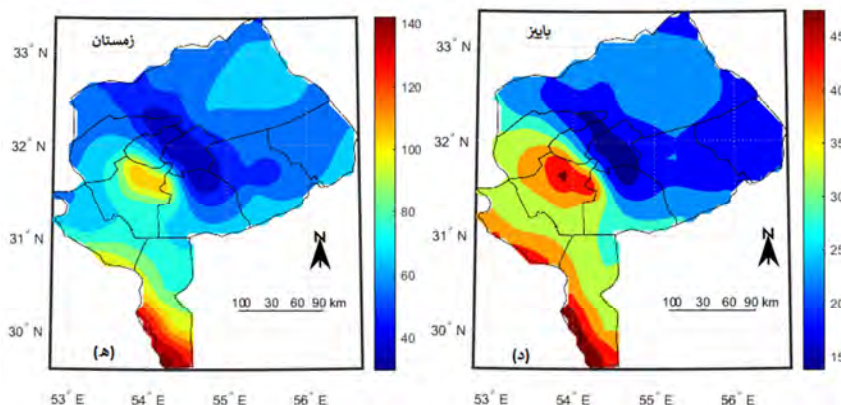
### ویژگی‌های بارش

#### توزیع مکانی بارش سالانه

در شکل ۳ الگوی توزیع مکانی بارش سالانه و فصلی استان یزد از سال ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴ نمایش داده شده است. میانگین بارش استان طبق پایگاه داده بارش اسفزاری ۱۲۲/۲ میلی‌متر برآورد می‌شود. بیشینه میانگین بارش سالانه

استان ۲۳۹/۳ میلی‌متر مربوط به جنوب استان و کمینه میانگین بارش سالانه استان، ۵۷/۲ میلی‌متر مربوط به قسمت‌های مرکزی استان است. همان‌گونه که از شکل مشخص است بیشترین بارش استان مربوط به فصل زمستان و کمترین آن مربوط به فصل تابستان است. در فصل تابستان به دلیل حاکمیت پراارتفاع جنب‌حاره بر روی ایران، بارش در مناطق مرکزی ایران بسیار ناچیز است و عمده بارش استان در فصل زمستان و به دلیل عقب‌نشینی پراارتفاع جنب‌حاره، رخ می‌دهد (رضیئی و همکاران، ۲۰۰۵). میانگین بارش استان در طول دوره مطالعه، در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۳۱/۵، ۱/۵، ۲۵/۶ و ۶۳/۷ میلی‌متر محاسبه شد که به ترتیب معادل ۲۶/۲، ۱/۲، ۲۰/۷ و ۵۱/۹ درصد از مجموع بارش سالانه می‌باشد. سهم بارش بهار در یاخته‌های مختلف از ۱۷/۹ تا ۲۹/۳ درصد، بارش تابستان از ۰/۲ تا ۲ درصد، بارش پاییز از ۱۷/۲ تا ۲۶/۲ درصد و سهم بارش زمستان از ۴۴/۲ تا ۶۰/۳ درصد کل بارش سالانه متغیر است. الگوی توزیع بارش در فصول پاییز و زمستان تا حد زیادی مشابه الگوی مجموع بارش سالانه است. بدین معنی که کانون بارش‌ها به ترتیب بر مناطق جنوبی استان و ارتفاعات شیرکوه متمرکز است. اما در فصل بهار کانون بارش در ارتفاعات شیرکوه قرار دارد.

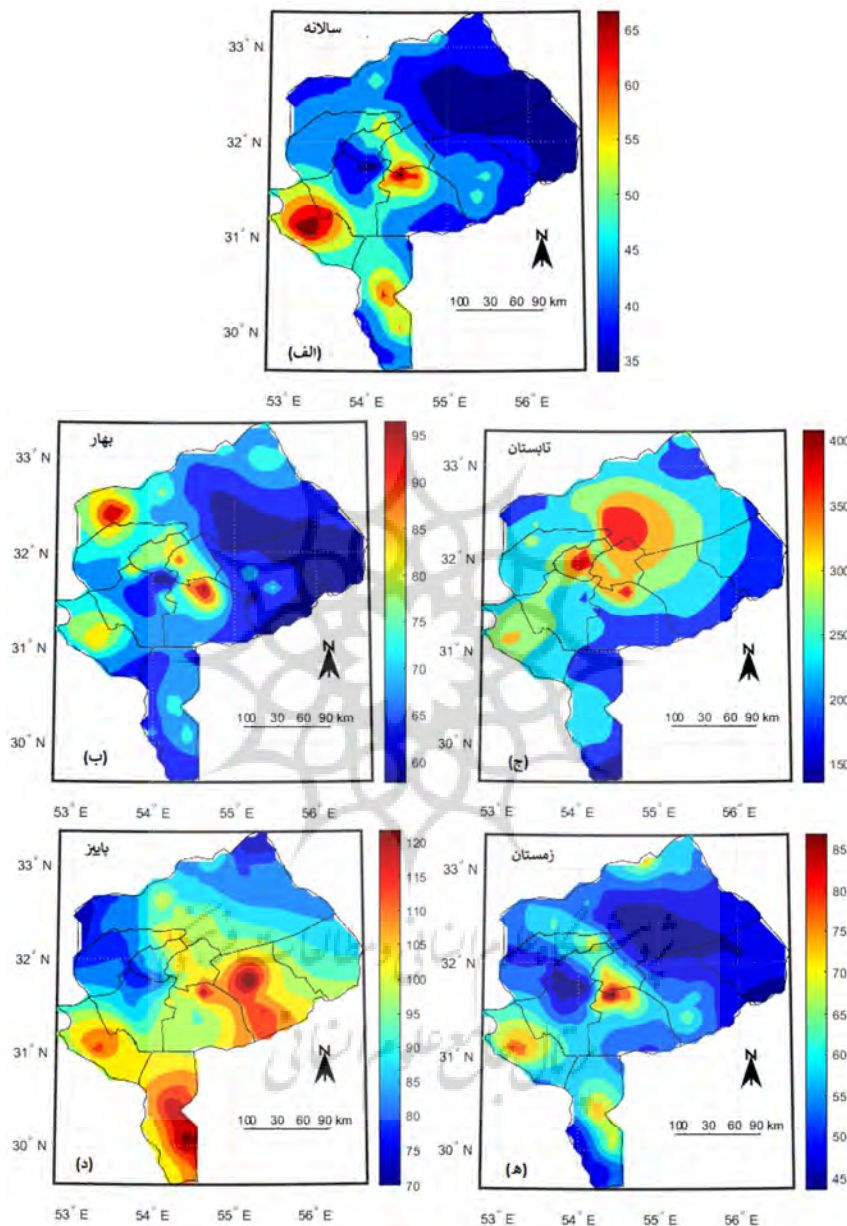




شکل ۳: توزیع مکانی میانگین بلندمدت مجموع بارش سالانه (الف) و فصلی استان یزد، بهار (ب)، تابستان (ج)، پاییز (د) و زمستان (ه)

از سال ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴

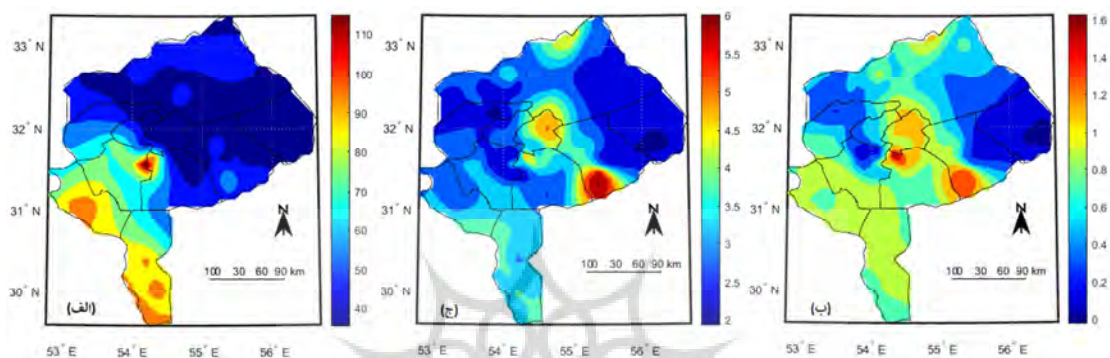
به منظور بررسی تغییرهای بارش، توجه ویژه‌ای به ضریب تغییرهای بارش، به عنوان نسبت انحراف معیار به میانگین، در کل دوره آماری و فصول مختلف شد. این شاخص نمودی از یکنواختی و نایکنواختی بارش در هر منطقه می‌باشد. ضریب تغییرهای (CV) بارندگی در مقیاس‌های سالانه و فصلی در شکل ۴ نمایش داده شده است. میانگین ضریب تغییرهای مجموع بارش سالانه، ۴۲/۲ برآورد شد که از ۳۲/۹ تا ۶۸/۴ در یاخته‌های مختلف متغیر بود. در مقیاس سالانه بیشترین ضریب تغییرها مربوط به مناطق مرکزی و دشت ابرکوه بود و با حرکت از مرکز در تمام جهات به استثنای غرب از مقدار آن کاسته می‌شد. با افزایش مقدار بارش، از تغییرهای مکانی آن کاسته شده و در نتیجه یکنواختی بارش افزایش می‌یابد. عدد ۴۰ یک شاخص تعیین‌کننده برای این ضریب تعریف شده است (عساکره و رزمی قلندری، ۱۳۹۳). مناطقی با  $CV < 40$  دارای بارش منظم و توزیع نسبتاً یکنواخت هستند. در حالی که  $CV > 40$ ، نشان‌دهنده رخداد بارش نامنظم است. در ۵۵ درصد از پهنه استان ضریب تغییرها بزرگ‌تر از ۴۰ می‌باشد که بیانگر تمرکز بارش‌ها در یک بازه زمانی کوتاه و به عبارتی حاکمیت ویژگی‌های نواحی خشک است (وخشوری، ۱۳۹۱). در مقیاس فصلی هم بیشترین ضریب تغییرها در فصل تابستان و کمترین آن در فصل زمستان مشاهده شد. میانگین ضریب تغییرها در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۶۷/۲، ۲۳۸، ۹۴/۹ و ۵۳/۸ به دست آمد.



شکل ۴: ضریب تغییرها برای مجموع بارش سالانه (الف) و فصول مختلف در بازه زمانی ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴، بهار (ب)، تابستان (ج)، پاییز (د) و زمستان (ه)

امروزه در مطالعات تغییر اقلیم، بر خلاف گذشته که ویژگی‌های بارش تنها با میانگین بررسی می‌شد، از فراسنج‌های توزیع دیگری مانند انحراف معیار، چولگی و کشیدگی نیز برای شناخت رفتار بارش استفاده می‌شود (مسعویان و همکاران، ۱۳۹۳: ۱). سنج انحراف معیار نشان‌دهنده پراکندگی داده‌ها از مقدار میانگین می‌باشد. همان‌گونه که از شکل ۵ (الف) دیده می‌شود ارتفاعات شیرکوه و مناطق جنوبی استان به سبب دارا بودن بیشترین مقادیر مجموع

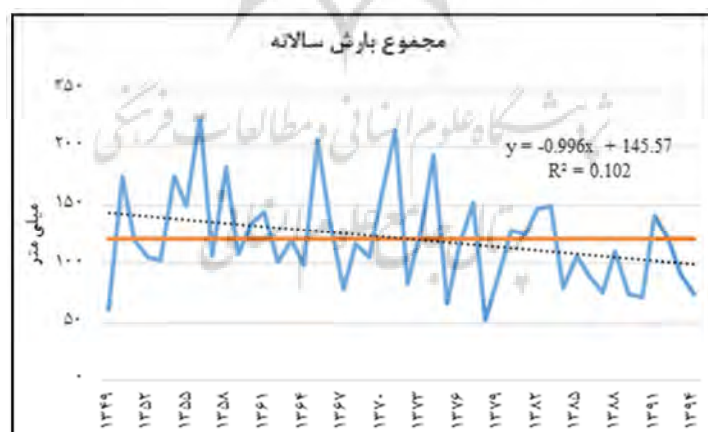
بارش سالانه، بالاترین مقادیر انحراف معیار را نیز ثبت کرده‌اند. مقایسه مثبت کشیدگی و چولگی بارش سالانه نشان می‌دهد که تعداد داده‌های کمتر از میانگین، بیشتر از تعداد داده‌های بالاتر از میانگین است یا به عبارت دیگر، بیانگر فراوانی بیشتر سال‌های با بارش کمتر از میانگین است. بنابراین از شکل‌های ۵ (ب) و ۵ (ج) کاملاً مشخص است که در مناطق کویری واقع در مرکز و جنوب شرق استان سال‌های با بارش کمتر از میانگین، فراوانی بیشتری دارند.



شکل ۵: فراسنج‌های توزیع بارش سالانه استان انحراف معیار (الف)، چولگی (ب) و کشیدگی (ج) طی دوره آماری ۱۳۴۹-۱۳۹۴

### توزیع زمانی بارش استان

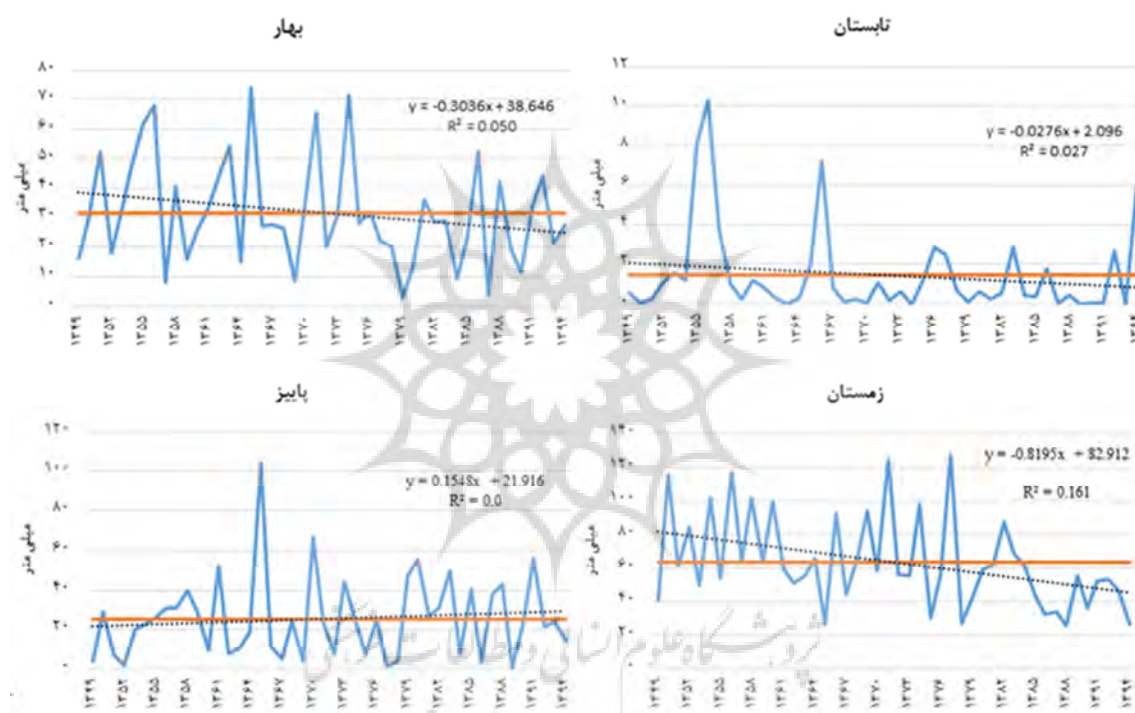
در شکل‌های ۶ و ۷ توزیع زمانی بارش در مقیاس سالانه و فصلی به نمایش در آمده است. خط میانگین و معادله خط روند نیز نمایش داده شده است. ۵۸/۷ درصد از سال‌ها، بارش کمتر از نرمال را دارا بودند.



شکل ۶: مجموع بارش سالانه استان در بازه زمانی ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴

میانگین مجموع بارش سالانه در سال‌های مختلف، بسیار متغیر بود. سال ۱۳۷۸ با مجموع بارش ۵۱/۹ میلی‌متر، خشک‌ترین سال بود که به میزان ۵۷/۵ درصد از میانگین بلندمدت کمتر بود. پربارش‌ترین سال نیز سال ۱۳۵۶ با مجموع بارش ۲۲۶/۱ میلی‌متر بود که ۱۵۸/۱ درصد میانگین بلندمدت بود. تحلیل روند در دوره مورد مطالعه نشان داد که روند بارش با کاهشی در حدود ۱ میلی‌متر در سال منفی است. در طول دهه پایانی دوره مطالعه، یک دوره

خشک بر استان حاکم بود به طوری که به جز سال ۱۳۹۱ در تمام سالها میانگین بارش استان کمتر از میانگین بلندمدت بود. اما مطالعه در مقیاس فصلی نشان داد که فصل زمستان از این حیث بدترین شرایط را در یک دهه پایانی پشت سر گذاشته است. به طوری که در تمام سالهای این دهه مجموع بارش فصل زمستان کمتر از میانگین بلندمدت این فصل بوده است. همچنین آهنگ تغییرهای بارش به استثنای فصل پاییز در سایر فصول کاهش بود که بیشترین مقدار آن در فصل زمستان با  $0/8$  میلی‌متر کاهش در سال مشاهده شد.



شکل ۷: مجموع بارش فصلی استان در بازه زمانی ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴

خلاصه‌ای از ویژگی‌های آماری بارش‌های فصلی در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. باتوجه به این جدول می‌توان نتیجه گرفت که رژیم بارش استان یزد زمستانه است، به طوری که بیشترین مقادیر بارش (هم مقادیر بیشینه و هم مقادیر کمینه) در این فصل مشاهده شد. همچنین مقایسه فراسنج‌های چولگی، کشیدگی، انحراف معیار و ضریب تغییرها بیانگر این است که اعتمادپذیرترین بارش‌ها در فصل زمستان و تصادفی‌ترین بارش‌ها در فصل تابستان رخ داده است.

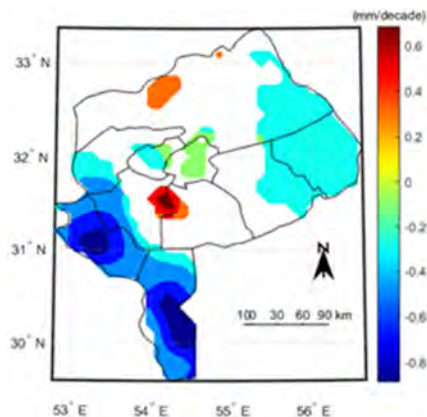
جدول ۲: ویژگی‌های آماری میانگین بلندمدت مجموع بارش‌های سالانه و فصلی استان طی دوره ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴

سنجه‌های آماری	فصل			
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
میانگین (میلی‌متر)	۳۱/۵	۱/۵	۲۵/۶	۶۳/۷
بیشینه (میلی‌متر)	۷۳/۹ (۱۳۶۵)	۱۰/۲ (۱۳۵۶)	۱۰۳/۷ (۱۳۶۵)	۱۲۷/۴ (۱۳۷۷)
کمینه (میلی‌متر)	۳/۱ (۱۳۷۹)	۰	۰/۶ (۱۳۸۹)	۲۶/۲ (۱۳۸۸)
دامنه (میلی‌متر)	۷۰/۸	۱۰/۲	۱۰۳/۱	۱۰۱/۲
انحراف معیار (میلی‌متر)	۶/۹	۰/۷	۸/۳	۱۹/۱
ضریب تغییرها	۶۷/۲	۲۳۸	۹۴/۹	۵۳/۸
چولگی	۰/۵۴	۰/۹۸	۰/۷۹	۱/۵۷
کشیدگی	۴/۳۱	۴/۲۴	۲/۵۶	۶/۳۹

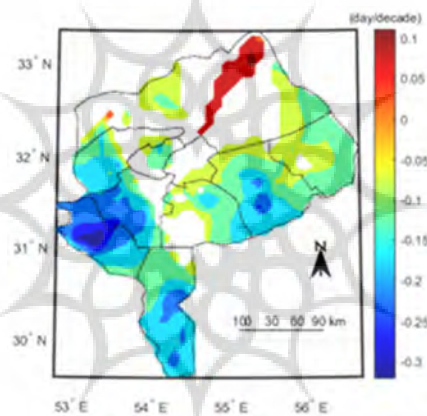
### بررسی روند بارش استان

#### روند مجموع بارش سالانه و روند تعداد روزهای بارشی

بررسی توزیع مکانی روند مجموع بارش سالانه استان در بازه زمانی ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴ نشان داد که ۱۶/۱ درصد از مساحت استان دارای روند افزایشی و ۸۳/۹ درصد آن دارای روند کاهشی بود. بنابراین روند غالب مجموع بارش سالانه استان، روند کاهشی است. عساکره و همکاران (۱۴۰۰) یکی از دلایل احتمالی روند کاهشی بارش در ایران را تغییر مسیر چرخندهای مدیترانه‌ای، به‌عنوان عامل اصلی باران‌زایی در ایران، به سمت عرض‌های شمالی و در نتیجه کاهش آب بارش‌پذیر در ایران می‌دانند. شکل ۸ نشان می‌دهد که ۵۱/۴ درصد از یاخته‌های استان دارای روند معنی-دار آماری بودند که ۳/۷ درصد یاخته‌ها دارای روند صعودی معنی‌دار و ۴۷/۷ درصد از آن‌ها دارای روند نزولی معنی-دار بودند. بالاترین روند افزایشی مربوط به ارتفاعات شیرکوه و به میزان ۰/۸ میلی‌متر بر دهه و کمترین آن نیز مربوط به مناطق غربی و جنوبی استان و به میزان ۱- میلی‌متر بر دهه بود. همچنین باتوجه به اینکه تعداد روزهای بارندگی در استان محدود است، بررسی چگونگی تغییرهای آن در بلند مدت حائز اهمیت است. روز بارشی در هر یاخته روزی محسوب می‌شود که بارش در آن روز بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۱ میلی‌متر باشد. مطالعه روند تعداد روزهای بارندگی هر یاخته نشان داد که در ۸۵/۳ درصد یاخته‌ها روند کاهشی و در ۱۴/۷ درصد از یاخته‌ها روند افزایشی وجود دارد. آهنگ تغییرهای تعداد روزهای بارشی نیز از ۰/۱ تا ۰/۳- روز بر دهه متغیر بود. همان‌گونه که در شکل ۹ دیده می‌شود، ۷۰/۱ درصد پهنه استان در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند معنی‌دار آماری داشتند. که تنها ۳/۸ درصد از مساحت استان روند مثبت معنی‌دار و ۶۶/۳ درصد روند منفی معنی‌دار را ثبت کردند.



شکل ۸: توزیع مکانی روند مجموع بارش سالانه در یاخته‌های دارای روند معنی‌دار



شکل ۹: توزیع مکانی روند مجموع تعداد روزهای بارانی سالانه در یاخته‌های دارای روند معنی‌دار

### روند مجموع بارش فرین سالانه

از آنجا که رویدادهای فرین پتانسیل بزرگی برای وارد آوردن خسارت‌های قابل ملاحظه به بخش‌های کشاورزی، محیط زیست و زیرساخت‌ها و همچنین مختل کردن فعالیت‌های اقتصادی و از دست دادن جان انسان‌ها دارند، مطالعه ویژگی‌ها و هرگونه تغییر یا روند آن‌ها در چند دهه اخیر توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است (ژان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷؛ بائو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۷؛ کیم<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۹، لو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). برای بارش‌های فرین دو شاخص آستانه بارش‌های فرین و سهم بارش‌های فرین از بارش سالانه تعریف شده است (علیجانی، ۱۳۹۰). آستانه بارش فرین می‌تواند به صورت مطلق یعنی یک عدد ثابت و یا به صورت نسبی مثل صدک‌ها تعریف شود. در این پژوهش از صدک ۹۵ برای شناسایی بارش‌های فرین هر یاخته استفاده شد. اگر چه تعداد روزهای بارش فرین نسبت به تعداد روزهای بارانی استان کم است، اما سهم این بارش‌های فرین از مجموع بارش سالانه از اهمیت بسیار

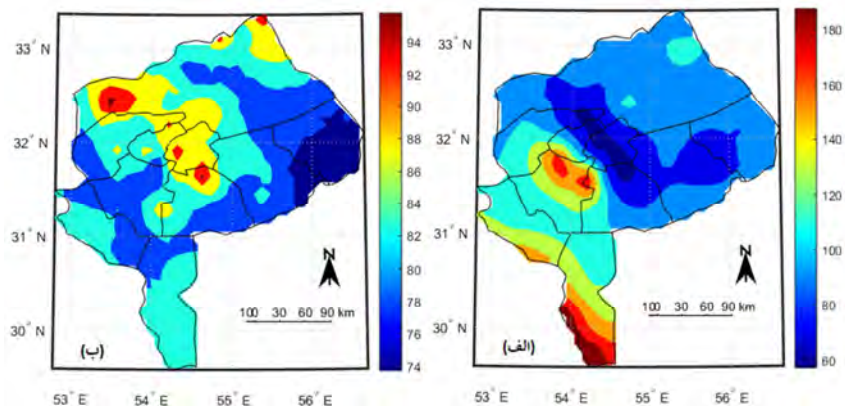
1 Zhan  
2 Bao  
3 Kim  
4 Lu



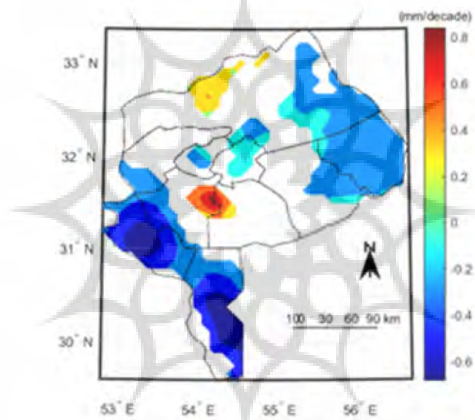
زیادی برخوردار است. پژوهش‌های علیجانی و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که افزایش بارش سالانه ایران ناشی از رخداد بارش‌های فرین است. بنابراین، سهم بارش‌های فرین به‌عنوان یک شاخص مهم محاسبه و روند تغییرهای آن در بلند مدت مورد بررسی قرار گرفت. این شاخص، سنجه مفیدی برای بررسی شدت و ضعف بارندگی به شمار می‌رود و می‌تواند نقش مؤثری در مدیریت بحران، برنامه‌ریزی‌های عمرانی و شناسایی مخاطرات ایفا کند (مفاخری و همکاران، ۱۳۹۶؛ علیجانی، ۱۳۹۰). برای محاسبه سهم بارش‌های فرین، میانگین مجموع سالانه بارش‌های فرین هر یاخته (مجموع بارش‌های برابر یا بیشتر از بارش صدک ۹۵) محاسبه و بر میانگین بلند مدت مجموع بارش سالانه آن یاخته تقسیم شد.

در شکل ۱۰ (الف) میانگین بلند مدت مجموع بارش‌های فرین سالانه نمایش داده شده است. میانگین بلند مدت مجموع بارش‌های فرین سالانه استان ۹۸/۹ میلی‌متر است. الگوی بارش‌های فرین کاملاً منطبق بر الگوی بارش سالانه (شکل ۳) است. به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار بارش‌های فرین سالانه در مناطق جنوبی استان به میزان ۱۹۵/۴ میلی‌متر و کمترین آن در مناطق مرکزی به میزان ۵۴/۴ میلی‌متر به ثبت رسیده است. شکل ۱۰ (ب) نشان‌دهنده سهم بارش‌های فرین از مجموع بارش سالانه است و مقدار آن در یاخته‌های مختلف بین ۷۲/۵ تا ۹۶/۶ درصد متغیر است. بیشترین سهم بارش فرین به مجموع بارش سالانه در مناطقی مشاهده شد که کمترین بارش سالانه در آن مناطق (دشت یزد- اردکان) نازل می‌شود. بنابراین این مناطق در سال‌های پرباران مستعد سیلاب‌های شدید است. این مناطق به سبب حاکمیت اقلیم خشک، دارای زیست‌بوم بسیار حساس و شکننده بوده و بارش‌های رگباری شدید و ناگهانی می‌تواند منجر به خسارت‌های مالی و جانی شود (علیجانی، ۱۳۹۰). آمار اداره کل مدیریت بحران استان یزد نیز حاکی از این است که در سال‌های اخیر اکثر رخداد‌های سیل استان به‌ویژه سیلاب‌های منجر به تلفات انسانی از این مناطق گزارش شده است. به‌گونه‌ای که در سال ۱۳۹۸ دو نفر فوتی از شهرستان میبد، سال ۱۳۹۹ دو مورد فوتی از شهرستان اردکان و در سال ۱۴۰۰ مجدداً ۴ نفر فوتی از شهرستان اردکان (جاده اردکان- چوپانان) به ثبت رسیده است. تمامی این رویداد‌های سیل در فصل بهار یعنی ماه‌های فروردین و اردیبهشت رخ داده است که ناشی از بارش‌های رگباری و فرین بوده است.

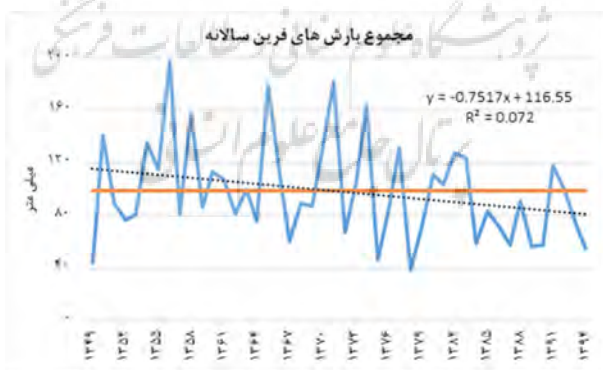
توزیع مکانی یاخته‌های دارای روند معنی‌دار مجموع بارش فرین سالانه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. بررسی روند مجموع بارش فرین سالانه نشان داد که ۷۹ درصد از مساحت استان دارای روند نزولی و ۲۱ درصد آن دارای روند صعودی بود. ارتفاعات شیرکوه با آهنگ تغییرات ۰/۹ میلی‌متر بر دهه بالاترین روند افزایشی و مناطق غربی و جنوبی استان با آهنگ تغییرات ۰/۸- میلی‌متر بر دهه بزرگترین روند کاهشی را شاهد بودند. همان‌گونه که از شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، ۴۹ درصد از یاخته‌ها روند معنی‌دار آماری و ۵۱ درصد یاخته‌ها روند غیر معنی‌دار را ثبت کردند. در ۵/۲ درصد از مساحت استان روند مثبت معنی‌دار و در ۴۳/۸ درصد روند منفی معنی‌دار دیده شد. بنابراین به مانند روند مجموع بارش سالانه (شکل ۸)، روند کلی حاکم بر بارش‌های فرین استان هم روند کاهشی بود.



شکل ۱۰: میانگین بلندمدت مجموع سالانه بارش‌های فرین (الف) و سهم بارش فرین هر یاخته از مجموع بارش سالانه به درصد (ب)



شکل ۱۱: توزیع مکانی روند مجموع بارش فرین سالانه در یاخته‌های دارای روند معنی‌دار



شکل ۱۲: مجموع بارش‌های فرین سالانه استان یزد در بازه زمانی ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴

در شکل ۱۲ مجموع بارش‌های فرین سالانه استان نمایش داده شده است. خط میانگین و معادله خط روند نیز نمایش داده شده است. کمترین و بیشترین بارش فرین سالانه در سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۵۶ و به ترتیب به میزان ۳۹/۵ و ۱۹۷/۳ میلی‌متر اتفاق افتاده است. مشاهده می‌شود که در ۶۳ درصد از سال‌ها (۲۵ سال) مجموع بارش‌های فرین از مقدار میانگین کوچک‌تر است. روند کلی حاکم بر بارش‌های استان، روند نزولی و با کاهشی در حدود ۰/۸ میلی‌متر

بر دهه است. به‌ویژه طی ۱۰ سال گذشته که در تمام سال‌ها به استثنای سال ۱۳۹۱، مقادیر بارش کمتر از مقدار میانگین بود.

عمده مطالعات قبلی در مورد بررسی ویژگی‌های بارش و تغییرهای آن در استان یزد، با استفاده از داده‌های ایستگاهی انجام پذیرفته است. با این وجود یافته‌های این پژوهش توسط مطالعات قبلی تایید می‌شود. یافته‌های مفاخری و همکاران (۱۳۹۶) گویای آن بود که ایستگاه یزد دارای بارش با تراکم نامنظم است و به سبب بارش‌های کم و پراکنده، بارش دارای تغییرهای زمانی و مکانی زیادی است. محمدی و طالبی (۱۳۹۹) از تحلیل بیشینه بارش‌های ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های استان یزد نتیجه گرفتند که زیادبودن ضریب تغییرها در ایستگاه‌های موردنظر، نشان‌دهنده نوسانات بارش در این ایستگاه‌ها است. مدرس و داسیلوا (۲۰۰۷) نشان دادند که سری‌های زمانی بارش ماهانه ایستگاه یزد به استثنای ماه آوریل در هیچکدام از ماه‌های دیگر سال، روند معنی‌داری را ثبت نکردند.

### نتیجه‌گیری

بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله استان یزد از نظر زمان، مکان، مقدار و مدت زمان بسیار متغیر است و تغییر در الگوی بارندگی می‌تواند فعالیت‌های زیستی، کشاورزی، چرخه آب‌شناسی و پوشش گیاهی منطقه را متأثر سازد. بنابراین شناخت ویژگی‌های بارش و رفتار آن در بلندمدت بسیار ضروری می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از پایگاه داده بارش اسفزاری، ویژگی‌های بارش استان یزد و آهنگ تغییرهای آن طی دوره آماری ۱۳۴۹-۱۳۹۴ بررسی و تحلیل شد. میانگین مجموع بارش سالانه استان ۱۲۲/۲ میلی‌متر برآورد شد که بیشترین بارش دریافتی در یاخته-ای در جنوب استان به میزان ۲۳۹/۳ میلی‌متر و کمترین آن در مناطق مرکزی و به مقدار ۵۷/۲ میلی‌متر مشاهده شد. بررسی بارش در مقیاس فصلی نیز نشان داد که پر بارش‌ترین فصل استان فصل زمستان است و در حدود ۵۲ درصد از مجموع بارش سالانه استان سهم این فصل است. پس از زمستان، فصول بهار و پاییز با سهم بارش ۲۶/۲ و ۲۰/۷ درصد در مرتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. بارش فصل تابستان هم بسیار ناچیز است. تنها یک درصد از بارش سالانه را شامل می‌شود و این ناشی از حاکمیت پراارتفاع جنب‌حاره می‌باشد.

شاخص ضریب تغییرها در مقیاس‌های سالانه و فصلی محاسبه شد. از نظر مکانی بیشترین مقادیر این شاخص در مناطق مرکزی و غربی استان دیده شد و این نشان‌دهنده پراکندگی و خطر بیشتر بارندگی در این مناطق است. از لحاظ زمانی هم بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین ضرایب تغییرها در فصول زمستان و تابستان به ترتیب با مقادیر ۵۳/۸ و ۲۳۸ ثبت شد که نشان‌دهنده تمرکز بیشتر بارش در فصل زمستان است. نمودار مجموع بارش سالانه استان طی سال‌های ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۴ نشان داد که روند بارش استان طی این مدت نزدیک به یک میلی‌متر در سال کاهشی بود. همچنین مجموع بارش فرین در سال‌های مختلف نشان‌دهنده کاهش بارش به میزان تقریباً ۰/۸ میلی‌متر در سال بود. طی ده سال پایانی دوره کاهش بارش قابل‌ملاحظه‌تر نیز بود و به استثنای سال ۱۳۹۱، بارش در سایر سال‌های این دهه کمتر از مقدار میانگین بلندمدت بود.

آزمون برآوردگر شیب سن دال بر این بود که روند کلی حاکم بر مجموع بارش سالانه استان، کاهشی است. به گونه‌ای که ۸۳/۹ درصد از پهنه استان روند منفی را تجربه کردند. همچنین با به‌کارگیری آزمون من کندانال مشخص شد که

۵۱/۴ درصد از مساحت استان در سطح اطمینان ۹۵٪، از لحاظ آماری روند معنی‌دار داشتند و تنها ۳/۷ درصد از یاخته‌ها روند مثبت معنی‌دار داشتند. بررسی روند مجموع بارش‌های فرین سالانه (مجموع بارش‌های برابر یا بیشتر از بارش صدک ۹۵) نیز نتایج مشابهی را نشان داد. ۷۹ درصد از یاخته‌ها روند نزولی و ۲۱ درصد آن‌ها روند صعودی داشتند. تنها ۵/۲ درصد از مساحت استان دارای روند معنی‌دار افزایشی بودند. نتایج نشان داد که روند افزایشی معنی‌دار هم در مجموع بارش سالانه و هم مجموع بارش فرین سالانه فقط در ارتفاعات شیرکوه و مناطق محدودی از شمال استان مشاهده شد. همچنین بررسی روند تعداد روزهای بارشی حاکی از روند کاهشی در ۸۵/۳ درصد یاخته‌ها بود. اما آهنگ تغییرهای آن نسبت به آهنگ تغییرهای مجموع بارش سالانه کوچک‌تر بود. بیشترین سهم بارش فرین به مجموع بارش سالانه در مناطقی مرکزی استان مشاهده شد. در برخی یاخته‌ها این سهم به بیش از ۹۰ درصد مجموع بارش سالانه هم رسید. در این مناطق به سبب داشتن اقلیم خشک و زیست‌بوم بسیار شکننده، بارش‌های رگباری شدید و ناگهانی می‌تواند منجر به خسارت‌های مادی و انسانی شود.

بر طبق گزارش‌های IPCC پیش‌بینی می‌شود حتی اگر انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی متوقف شود، بسیاری از جنبه‌های تغییر اقلیم و تأثیرهای مرتبط با آن مثل افزایش رخدادهای فرین جوی برای قرن‌ها ادامه یابد. بنابراین پیشنهاد می‌شود با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی، الگوهای تغییر بارش و نمایه‌های حدی آن طی دوره‌های آتی مطالعه و احتمال وقوع سیل‌های مخرب‌تر و یا خشکسالی‌های شدیدتر در استان مورد بررسی قرار گیرد.

## منابع

- دارند، محمد؛ ظرافتی، هادی؛ کفایت مطلق، امیدرضا؛ سمندر؛ ریحانه. (۱۳۹۴). مقایسه بین پایگاه‌های داده جهانی و منطقه‌ای بارش با پایگاه بارش اسفزاری و ایستگاهی ایران زمین. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۰(۲)، ۶۵-۸۴.
- عساکره، حسین؛ رزمی قلندری، رباب. (۱۳۹۳). توزیع زمانی و رژیم بارش در شمال غرب ایران. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۱)، ۱۴۵-۱۶۰.
- عساکره، حسین؛ مسعودیان، سیدابوالفضل؛ ترکرانی، فاطمه. (۱۴۰۰). بررسی ورودی دهه‌های بارش سالانه ایران زمین طی چهار دهه اخیر (۱۳۹۴-۱۳۵۵). نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۵(۷۶)، ۱۸۷-۲۰۲. doi: 10.22034/gp.2020.41308.2680
- علیجانی، بهلول. (۱۳۹۰). تحلیل فضایی دماها و بارش‌های بحرانی روزانه در ایران. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، ۱۷(۲۰)، ۹-۳۰.
- محمدی، مژده؛ طالبی، علی. (۱۳۹۹). تحلیل منطقه‌ای حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته با استفاده از گشتاورهای خطی در مناطق خشک (مطالعه موردی: استان یزد). مدیریت بیابان، ۸(۱۵)، ۳۷-۵۲.
- مسعودیان، ابوالفضل؛ کیخسروی کیانی، محمد صادق؛ رعیت پیشه، فاطمه. (۱۳۹۳). معرفی و مقایسه پایگاه داده اسفزاری با پایگاه‌های داده GPCP، GPCC و CMAP. تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۱) (پیاپی ۱۱۲)، ۷۳-۸۷.
- مفاخری، امید؛ سلیقه، محمد؛ علیجانی، بهلول؛ اکبری، مه‌ری. (۱۳۹۶). شناسایی و ناحیه‌بندی تغییرات زمانی و یکنواختی بارش ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، ۴۹(۲)، ۱۹۱-۲۰۵.
- وخشوری، علی. (۱۳۹۱). بررسی سیلاب‌های حوضه سد سیل‌بند و راه‌های جلوگیری از خطرات ناشی از آن بر شهر لار. فصل‌نامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۱(۸۱)، ۶۶-۷۵.
- Adler, R. F., Huffman, G. J., Chang, A., Ferraro, R., Xie, P.-P., Janowiak, J., Rudolf, B., Schneider, U., Curtis, S., & Bolvin, D. (2003). The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). *Journal of hydrometeorology*, 4(6), 1147-1167. <https://doi.org/10.1175/1525-7541>

- Ahani, H., Kherad, M., Kousari, M. R., Rezaeian-Zadeh, M., Karampour, M. A., Ejraee, F., & Kamali, S. (2012). An investigation of trends in precipitation volume for the last three decades in different regions of Fars province, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 109(3), 361-382. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0572-z>
- Alijani, B., O'Brien, J., & Yarnal, B. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 94(1), 107-124. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0344-y>
- Bao, J., Sherwood, S. C., Alexander, L. V., & Evans, J. P. (2017). Future increases in extreme precipitation exceed observed scaling rates. *Nature Climate Change*, 7(2), 128-132. <https://doi.org/10.1038/nclimate3201>
- Bhatti, A. S., Wang, G., Ullah, W., Ullah, S., Fiifi Tawia Hagan, D., Kwesi Nooni, I., Lou, D., & Ullah, I. (2020). Trend in extreme precipitation indices based on long term in situ precipitation records over Pakistan. *Water*, 12(3), 797. <https://doi.org/10.3390/w12030797>
- Carvalho, L. M. (2020). Assessing precipitation trends in the Americas with historical data: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 11(2), e627. <https://doi.org/10.1002/wcc.627>
- Cohen Liechti, T., Matos, J., Boillat, J.-L., & Schleiss, A. (2012). Comparison and evaluation of satellite derived precipitation products for hydrological modeling of the Zambezi River Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(2), 489-500. <https://doi.org/10.5194/hess-16-489-2012>
- Dore, M. H. (2005). Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know? *Environment international*, 31(8), 1167-1181. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.03.004>
- Fujibe, F., Yamazaki, N., Katsuyama, M., & Kobayashi, K. (2005). The increasing trend of intense precipitation in Japan based on four-hourly data for a hundred years. *Sola*, 1, 41-44. <https://doi.org/10.2151/sola.2005-012>
- Ghajarnia, N., Liaghat, A., & Arasteh, P. D. (2015). Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia Basin-Iran. *Atmospheric Research*, 158, 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.02.010>
- IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2013.
- Kim, I.-W., Oh, J., Woo, S., & Kripalani, R. (2019). Evaluation of precipitation extremes over the Asian domain: observation and modelling studies. *Climate Dynamics*, 52(3), 1317-1342. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4193-4>
- Liu, Y., Chen, S., Sun, H., Gui, D., Xue, J., Lei, J., Zeng, X., & Lv, G. (2019). Does the long-term precipitation variations and dry-wet conditions exist in the arid areas? A case study from China. *Quaternary International*, 519, 3-9. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.01.034>
- Livada, I., & Asimakopoulou, D. (2005). Individual seasonality index of rainfall regimes in Greece. *Climate Research*, 28(2), 155-161. [doi:10.3354/cr028155](https://doi.org/10.3354/cr028155)
- Lu, S., Hu, Z., Wang, B., Qin, P., & Wang, L. (2020). Spatio-temporal patterns of extreme precipitation events over China in recent 56 years. *Plateau Meteorology*, 39(4), 683-693. DOI: 10.7522/j.issn.1000-0534.2019.00058
- Modarres, R., & da Silva, V. d. P. R. (2007). Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of arid environments*, 70(2), 344-355. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.12.024>
- New, M., Todd, M., Hulme, M., & Jones, P. (2001). Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(15), 1889-1922. <https://doi.org/10.1002/joc.680>
- Partal, T., & Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(9), 2011-2026. <https://doi.org/10.1002/hyp.5993>
- Raziei, T., Arasteh, P. D., & Saghafian, B. (2005). Annual rainfall trend in arid and semi-arid regions of Iran. ICID 21st European regional conference,
- Sayemuzzaman, M., & Jha, M. K. (2014). Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States. *Atmospheric Research*, 137, 183-194. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.012>
- Song, X., Zhang, J., Zou, X., Zhang, C., AghaKouchak, A., & Kong, F. (2019). Changes in precipitation extremes in the Beijing metropolitan area during 1960–2012. *Atmospheric Research*, 222, 134-153. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.02.006>
- Thangjai, W., Niwitpong, S. A., & Niwitpong, S. (2020). Confidence intervals for the common coefficient of variation of rainfall in Thailand. *PeerJ*, 8, e10004. <https://doi.org/10.7717/peerj.10004>
- Tilahun, K. (2006). The characterisation of rainfall in the arid and semi-arid regions of Ethiopia. *Water SA*, 32(3), 429-436. [Doi.10.4314/wsa.v32i3.5269](https://doi.org/10.4314/wsa.v32i3.5269)
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1-2), 123-138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>
- Xu, L., Zheng, C., & Ma, Y. (2021). Variations in precipitation extremes in the arid and semi-arid regions of China. *International Journal of Climatology*, 41(3), 1542-1554. <https://doi.org/10.1002/joc.6884>
- Zhan, Y. J., Ren, G. Y., Shrestha, A. B., Rajbhandari, R., Ren, Y. Y., Sanjay, J., ... & Wang, S. (2017). Changes in extreme precipitation events over the Hindu Kush Himalayan region during 1961–2012. *Advances in Climate Change Research*, 8(3), 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2017.08.002>

## References

### References (in Persian)

- Alijani, B. Spatial analysis of daily extreme temperatures and rains in Iran. (2011). *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 17(20), 9-30. [In Persian]
- asakereh, H., Masoodian, S A., Tarkarani, F. (2021). An investigation of Decadal variation of Iran precipitation over four decades (1976-2016). *Geography and Planning*, 25(76), 187-202. doi: 10.22034/gp.2020.41308.2680. [In Persian]
- Asakereh, H., Razmi Ghalandari, R. (2014). Temporal Distribution and Regime of Precipitation of Northwest of Iran. *Geographical Research*, 29 (1), 145-160. [In Persian]
- Darand, M., Zerafati, H., Kefayatmotlag, O R., Samandar, R. (2015). The comparison between global and regional precipitation data base with Iran Asfezari and Station data base. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 30(2), 65-84. [In Persian]
- Mafakheri, O., Saligheh, M., Alijani, B., Akbary, M. (2017). Zonation of temporal changes and uniformity of rainfall in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 49(2), 191-205. doi: 10.22059/jphgr.2017.62841. [In Persian]
- Masoodian, S A., Rayat pishe, F., Keikhosravi Kiany, M. S. (2014). Introduction and a Comparison among Gridded Precipitation Database of Asfzari with GPCC, GPCP and CMAP. *Geographical Research*, 29 (1), 73-88. [In Persian]
- Mohammadi, M., Talebi, A. (2020). Regional Frequency Analysis of Maximum 24-Hour Precipitation in Arid Lands Using The L-Moments Approach (Case Study: Yazd Province). *Desert Management*, 8(15), 37-52. [In Persian]
- Vakhshouri, A. (2012). Investigation of Floods in the Region of Flood Dams and Ways to Prevent its Dangers on Lar City. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 21(81), 66-75. [In Persian]

### References (in English)

- Adler, R. F., Huffman, G. J., Chang, A., Ferraro, R., Xie, P.-P., Janowiak, J., Rudolf, B., Schneider, U., Curtis, S., & Bolvin, D. (2003). The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). *Journal of hydrometeorology*, 4(6), 1147-1167. <https://doi.org/10.1175/1525-7541>
- Ahani, H., Kherad, M., Kousari, M. R., Rezaeian-Zadeh, M., Karampour, M. A., Ejraee, F., & Kamali, S. (2012). An investigation of trends in precipitation volume for the last three decades in different regions of Fars province, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 109(3), 361-382. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0572-z>
- Alijani, B., O'Brien, J., & Yarnal, B. (2008). Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 94(1), 107-124. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0344-y>
- Bao, J., Sherwood, S. C., Alexander, L. V., & Evans, J. P. (2017). Future increases in extreme precipitation exceed observed scaling rates. *Nature Climate Change*, 7(2), 128-132. <https://doi.org/10.1038/nclimate3201>
- Bhatti, A. S., Wang, G., Ullah, W., Ullah, S., Fiifi Tawia Hagan, D., Kwesi Nooni, I., Lou, D., & Ullah, I. (2020). Trend in extreme precipitation indices based on long term in situ precipitation records over Pakistan. *Water*, 12(3), 797. <https://doi.org/10.3390/w12030797>
- Carvalho, L. M. (2020). Assessing precipitation trends in the Americas with historical data: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 11(2), e627. <https://doi.org/10.1002/wcc.627>
- Cohen Liechti, T., Matos, J., Boillat, J.-L., & Schleiss, A. (2012). Comparison and evaluation of satellite derived precipitation products for hydrological modeling of the Zambezi River Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(2), 489-500. <https://doi.org/10.5194/hess-16-489-2012>
- Dore, M. H. (2005). Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know? *Environment international*, 31(8), 1167-1181. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.03.004>
- Fujibe, F., Yamazaki, N., Katsuyama, M., & Kobayashi, K. (2005). The increasing trend of intense precipitation in Japan based on four-hourly data for a hundred years. *Sola*, 1, 41-44. <https://doi.org/10.2151/sola.2005-012>
- Ghajarinia, N., Liaghat, A., & Arasteh, P. D. (2015). Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia Basin-Iran. *Atmospheric Research*, 158, 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.02.010>
- IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2013.
- Kim, I.-W., Oh, J., Woo, S., & Kripalani, R. (2019). Evaluation of precipitation extremes over the Asian domain: observation and modelling studies. *Climate Dynamics*, 52(3), 1317-1342. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4193-4>
- Liu, Y., Chen, S., Sun, H., Gui, D., Xue, J., Lei, J., Zeng, X., & Lv, G. (2019). Does the long-term precipitation variations and dry-wet conditions exist in the arid areas? A case study from China. *Quaternary International*, 519, 3-9. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.01.034>
- Livada, I., & Asimakopoulou, D. (2005). Individual seasonality index of rainfall regimes in Greece. *Climate Research*, 28(2), 155-161. doi:10.3354/cr028155
- Lu, S., Hu, Z., Wang, B., Qin, P., & Wang, L. (2020). Spatio-temporal patterns of extreme precipitation events over China in recent 56 years. *Plateau Meteorology*, 39(4), 683-693. DOI: 10.7522/j.issn.1000-0534.2019.00058
- Modarres, R., & da Silva, V. d. P. R. (2007). Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of arid environments*, 70(2), 344-355. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.12.024>

- New, M., Todd, M., Hulme, M., & Jones, P. (2001). Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(15), 1889-1922. <https://doi.org/10.1002/joc.680>
- Partal, T., & Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(9), 2011-2026. <https://doi.org/10.1002/hyp.5993>
- Raziei, T., Arasteh, P. D., & Saghafian, B. (2005). Annual rainfall trend in arid and semi-arid regions of Iran. ICID 21st European regional conference.
- Sayemuzzaman, M., & Jha, M. K. (2014). Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States. *Atmospheric Research*, 137, 183-194. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.012>
- Song, X., Zhang, J., Zou, X., Zhang, C., AghaKouchak, A., & Kong, F. (2019). Changes in precipitation extremes in the Beijing metropolitan area during 1960–2012. *Atmospheric Research*, 222, 134-153. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.02.006>
- Thangjai, W., Niwitpong, S. A., & Niwitpong, S. (2020). Confidence intervals for the common coefficient of variation of rainfall in Thailand. *PeerJ*, 8, e10004. <https://doi.org/10.7717/peerj.10004>
- Tilahun, K. (2006). The characterisation of rainfall in the arid and semi-arid regions of Ethiopia. *Water SA*, 32(3), 429-436. [Doi.10.4314/wsa.v32i3.5269](https://doi.org/10.4314/wsa.v32i3.5269)
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1-2), 123-138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>
- Xu, L., Zheng, C., & Ma, Y. (2021). Variations in precipitation extremes in the arid and semi-arid regions of China. *International Journal of Climatology*, 41(3), 1542-1554. <https://doi.org/10.1002/joc.6884>
- Zhan, Y. J., Ren, G. Y., Shrestha, A. B., Rajbhandari, R., Ren, Y. Y., Sanjay, J., ... & Wang, S. (2017). Changes in extreme precipitation events over the Hindu Kush Himalayan region during 1961–2012. *Advances in Climate Change Research*, 8(3), 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2017.08.002>

