



Spatiotemporal evaluation of temperature and precipitation extremes indices over Iran under the influence of climate change

Mohammad Jamali¹ | Alireza Gohari² | Ghazal Akhavan Saraf³

1. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: mohammad.jamali@ag.iut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: ar.gohari@iut.ac.ir
3. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: ghazal.akhavan.saraf@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 7 April 2024

Received in revised form

6 May 2024

Accepted 24 July 2024

Published online 23 November 2024

Keywords:

Iran

Extreme precipitation

Spatiotemporal trend

Global warming

ABSTRACT

The phenomenon of climate change has caused a change in the intensity and frequency of extreme phenomena, especially extreme rainfall. Spatiotemporal analysis of extreme precipitation is very important in order to increase the flexibility of socio-ecological systems and their infrastructures under climate change. This study examines the spatiotemporal changes of precipitation characteristics with temperature changes. For this purpose, Spearman's non-parametric test has been used to evaluate trends in three precipitation indices (maximum 3 and 6-hour precipitation and total annual precipitation) and two temperature indices (maximum and minimum annual temperature) in 26 synoptic stations located in Iran. In this research, statistics and information from 34 to 70 years old (from 1951 to 2020) were used. The trend of the data was checked at a significance level of 95%. The results showed that the maximum rainfall of 3 and 24 hours in Gorgan station has a positive trend, but the index of total annual rainfall in this region has a negative trend, also the maximum rainfall of 3 and 24 hours in Ahvaz, Isfahan and Semnan stations also has a significant increasing trend, and these areas are prone to flash floods. Also, the results showed that the increase in maximum 3-hour and 24-hour precipitation at higher temperatures in a limited number of stations leads to an increase in annual precipitation, and most stations show a decrease in precipitation with increasing temperature. Also, the maximum temperature in all stations (except Shahrekord and Birjand) has increasing changes, which indicates the warming of the air in summer.

Cite this article: Jamali, M., Gohari, A., & Akhavan Saraf, Gh. (2024). Spatiotemporal evaluation of temperature and precipitation extremes indices over Iran under the influence of climate change. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (3), 743-752. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.374814.1156>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.374814.1156>

Publisher: University of Tehran Press.



ارزیابی مکانی و زمانی روند شاخص‌های حدی دما و بارش ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم

محمد جمالی^۱ | سید علیرضا گوهری^۲ | غزل اخوان صراف^۳

۱. گروه علو و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: mohammad.jamali@ag.iut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: ar.gohari@iut.ac.ir
۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: ghazal.akhavan.saraf@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

پدیده تغییر اقلیم باعث تغییر در شدت و فراوانی پدیده‌های حدی به‌ویژه بارش‌های حدی شده است. تحلیل مکانی و زمانی روند بارش حدی به‌منظور افزایش انعطاف‌پذیری سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی و زیرساخت‌های آن‌ها تحت تغییر اقلیمی بسیار مهم است. این مطالعه به بررسی تغییرات مکانی-زمانی ویژگی‌های بارش همزمان با تغییر دما می‌پردازد. برای این منظور، آزمون ناپارامتری اسپیرمن برای ارزیابی روند در سه شاخص بارش (بیشینه بارش سه و شش ساعته و مجموع بارش سالانه) و دو شاخص درجه حرارت (بیشینه و کمینه درجه حرارت سالانه) در ۲۶ ایستگاه سینوپتیک واقع در گستره ایران استفاده شده است. در این پژوهش از آمار و اطلاعات ۳۴ تا ۷۰ ساله (از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۰) استفاده شد. روند داده‌ها در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشینه بارش سه و ۲۴ ساعته در ایستگاه گرگان دارای روند مثبت است، اما شاخص مجموع بارش سالانه در این منطقه روندی منفی دارد، همچنین بارش بیشینه سه و ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های اهواز، اصفهان و سمنان نیز دارای روند افزایشی معنی‌دار بوده و این مناطق مستعد وقوع سیلاب هستند. همچنین نتایج نشان داد که افزایش بارش بیشینه سه و ۲۴ ساعته در دماهای بالاتر در تعداد محدودی از ایستگاه‌ها منجر به افزایش در بارش سالانه می‌شود و اکثر ایستگاه‌ها کاهش بارش را با افزایش دما نشان می‌دهند. همچنین، بیشینه دما در همه ایستگاه‌ها (به‌جز شهرکرد و بیرجند) دارای تغییرات افزایشی است که نشان‌دهنده گرم‌شدن هوا در تابستان است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

کلیدواژه‌ها:

ایران

بارش حدی

روند مکانی-زمانی

گرمایش جهانی

استناد: جمالی، محمد؛ گوهری، سیدعلیرضا و اخوان صراف، غزل (۱۴۰۳). ارزیابی مکانی و زمانی روند شاخص‌های حدی دما و بارش ایران تحت تأثیر تغییر اقلیم. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۴ (۳)، ۷۴۳-۷۵۲. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.374814.1156>



۱. مقدمه

شدت و فراوانی وقوع رویدادهای اقلیمی حدی طی دو دهه گذشته افزایش یافته و این رویدادها به‌ویژه بارش‌های حدی می‌توانند آسیب قابل‌توجهی به زیرساخت‌ها، اکولوژی، صنعت و کشاورزی یک منطقه وارد نمایند (Zwiers *et al.*, 2013). در حقیقت پدیده تغییر اقلیم جهانی باعث تغییرات قابل‌توجهی در ویژگی‌های اصلی بارش به‌دلیل تغییر در نرخ تبخیر و تعرق و مقادیر بخار آب موجود در جو می‌شود که پیامدهای متعددی برای چرخه هیدرولوژیک جهانی به‌همراه دارد (Stefanidis and Chatzichristaki, 2017; Zhang *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2008). با توجه به نقش محوری بارش در چرخه آب، تحلیل مکانی و زمانی ویژگی‌های آن از اهمیت فوق‌العاده‌ای در افزایش انعطاف‌پذیری سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک و زیرساخت‌های آن‌ها در برابر تغییرات آب‌وهوایی برخوردار است (Wright *et al.*, 2021). بررسی ویژگی‌های اصلی بارش شدید و همچنین تغییر و روند مکانی-زمانی آن، در دهه‌های اخیر موردتوجه فزاینده‌ای قرار گرفته و مشاهدات جهانی افزایش بارندگی شدید در سراسر جهان را گزارش کردند (Groisman *et al.*, 2001; Vincent *et al.*, 2019). گزارش داد که در مقیاس جهانی حداکثر بارندگی سالانه به میزان ۶۵ درصد طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۹ افزایش یافته است. حداکثر بارش روزانه برای تقریباً دو سوم ایستگاه‌های باران‌سنجی در سراسر جهان از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۹ افزایش یافته است (Westra *et al.*, 2013). علاوه بر این، انتظار می‌رود شدت بارندگی شدید ساعتی و کم‌تر از روزانه در دهه‌های آینده افزایش یابد (Westra *et al.*, 2014).

گسترده‌گی مکانی و زمانی و آثار مخرب رویدادهای شدید جوی طی دهه‌های اخیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران دستخوش تغییرات محسوسی شده است. با توجه به این‌که اقلیم و کاربری اراضی محرک‌های اصلی سیلاب‌های ناگهانی هستند، اغلب سیل‌های اخیر را می‌توان به تغییر در میزان بارش شدید و پوشش زمین در ایران نسبت داد. بسیاری از مطالعات روند بارش را برای مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف در ایران تحلیل کرده‌اند (Ahani *et al.*, 2012; Farhangi *et al.*, 2016; Hekmatzadeh *et al.*, 2020; Jamli *et al.*, 2022; Kaboli *et al.*, 2021; Modarres *et al.*, 2007; Modarres and Sarhadi, 2009; Mohammadi, 2011; Razinei *et al.*, 2005; Tabari and Talaei, 2011). با این حال، مطالعات اندکی به بررسی روند تاریخی و تغییرات بارندگی شدید در ایران پرداخته است. Alijani (2007) نشان داد که براساس داده‌های مشاهده‌شده سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۴، خطر بارندگی شدید حداقل برای ۲۰ درصد از مناطق ایران وجود دارد. بررسی روندهای بارندگی شدید، روند مثبت قوی را در بارش روزانه از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۷ در ایران نشان داد (Balling *et al.*, 2016).

پژوهش‌گران بر این باورند که گرمایش جهانی از عوامل مؤثر بر تغییرات هیدرولوژیک، بارش‌های سیل‌آسا و سایر رویدادهای شدید است. روند در سری‌های زمانی آب‌وهواشناسی از اثرات تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم می‌باشد (Serrano, 1999). در نتیجه پژوهش بر روی روند و تغییرپذیری تغییرات بارش و رویدادهای شدید طبیعی برای ارزیابی پیامدهای هیدرولوژیکی مانند خشکسالی و سیل ناگهانی دارای اهمیت است. ارزیابی و آنالیز روند یکی از روش‌هایی است برای پیش‌بینی این دسته از رویدادهاست. همچنین آنالیز روند رویدادهای شدید هیدرولوژیک، اطلاعات و داده‌های لازم برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب منطقه‌ای، ارزیابی ریسک مخاطرات هیدرولوژیک، کاهش و سازگاری با آثار تغییرات آب‌وهوا را فراهم می‌سازد.

این مطالعه به بررسی جامع تغییرات مکانی-زمانی ویژگی‌های بارش (حداکثر و بارش سالانه) همراه با افزایش دما و همچنین در طول زمان را ارائه می‌کند و ادبیات فعلی را برای تشخیص تغییرات تاریخی و روندها در طول زمان مقایسه می‌کند. همچنین آنالیز حساسیت تغییرات بارش نسبت به تغییرات دما در طول مکان و زمان انجام شده است. در این مطالعه از سه شاخص بارش و دو شاخص درجه حرارت برای تحلیل تغییرات الگو و ویژگی‌های مختلف بارش و درجه

حرارت شدید استفاده شده است. مطالعه حاضر تجزیه و تحلیل بارش شدید قبلی را پیش برد (Douglas *et al.*, 2000; Jamali *et al.*, 2022; Tabari and Marofi, 2011). در این پژوهش از روش ناپارامتریک اسپیرمن برای بررسی روند استفاده شد و برای این منظور، داده‌های سه ساعته و روزانه ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک در ایران را از سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۲ به کار گرفته شد. به طور کلی هدف این مطالعه بررسی روندهای مکانی و زمانی در ویژگی‌های بارش (حداکثر و بارش سالانه) و تشخیص حساسیت ویژگی‌های بارش (حداکثر و بارش سالانه) به تغییرات دما در مناطق مختلف ایران است. طول دوره آماری و تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده از محدودیت‌های مطالعه حاضر است.

۲. داده‌ها و روش‌ها

۲.۱. توضیحات داده‌ها

در این پژوهش از داده‌های بارش و درجه حرارت ساعتی طی دوره مورد مطالعه از سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۰ استفاده شد که از ۲۶ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است. که در شکل (۱) محل و در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مربوطه نشان داده شده است. ایستگاه‌های انتخاب شده به خوبی در سراسر ایران و شش حوضه اصلی شامل حوضه فلات مرکزی، حوضه خلیج فارس و دریای عمان، حوضه دریاچه ارومیه، حوضه دریای خزر، حوضه مرزی شرقی و حوضه قره‌قروم توزیع شده‌اند (شکل ۱).

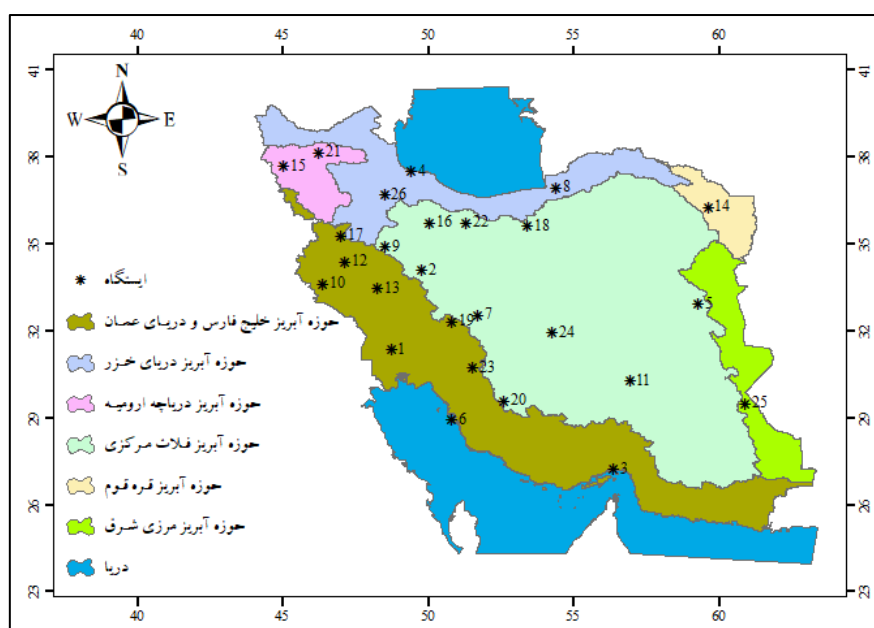


Figure 1. Geographical location of the selected stations

۲.۲. شاخص‌های بارش شدید و دما

در این پژوهش از سه شاخص برای بررسی الگوی بارندگی شدید و دو شاخص برای بررسی دما در ایران استفاده شده است. این شاخص‌ها برای تحلیل روند بارش تحت افزایش دما (شاخص‌های ۱ تا ۳) و تحلیل روند دما (شاخص‌های ۴ و ۵) در طول زمان در ایستگاه‌های منتخب مطابق جدول (۲) به کار گرفته شدند.

Table 1. Geographical characteristics and location of the selected stations

No.	Station	Longitude (E)	Latitude (N)	Altitude (m)	River Basin
1	Ahvaz	48.7	31.3	22.5	Persian Gulf and Oman Sea
2	Arak	49.8	34.1	1702.8	Central Plateau
3	Bandar Abbas	56.4	27.2	9.8	Persian Gulf and Oman Sea
4	Bandar Anzali	49.5	37.5	-23.6	Caspian Sea
5	Birjand	59.3	32.9	1491.0	Central Plateau
6	Bushehr	50.8	28.9	8.4	Persian Gulf and Oman Sea
7	Isfahan	51.7	32.5	1550.4	Central Plateau
8	Gorgan	54.4	36.9	0.0	Caspian Sea
9	Hamedan	48.5	34.9	1740.8	Central Plateau
10	Ilam	46.4	33.6	1337.0	Persian Gulf and Oman Sea
11	Kerman	57.0	30.3	1754.0	Central Plateau
12	Kermanshah	47.2	34.4	1318.5	Persian Gulf and Oman Sea
13	Khorramabad	48.3	33.4	1147.8	Persian Gulf and Oman Sea
14	Mashhad	59.6	36.2	999.2	Qareqom
15	Urmia	45.1	37.7	1328.0	Lake Urmia
16	Qazvin	50.1	35.7	1279.1	Central Plateau
17	Sanandaj	47.0	35.3	1373.4	Persian Gulf and Oman Sea
18	Semnan	53.4	35.6	1127.0	Central Plateau
19	Shahrekord	50.8	32.3	2048.9	Persian Gulf and Oman Sea
20	Shiraz	52.6	29.6	1488.0	Central Plateau
21	Tabriz	46.2	38.1	1361.0	Lake Urmia
22	Tehran	51.3	35.7	1191.0	Central Plateau
23	Yasuj	51.6	30.7	1816.3	Persian Gulf and Oman Sea
24	Yazd	54.3	31.9	1230.2	Central Plateau
25	Zahedan	60.9	29.5	1370.0	Eastern Border
26	Zanjan	48.5	36.7	1659.4	Caspian Sea

Table 2. The extreme rainfall indices used for trend analysis and their definition

Indices	Definition	Unit
Index 1	The maximum 3-hour precipitation	mm
Index 2	The maximum 24-hour precipitation	mm
Index 3	The annual precipitation	mm
Index 4	The maximum annual temperature	°C
Index 5	The minimum annual temperature	°C

۳.۲. تحلیل روند

در این پژوهش از آزمون اسپیرمن برای تشخیص روند در شاخص‌های بارندگی شدید و درجه حرارت تعریف شده استفاده شد. آزمون اسپیرمن یک آزمون ناپارامتریک است. فرض کنید $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ سری زمانی مدنظر است. این سری زمانی را به صورت صعودی مرتب و به هر عدد رتبه‌ای $(R(X_i))$ اختصاص داده می‌شود. آماره R_{SP} مجموعه داده‌های در نظر گرفته شده را می‌توان با استفاده از معادله زیر محاسبه کرد:

$$R_{SP} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n [R(X_i) - i]^2}{n(n^2 - 1)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، n اندازه نمونه (طول سری زمانی) است. آماره R_{SP} از توزیع نرمال با میانگین صفر پیروی می‌کند و واریانس آن از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$(R_{SP}) = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

آماره آزمون اسپیرمن رو، (Z_{SP}) ، به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$Z_{SP} = \frac{R_{SP}}{\sqrt{V(R_{SP})}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

اگر Z_{SP} از صفر بزرگ‌تر باشد، سری‌های زمانی شیب روند مثبت است. اگر این پارامتر از صفر کم‌تر باشد، سری‌های زمانی روند منفی خواهد داشت. برای کنترل کردن معنی‌دار بودن یا نبودن این روند، Z_{SP} محاسباتی باید با Z نرمال شده جدول در سطوح اطمینان مختلف مقایسه گردد (Jamali and Eslamian, 2023).

۳. نتایج و بحث

۳.۱. روند شاخص‌های بارش

در جدول (۳) و شکل (۲)، نتایج روند سه شاخص بارندگی در ایستگاه‌های منتخب نشان داده شده است. بیشینه بارندگی سه ساعته (شاخص ۱) در ایستگاه‌های اهواز، اصفهان، سمنان و گرگان دارای روند افزایشی است ولی از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیستند. این شاخص در مابقی ایستگاه‌ها روند منفی داشت (۱۲ ایستگاه از ۲۲ ایستگاه دارای روند معنی‌دار بودند). بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته (شاخص ۲) در ایستگاه‌های اهواز، کرمانشاه، همدان، قزوین، سمنان، تهران، ارومیه دارای روند افزایشی و در ایستگاه‌های خرم‌آباد، اصفهان و گرگان روند افزایشی و معنی‌دار است. این شاخص در ایستگاه‌های بندر انزلی و زاهدان کاهشی و معنادار و در ایستگاه‌های غرب ایران افزایشی بود. روندهای صعودی بارش در ایستگاه‌های مذکور نشان‌دهنده خطر احتمال سیل ناگهانی در این مناطق است. به همین ترتیب، مطالعات دیگر نتایج بارش ۲۴ ساعته در غرب ایران و ایستگاه‌های اصفهان، قزوین، سمنان، تهران و گرگان را تأیید کردند (Moddares and Malekinezhad and Zare-Garizi, 2014). نتایج ایستگاه گرگان مطابق با (Sarhadi, 2009; Soltani *et al.*, 2012; Raziei *et al.*, 2014; Tabari and Talae,) در حالی که (Dhorde *et al.*, 2014) نشان داد که روند افزایشی ناچیز در بارش جنوب‌غربی ایران وجود دارد.

Table 3. Results of the Spearman test for the studied rainfall and extreme temperature indicators (Numbers with stars indicate trends that are statistically significant at the critical level of 0.5)

Basin	The Persian Gulf and Oman Sea									Central Plateau									Urmia Lake		Caspian Sea			Eastern border	Qareqom	
	Station	Ahvaz	Bandar Abbas	Bushehr	Ilam	Kermanshah	Khorramabad	Sanandaj	Shahreکرد	Yasuj	Arak	Birjand	Isfahan	Hamedan	Kerman	Qazvin	Semnan	Shiraz	Tehran	Yazd	Urmia	Tabriz	Bandar Anzali	Gorgan	Zanjan	Zahedan
Index 1	0.84	-1.32	-1.63	-0.66	-1.63	-2.25*	-4.75*	-3.13*	-0.94	-3.52*	-2.68*	0.61	-0.02	-2.06*	-1.9	0.34	-5.48*	-1.1	-1.06	-1.7	-3.66*	-4.16*	0.69	-2.49*	-3.72*	-4.16*
Index 2	1.64	-0.52	-0.64	-0.35	1.31	2.2*	-0.43	-0.69	-0.12	-0.99	-1.35	2.05*	1.23	-1.83	0.2	1.32	-1.34	0.31	-0.30	1.29	-1.64	-2.2*	2.22*	-0.76	-2.61*	-0.7
Index 3	1.29	-0.6	-1.12	-0.54	0.34	-0.6	-2.61*	0.76	-1.49	-1.25	-1.35	0.96	0.3	-3.45*	0.78	0.22	-1.29	0.54	-0.16	-1.12	-2.72*	-2.19*	-2.17*	-0.3	-3.1*	-0.26
Index 4	2.5	3.61*	0.94	5.34	2.69*	0.51	4.81*	-1.06	1.67	0.73	-1.14	2.33*	1.73	5.32*	2.83*	2.52*	4.89*	2.3*	1.81	0.71	1.67	0.47	1.62	1.02	1.74	4.66*
Index 5	1.8	-3.38*	1.91	-0.26	2.07*	-0.65	2.62*	0.49	1.2	1.32	3.56*	0.98	2*	0.54	1.49	1.99*	0.5	4.17*	3.27*	-0.27	2.72*	2.28*	-2.25*	1.25	0.32	4*

هم‌چنین شاخص مجموع بارش سالیانه (شاخص ۳) در ایستگاه‌های اهواز، کرمانشاه، شهرکرد، اصفهان، همدان، قزوین، سمنان و تهران افزایشی بود. این شاخص در ایستگاه‌های سنندج، کرمان، تبریز، گرگان، بندر انزلی و زاهدان دارای روند کاهشی و معنی‌دار بود این موضوع وقوع خشکسالی و کاهش منابع آب تجدیدپذیر سالانه را در این مناطق نشان می‌دهد. در این رابطه، نتایج این پژوهش با Alavinia and Zarei (2021)، Rahimi and Fatemi (2019) و Tabari and Talaei (2011) سازگار است. این نتایج از مجموع بارندگی سالانه با مطالعات *Asgari et al.* (2007) و *Fathian et al.* (2020) که روند کاهشی را در غرب و شمال‌غرب ایران گزارش کرده، همراه است. Tabari and Talaei (2011) هم‌چنین روند کاهشی بارش را در ۶۰ درصد ایستگاه‌های واقع در غرب ایران طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۰۵ گزارش کرده است.

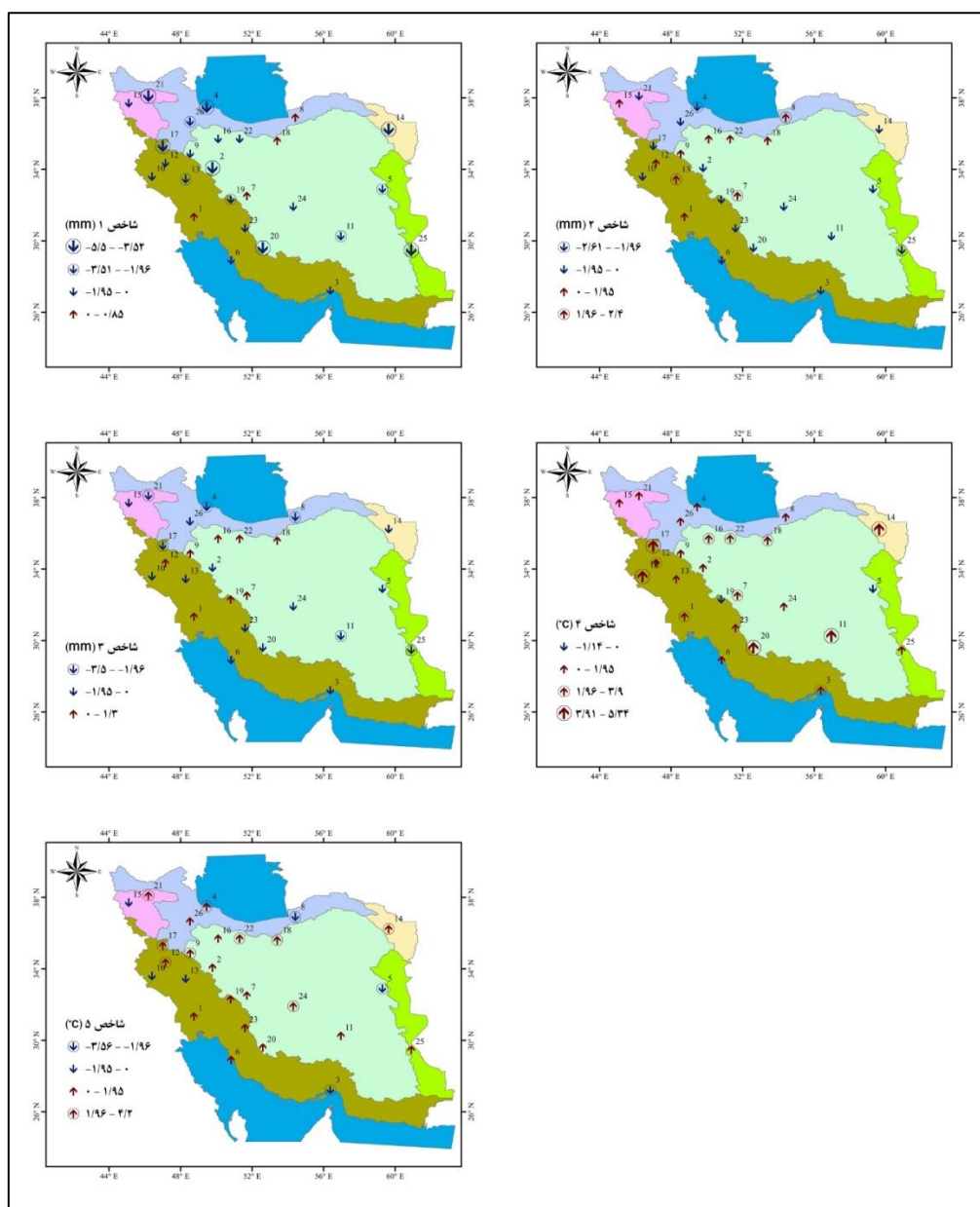


Figure 2. Spatiotemporal trend of selected indicators of extreme precipitation and temperature in Iran

۲.۳. روند شاخص‌های درجه حرارت

بیشینه درجه حرارت (شاخص ۴) در ایستگاه‌های بیرجند و شهرکرد دارای روند کاهشی بودند. شاخص ۴ در مابقی ایستگاه‌ها (اهواز، بندرعباس، ایلام، کرمانشاه، سنندج، اصفهان، کرمان، قزوین، سمنان، شیراز، تهران و مشهد) دارای روند معنی‌دار افزایشی بود. کمینه درجه حرارت (شاخص ۵) در ایستگاه‌های ایلام، خرم‌آباد و ارومیه کاهشی بود و در ایستگاه‌های بندرعباس، بیرجند و گرگان دارای روند کاهشی و معنی‌دار بود. در مابقی ایستگاه‌ها کمینه درجه حرارت افزایشی بود. مشاهده شد که در ایستگاه‌های کرمانشاه، سنندج، همدان، سمنان، تهران، یزد، تبریز، بندرانزلی و مشهد شاخص ۵ افزایشی و معنادار است. نتایج این پژوهش با *Ahmadi et al.* (2018) و *Saboochi et al.* (2012) که افزایش دما را در اکثر ایستگاه‌های ایران گزارش کرده‌اند، مطابقت دارد.

۳.۳. بررسی روند بارش با تغییر دما

در ایستگاه بیرجند کاهش بیشینه بارش سه و ۲۴ ساعته و مجموع بارش سالانه با کاهش بیشینه و کمینه درجه حرارت مشاهده شد. بیشینه بارش سه و ۲۴ ساعته در ایستگاه گرگان افزایشی است، اما بارش سالانه در این منطقه کاهشی است که این منطقه مستعد وقوع سیلاب‌های ناگهانی است. در این منطقه هم‌چنین بیشینه درجه حرارت افزایشی و کمینه درجه حرارت کاهشی است. در ایستگاه‌های اصفهان، سمنان و اهواز کمینه و بیشینه درجه حرارت صعودی است درحالی‌که بیشینه بارش سه و ۲۴ ساعته و مجموع بارش سالانه نیز افزایشی است. در اکثر ایستگاه‌های ایران مشاهده شد که کمینه و بیشینه درجه حرارت سالانه افزایشی است درحالی‌که شاخص‌های بارش کاهشی است و نشان‌دهنده وقوع خشکسالی در این ایستگاه‌ها است.

ما دریافتیم که حساسیت حداکثر بارش سه ساعته به دما از طریق تجزیه و تحلیل مثبت بود. بارش سالانه (شاخص ۳) در تمامی ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه‌های گرگان، ارومیه و خرم‌آباد در اثر افزایش دما کاهش یافت. هم‌چنین نتایج حاکی از آن است که حساسیت بارش ۲۴ ساعته به دما مثبت و حساسیت بارش سالانه به دما در ایستگاه‌های بندرعباس، بیرجند، سنندج، شهرکرد، اصفهان، قزوین و ارومیه منفی بوده است. نتایج نشان داد که افزایش بارش ۲۴ ساعته در دماهای بالاتر تنها در سمنان، یزد، تبریز، شیراز، تهران و کرمان (واقع در ایران مرکزی خشک) با افزایش بارندگی سالانه مطابقت دارد. به‌طور کلی، بارش‌های شدید از دهه ۱۹۵۰ در بسیاری از مناطق ایران رایج شده است. غرب ایران با افزایش دما شاهد شدیدترین افزایش بارش‌های شدید بوده است. افزایش دما ظرفیت بخار آب موجود در هوا را ۷ درصد به‌ازای هر درجه گرم‌شدن افزایش می‌دهد. همان‌طور که در مناطق مختلف مانند ایران مشاهده می‌شود، جو با رطوبت بیش‌تر می‌تواند رویدادهای بارشی شدیدتری ایجاد کند. با این‌حال، افزایش بارندگی‌های شدید منجر به افزایش بارندگی در بیش‌تر نقاط ایران نشده است. نتایج کلی نشان داد که شواهد کمی (فقط در ایران مرکزی با آب‌وهوای خشک) مبنی بر این‌که افزایش در رویدادهای شدید بارندگی در دماهای بالاتر منجر به افزایش مشابهی در بارندگی سالانه می‌شود، به‌طوری‌که بیش‌تر مناطق در سراسر ایران کاهش بارندگی سالانه را با دماهای بالاتر نشان می‌دهند.

۴. نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر بررسی روند مکانی و زمانی متغیرهای بارش و دما در ایران پرداخته است. سه شاخص برای تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مکانی-زمانی بارش شدید و دو شاخص برای تغییرات دما طی طول دوره ۲۰۲۰-۱۹۵۱ استفاده شده است. در این مطالعه، برای تشخیص روند از آزمون ناپارامتری اسپیرمن استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشینه بارش سه

و ۲۴ ساعته در ایستگاه گرگان افزایشی است، اما بارش سالانه در این منطقه کاهش یافته است که این منطقه مستعد وقوع سیلاب‌های ناگهانی است. روند صعودی فراوانی و شدت بارش‌های شدید، خطر وقوع بارش‌های شدید و وقوع سیل را در نواحی مرکزی، غربی و شمالی ایران افزایش داده است. همچنین دمای هوا در اکثر مناطق ایران افزایش یافته است. در صورت تداوم چنین روندهای تاریخی در آینده، انتظار می‌رود که بارش‌های شدید افزایش یافته، درحالی‌که بارش سالانه در بخش وسیعی از ایران کاهش یابد. از نتایج مطالعه حاضر می‌توان برای تحلیل فراوانی سیل و خشکسالی استفاده کرد. بنابراین، باید اقدامات منطقه‌ای و ملی مناسبی برای مقابله با تهدیدات پدیده‌های حدی سیل و خشکسالی و پدیده‌های اقلیمی ناشی از تغییر اقلیم در این مناطق صورت گیرد.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

- 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, 361-382.
- Ahmadi, F., Nazeri Tahroudi, M., Mirabbasi, R., Khalili, K., & Jhajharia, D. (2018). Spatiotemporal trend and abrupt change analysis of temperature in Iran. *Meteorological Applications*, 25, 314-321.
- Alavinia, S. H., & Zarei, M. (2021). Analysis of spatial changes of extreme precipitation and temperature in Iran over a 50-year period. *International Journal of Climatology*, 41, E2269-E2289.
- Alijani, B. (2007). *Time series analysis of daily rainfall variability and extreme events*. Paper presented at the 10th international meeting on statistical climatology, Beijing, China.
- Asgari, A., Rahimzadeh, F., Mohammadian, N., & Fattahi, E. (2007). Trend analysis of extreme precipitation indices over Iran. *Iran-water resources research*, 3, 42-55. (In Persian)
- Balling, R. C., Keikhosravi Kiany, M. S., Sen Roy, S., & Khoshhal, J. (2016). Trends in Extreme Precipitation Indices in Iran: 1951–2007. *Advances in Meteorology*, 2456809.
- Dhorde, A. G., Zarenistanak, M., Kripalani, R. H., & Preethi, B. (2014). Precipitation analysis over southwest Iran: trends and projections. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 124, 205-216.
- Douglas, E. M., Vogel, R. M., & Kroll, C. N. (2000). Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *Journal of Hydrology*, 240, 90-105.
- Farhangi, M., Kholghi, M., & Chavoshian Seyyed, A. (2016). Rainfall Trend Analysis of Hydrological Subbasins in Western Iran. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142, 05016004.
- Fathian, F., Ghadami, M., Haghighi, P., Amini, M., Naderi, S., & Ghaedi, Z. (2020). Assessment of changes in climate extremes of temperature and precipitation over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 1119-1133.
- Groisman, P. Y., Knight, R. W., & Karl, T. R. (2001). Heavy Precipitation and High Streamflow in the Contiguous United States: Trends in the Twentieth Century. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, 219-246.
- Hekmatzadeh, A. A., Kaboli, S., & Torabi Haghighi, A. (2020). New indices for assessing changes in seasons and in timing characteristics of air temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 1247-1261.
- Jamali, M., & Eslamian, S. (2023). Chapter 14 - Parametric and nonparametric methods for analyzing the trend of extreme events. In: *Handbook of Hydroinformatics*. Eslamian, S. and Eslamian, F. (Eds.). Elsevier. pp. 223-237.
- Jamali, M., Gohari, A., Motamedi, A., & Haghighi, A. T. (2022). Spatiotemporal Changes in Air Temperature and Precipitation Extremes over Iran. *Water*, 14 (21), 3465. doi:10.3390/w14213465
- Kaboli, S., Hekmatzadeh, A. A., Darabi, H., & Haghighi, A. T. (2021). Variation in physical characteristics of rainfall in Iran, determined using daily rainfall concentration index and monthly rainfall percentage index. *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 507-520.

- Malekinezhad, H., & Zare-Garizi, A. (2014). Regional frequency analysis of daily rainfall extremes using L-moments approach. *Atmósfera*, 27, 411-427.
- Min, S.-K., Zhang, X., Zwiers, F. W., & Hegerl, G. C. (2011). Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature*, 470, 378-381.
- Modarres, R., & De Paulo Rodrigues Da Silva, V. (2007). Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments*, 70, 344-355.
- Modarres, R., & Sarhadi, A. (2009). Rainfall trends analysis of Iran in the last half of the twentieth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114.
- Mohammadi, B. (2011). Trend Analysis of annual rainfall over Iran. *Geography and Environmental Planning*, 22, 95-106.
- Rahimi, M., & Fatemi, S. S. (2019). Mean versus Extreme Precipitation Trends in Iran over the Period 1960–2017. *Pure and Applied Geophysics*, 176, 3717-3735.
- Raziei, T., Arasteh, P. D., & Saghafian, B. (2005). *Annual rainfall trend in arid and semi-arid regions of Iran*. Paper presented at the ICID 21st European regional conference.
- Raziei, T., Daryabari, J., Bordi, I., Modarres, R., & Pereira, L. S. (2014). Spatial patterns and temporal trends of daily precipitation indices in Iran. *Climatic Change*, 124, 239-253.
- Saboohi, R., Soltani, S., & Khodaghali, M. (2012). Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 109, 529-547.
- Serrano, A., Mateos, V. L., & Garcia, J. A. (1999). Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian peninsula for the period 1921–1995. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24, 85-90.
- Soltani, S., Saboohi, R., & Yaghmaei, L. (2012). Rainfall and rainy days trend in Iran. *Climatic Change*, 110, 187-213.
- Stefanidis, S., & Chatzichristaki, C. (2017). Response of soil erosion in a mountainous catchment to temperature and precipitation trends. *Carpathian Journal of Earth Sciences and Environment. Sci*, 12, 35-39.
- Tabari, H., & Marofi, S. (2011). Changes of Pan Evaporation in the West of Iran. *Water Resources Management*, 25, 97-111.
- Tabari, H., & Talaei, P. H. (2011). Temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005. *Journal of Hydrology*, 396, 313-320.
- Vincent, L. A., & Mekis, É. (2019). Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century. In: *Data, Models and Analysis*. (Eds.). Routledge. pp. 61-77.
- Westra, S., Alexander, L. V., & Zwiers, F. W. (2013). Global Increasing Trends in Annual Maximum Daily Precipitation. *Journal of Climate*, 26, 3904-3918.
- Westra, S., Fowler, H. J., Evans, J. P., Alexander, L. V., Berg, P., Johnson, F., Kendon, E. J., Lenderink, G., & Roberts, N. M. (2014). Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, 52, 522-555.
- Wright, D. B., Samaras, C., & Lopez-Cantu, T. (2021). Resilience to Extreme Rainfall Starts with Science. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102, E808-E813.
- Zhang, Q., Xu, C.-Y., Tao, H., Jiang, T., & Chen, Y. D. (2010). Climate changes and their impacts on water resources in the arid regions: a case study of the Tarim River basin, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24, 349-358.
- Zhang, Q., Xu, C.-Y., Zhang, Z., Chen, Y. D., Liu, C.-L., & Lin, H. (2008). Spatial and temporal variability of precipitation maxima during 1960–2005 in the Yangtze River basin and possible association with large-scale circulation. *Journal of Hydrology*, 353, 215-227.
- Zwiers, F. W., Alexander, L. V., Hegerl, G. C., Knutson, T. R., Kossin, J. P., Naveau, P., Nicholls, N., Schär, C., Seneviratne, S. I., & Zhang, X. (2013). Climate Extremes: Challenges in Estimating and Understanding Recent Changes in the Frequency and Intensity of Extreme Climate and Weather Events. In: *Climate Science for Serving Society: Research, Modeling and Prediction Priorities*. Arsar, G. R. and Hurrell, J. W. (Eds.). Springer Netherlands. Dordrecht. pp. 339-389.