



Semnan University

Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions

<https://ceasr.semnan.ac.ir>



Research Article

Evaluation of Long-Term Temperature and Precipitation Changes in 22 Cities of Iran over Six Decades (1958–2017)

Reza Shahandeh^a, and Azadeh Soltani^{b,*}

^aPhD student, Department of Arid and Semi-arid Regions, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.

^bPhD student, Department of Arid and Semi-arid Regions, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran.

ARTICLE INFO

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received:

Accepted:

Available online:

Keywords:

Climate change,
Temperature trends,
Precipitation variability,
Iran,
Long-term climate
analysis.

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: Climate change, as one of the major environmental challenges of the 21st century, has significantly altered global temperature and precipitation patterns, particularly in arid and semi-arid regions. Due to Iran's unique geographical location and diverse climatic conditions, it has experienced noticeable and concerning changes in its climate parameters over the recent decades. The main objective of this study is to conduct a comprehensive assessment of long-term trends in annual and seasonal temperature and precipitation in 22 selected cities across Iran over a 60-year period (1958–2017), and to analyse the underlying climatic patterns using robust statistical approaches.

Materials and Methods: In this study, annual mean temperature and precipitation data were collected from meteorological stations in 22 selected cities across the country. The cities were selected to ensure maximum representation of Iran's climatic diversity, ranging from the arid central regions to the humid northern and semi-arid western and southern areas. This geographical diversity allows for a more comprehensive analysis of climate variability across the nation. To detect climate trends, non-parametric statistical methods were employed, including the Mann–Kendall test to evaluate trend significance and the Sen's slope estimator to quantify the rate of change. Furthermore, the study period was divided into two 30-year intervals (1958–1987 and 1988–2017) to enable a more precise comparison of long-term climate changes over time.

Results: The results indicated that most cities experienced a statistically significant increase in annual temperature. In some areas, such as Mashhad, Tehran, and Sanandaj, the increase exceeded 1.5 °C. Conversely, cities like Bandar Abbas, Zanjan, and Shahrekord showed a relative cooling trend. The most notable temperature increases were observed during spring and summer. Regarding precipitation, over half of the studied cities experienced substantial declines in annual rainfall, including Tabriz (more than 22% decrease) and Kermanshah (over 50 mm reduction). However, cities such as Isfahan and Shiraz exhibited slight increases in precipitation. Seasonal analysis revealed that winter precipitation showed a declining trend in most regions, which may have serious environmental and social implications.

* Corresponding author: azadeh.soltani2228@semnan.ac.ir

Conclusion: The prevailing climatic trend in Iran over the past six decades is characterized by significant warming accompanied by declining precipitation in many regions. These changes can have numerous negative impacts, such as increased drought frequency, reduced water availability, agricultural stress, and a rise in natural hazards. The findings highlight the urgent need for targeted planning and implementation of adaptive strategies, including integrated water resources management, adoption of climate-resilient agricultural practices, and strengthening the resilience of vulnerable areas. It is also recommended that future studies focus on long-term predictive modeling and regional analyses to gain deeper insights into the evolving climate dynamics of the country.

Cite this article as: Shahandeh, R. and Soltani, A. (2024). Evaluation of long-term temperature and precipitation changes in 22 cities of Iran over six decades (1958–2017). *Climate and Ecosystem of Arid and Semi-arid Regions*, 2(1), 149-174.

© 2024 Published by Semnan University Press.
<https://doi.org/10.22075/CEASR.2025.37336.1047>



مقاله پژوهشی

ارزیابی تغییرات بلندمدت دما و بارش در ۲۲ شهر ایران طی شش دهه (۱۳۳۷-۱۳۹۶)

رضا شاهنده^۱ و آزاده سلطانی^{۲*}^۱ دانشجوی دکتری، گروه مناطق خشک و نیمه خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.^۲ دانشجوی دکتری، گروه مناطق خشک و نیمه خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

*: نویسنده مسئول، azadeh.soltani2228@semnan.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده مبسوط
نوع مقاله:	سابقه و هدف: تغییرات اقلیمی به عنوان یکی از چالش های مهم زیست محیطی قرن حاضر، الگوهای بارش و دمای کره زمین را به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک با نوسانات قابل توجهی مواجه کرده است. ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص و اقلیم متنوع، طی دهه های اخیر تغییرات محسوس و نگران کننده ای را در پارامترهای اقلیمی خود تجربه کرده است. هدف از این پژوهش، بررسی جامع روندهای بلندمدت دما و بارش سالانه و فصلی در ۲۲ شهر منتخب ایران طی دوره ۶۰ ساله (۱۹۵۸ تا ۲۰۱۷) و تحلیل الگوهای اقلیمی مؤثر در تغییرات مشاهده شده با استفاده از رویکردهای آماری معتبر است.
واژه های کلیدی:	مواد و روش ها: در این مطالعه، داده های میانگین سالانه دما و بارش از ایستگاه های هواشناسی ۲۲ شهر منتخب در سراسر کشور گردآوری شد. این شهرها با هدف پوشش دهی حداکثری تنوع اقلیمی ایران انتخاب شده اند، به طوری که از مناطق خشک مرکزی تا نواحی مرطوب شمالی و نیمه خشک غربی و جنوبی را در بر می گیرند. این تنوع جغرافیایی امکان تحلیل جامع تری از تغییرات اقلیمی در کشور را فراهم می سازد. برای تحلیل روند تغییرات اقلیمی، از روش های آماری ناپارامتری شامل آزمون من-کندال برای بررسی معناداری روندها و برآوردگر شیب سن برای محاسبه شدت تغییرات استفاده شد. همچنین، برای بررسی دقیق تر، دوره مطالعه به دو بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۵۸-۱۹۸۷ و ۱۹۸۸-۲۰۱۷) تقسیم شد تا بتوان تغییرات اقلیم در بازه های بلندمدت را با دقت بیشتری مقایسه و ارزیابی کرد.
تغییرات اقلیمی، روندهای دما، تغییرپذیری بارش، ایران، تحلیل اقلیمی بلندمدت.	یافته ها: نتایج نشان داد که روند افزایش دمای سالانه در بیشتر شهرهای کشور معنادار بوده و در برخی مناطق نظیر مشهد، تهران و سمنان میزان افزایش دما بیش از ۱٫۵ درجه سلسیوس گزارش شد. در مقابل، در شهرهایی نظیر بندرعباس، زنجان و شهرکرد روند دما کاهش نسبی داشته است. بیشترین افزایش دما عمدتاً در فصل بهار و تابستان مشاهده شد. از نظر بارندگی، بیش از نیمی از شهرهای مورد بررسی کاهش قابل توجهی را در بارش سالانه تجربه کرده اند، از جمله تبریز (کاهش بیش از ۲۲ درصد) و کرمانشاه (بیش از ۵۰ میلی متر کاهش). بالین حال، در برخی شهرها مانند اصفهان و شیراز روند بارندگی افزایشی بوده است. تحلیل فصلی نشان داد که بارندگی زمستانه در اغلب مناطق روند کاهشی داشته و این کاهش می تواند پیامدهای زیست محیطی و اجتماعی جدی در پی داشته باشد.

نتیجه‌گیری: الگوی غالب اقلیمی در ایران طی ۶۰ سال اخیر، گرمایش قابل توجه به‌همراه کاهش بارندگی در بسیاری از مناطق بوده است. این تغییرات می‌تواند اثرات منفی متعددی نظیر افزایش خشکسالی، کاهش منابع آب، تنش در کشت محصولات زراعی و افزایش بروز مخاطرات طبیعی را به همراه داشته باشند. نتایج این پژوهش بر ضرورت برنامه‌ریزی دقیق و اجرای سیاست‌های انطباقی نظیر مدیریت یکپارچه منابع آب، بهره‌گیری از شیوه‌های کشاورزی مقاوم به تغییرات اقلیمی، و تقویت ظرفیت تاب‌آوری مناطق آسیب‌پذیر تأکید دارد. همچنین پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی با تمرکز بر مدل‌های پیش‌بینی بلندمدت و تحلیل‌های منطقه‌ای انجام گیرد تا ابعاد دقیق‌تری از تغییرات اقلیمی در کشور آشکار گردد.

استناد: شاهنده، ر. و سلطانی، آ. (۱۴۰۴). ارزیابی تغییرات بلندمدت دما و بارش در ۲۲ شهر ایران طی شش دهه (۱۳۳۷-۱۳۹۶). *اقلیم و بوم‌سازگان مناطق خشک و نیمه‌خشک*، ۲(۱)، ۱۷۴-۱۴۹.

Doi: <https://doi.org/10.22075/CEASR.2025.37336.1047>

ناشر: دانشگاه سمنان

۱- مقدمه

در قرن‌های گذشته، آب‌وهوای زمین تغییرات متعددی را تجربه کرده است که این تغییرات می‌توانند در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت یا بلندمدت رخ دهند. بررسی این پدیده از طریق تأثیرات آن بر محیط طبیعی امکان‌پذیر است (Alijani و Kavyani, ۲۰۰۱). مطالعات نشان می‌دهند که میانگین دمای کره زمین در سال ۲۰۲۲ نسبت به سال ۲۰۲۰، حدود ۰/۷۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. تغییر اقلیم تأثیرات گسترده‌ای بر زندگی بشر و محیط طبیعی دارد و برخی محققان آن را یکی از مهم‌ترین تهدیدات جهانی می‌دانند (Ghazali و Zibaei, ۲۰۰۱؛ Shahvali و Abedi Sarvastani, ۲۰۰۶).

در سال‌های اخیر، گرمایش جهانی و تغییر اقلیم به یک چالش جدی در سطح بین‌المللی تبدیل شده است که نگرانی بسیاری از کشورها، از جمله ایران، را برانگیخته است (Nguyen و همکاران, ۲۰۱۶). عوامل اصلی این تغییرات شامل نوسانات سامانه‌های اقلیمی و تأثیر عوامل انسانی است (Yu و همکاران, ۲۰۰۶). پیامدهای این پدیده شامل افزایش دما، تغییر در الگوهای بارش، افزایش سطح آب دریاها، و تشدید رخدادهای حدی مانند سیلاب و خشکسالی است (Drolet و Simpson, ۲۰۱۷). تغییرات دمایی می‌تواند منجر به تغییر در ترکیب گونه‌های گیاهی و جانوری، افزایش امواج گرمایی، و اختلال در دسترسی به منابع آب شود که این مسائل، امنیت غذایی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rahmani و همکاران, ۲۰۱۶). شناخت روند تغییرات اقلیمی، به‌ویژه تغییرات دما و بارش، برای تدوین راهکارهای مدیریتی و تصمیم‌گیری در حوزه‌هایی نظیر منابع آب، کشاورزی و مدیریت بحران ضروری است (Khoshrokh و همکاران, ۲۰۱۷). طبق پیش‌بینی‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، میانگین دمای زمین تا سال ۲۱۰۰ بین ۱/۸ تا ۴ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت که این میزان می‌تواند بقای بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری را تهدید کند (FAO, ۲۰۰۷).

مطالعات مختلفی در سطح جهانی و منطقه‌ای به بررسی تغییر اقلیم پرداخته‌اند. بررسی روند تغییرات دما و بارش می‌تواند تأثیر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی را نشان دهد (Namadi Ekwoom و Chukwuka Agonamba, ۲۰۲۱). به‌عنوان نمونه، Amadi و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی در منطقه Enugu نیجریه، نشان دادند که تغییر اقلیم می‌تواند موجب کاهش بهره‌وری کشاورزی و تهدید پایداری آن شود. در ایران نیز مطالعاتی در مناطق مختلف انجام شده است که نشان می‌دهد دمای شبانه‌روزی کشور طی یک قرن گذشته حدود ۲ درجه سلسیوس افزایش یافته و وسعت مناطق خشک گسترش یافته است (Najafi و همکاران, ۲۰۱۷؛ Gholami و همکاران, ۲۰۱۷). علاوه بر این، ایران با انتشار سالانه ۷۴۱/۶۱۶ میلیون تن دی‌اکسید کربن به‌عنوان یکی از تولیدکنندگان اصلی این گاز در منطقه خاورمیانه شناخته می‌شود (دانشور و همکاران, ۲۰۱۹).

تغییر اقلیم نه تنها تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارد، بلکه پیامدهای جدی نیز برای محیط‌زیست و جوامع انسانی به همراه داشته است که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، افزایش فشار بر منابع طبیعی و اکوسیستم‌ها در دهه‌های اخیر است (Najaf pour, ۲۰۰۷). به‌دلیل آثار گسترده تغییر اقلیم بر طرح‌های اجرایی و برنامه‌ریزی‌های کلان، مطالعات اقلیمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Wamsler و همکاران, ۲۰۱۳). از اوایل قرن بیستم، مطالعات مرتبط با تغییرات اقلیمی با استفاده از روش‌های آماری و تحلیل سری‌های زمانی گسترش یافته است (Michel, ۱۹۹۶؛ Jones و همکاران, ۱۹۸۶؛ Wilk, ۲۰۱۱؛ Semenov و Barrow, ۲۰۰۲).

این مطالعات نشان داده‌اند که تغییر در متغیرهای اقلیمی، از جمله افزایش دی‌اکسید کربن، موجب افزایش دما و تغییر در میزان بارندگی شده است. بررسی تغییرات اقلیمی معمولاً با روش‌های آماری پارامتریک و ناپارامتریک انجام می‌شود (Hamed و Rao, ۱۹۹۸؛ Hajjam و همکاران, ۲۰۰۸). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که روش‌های ناپارامتریک مانند آزمون من-کندال دقت بیشتری نسبت به روش‌های پارامتریک دارند (Yue و همکاران, ۲۰۰۴ a,b).

هدف این پژوهش، بررسی روند تغییرات دما و بارش در ۲۲ شهر ایران طی یک دوره ۶۰ ساله (۱۳۳۷ تا ۱۳۹۶) است. این مطالعه با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتریک، تغییرات اقلیمی این مناطق را ارزیابی کرده و اطلاعات ارزشمندی برای پیش‌بینی‌های آینده و مدیریت پایدار منابع طبیعی ارائه داده است. نوآوری این تحقیق در مقایسه با مطالعات گذشته، استفاده از دوره زمانی طولانی‌تر، تحلیل جامع‌تر تغییرات دما و بارش، و بررسی تأثیرات آن بر مناطق مختلف کشور است.

۲. مواد و روش‌ها

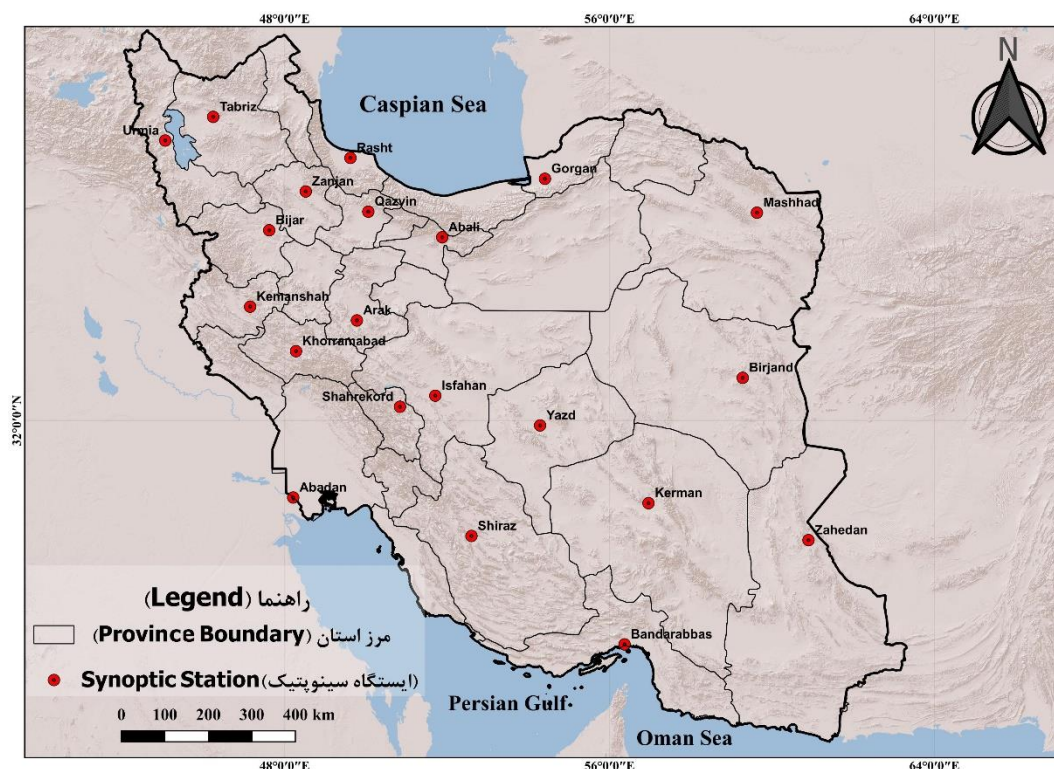
۲-۱. منطقه پژوهش

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، کشور ایران است. به دلیل وسعت جغرافیایی و تنوع توپوگرافی، ایران دارای اقلیم‌های متنوعی از جمله خشک، نیمه‌خشک، مرطوب، مدیترانه‌ای و کوهستانی است. این تنوع اقلیمی منجر به تفاوت‌های مکانی قابل توجهی در پارامترهای هواشناسی مانند دما، بارش و تبخیر و تعرق می‌شود. برای نمایندگی مناسب این اقلیم‌ها، ۶۰ ایستگاه سینوپتیک دارای داده‌های بلندمدت و با کیفیت از سازمان هواشناسی کشور (IRIMO) انتخاب شده‌اند. مشخصات مکانی این ایستگاه‌ها شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا ثبت شده و اسامی آن‌ها در جدول ۱ و موقعیت‌شان در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. لیست شهرهای مورد مطالعه

Table 1. List of the studied cities

نام شهر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام شهر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
City name	Longitude	Latitude	City name	Longitude	Latitude
ارومیه	45°04'	37°33'	کرمان	51°40'	32°38'
Urmia			Kerman		
تبریز	46°30'	38°08'	کرمانشاه	47°04'	34°19'
Tabriz			Kermanshah		
اصفهان	51°40'	32°38'	گرگان	54°48'	36°00'
Isfahan			Gorgan		
تهران	51°23'	35°41'	رشت	49°36'	37°16'
Tehran			Rasht		
شهرکرد	50°60'	32°32'	خرم‌آباد	48°35'	33°48'
Shahrekord			Khorramabad		
بیرجند	59°13'	32°52'	رامسر	51°07'	37°29'
Birjand			Ramsar		
مشهد	59°15'	35°43'	اراک	49°07'	34°08'
Mashhad			Arak		
آبادان	48°30'	30°33'	بندرعباس	56°27'	27°18'
Abadan			Bandar Abbas		
زنجان	48°48'	37°06'	یزد	54°36'	32°29'
Zanjan			Yazd		
زاهدان	61°25'	29°50'	قزوین	50°00'	36°16'
Zahedan			Qazvin		
شیراز	52°32'	29°36'	سنندج	47°39'	35°31'
Shiraz			Sanandaj		



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرهای مورد مطالعه در تقسیمات سیاسی ایران

Fig. 1 Location map of the studied cities

۲-۲. تحلیل روند

در این تحقیق، میانگین بارندگی سالانه و میانگین دمای سالانه به عنوان شاخص‌های آماری خام ثبت شده مورد استفاده قرار گرفته است. برای بررسی تغییرات اقلیمی، میانگین دما و بارندگی در دو دوره ۳۰ ساله، یعنی ۱۳۳۷ تا ۱۳۶۶ (دوره اول) و ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶ (دوره دوم)، محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل آمار دما و بارندگی سالانه به عنوان شاخص‌های آماری خام ثبت شده از ایستگاه‌های اقلیمی معتبر است.

در این مطالعه، به منظور تحلیل روندهای بلندمدت دما و بارش در ۲۲ شهر منتخب ایران، از روش‌های آماری ناپارامتری استفاده شده است. این روش‌ها به دلیل مقاومت بالای خود در برابر داده‌های پرت و عدم نیاز به توزیع نرمال، برای داده‌های اقلیمی مناسب‌تر هستند. مهم‌ترین تکنیک‌های آماری مورد استفاده شامل آزمون روند من-کندال و برآوردگر شیب سن می‌باشند.

الف) آزمون روند من-کندال

آزمون من-کندال یک آزمون ناپارامتری است که برای شناسایی روندهای یکنواخت (افزایشی یا کاهش) در سری‌های زمانی اقلیمی به کار می‌رود (کندال، ۱۹۵۷). این آزمون بررسی می‌کند که آیا روند مشخصی در داده‌ها وجود دارد یا تغییرات مشاهده شده صرفاً تصادفی هستند.

فرضیه‌های آزمون:

- فرض صفر (H_0): هیچ روندی در داده‌ها وجود ندارد (داده‌ها به صورت تصادفی در طول زمان توزیع شده‌اند).
- فرض مقابل (H_1): روند افزایشی یا کاهش معناداری در داده‌ها وجود دارد.

آزمون (S):

آزمون من-کندال مقدار آماره S را با مقایسه تعداد زوج‌های افزایشی و کاهش در مجموعه داده محاسبه می‌کند:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \text{sign}(X_j - X_i) \quad (1)$$

در این رابطه :

$$\text{sign}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1, & \text{if } X_j > X_i \\ 0, & \text{if } X_j = X_i \\ -1, & \text{if } X_j < X_i \end{cases} \quad (2)$$

محاسبه واریانس (Var (S)) و مقدار Z :

برای ارزیابی معناداری روند، مقدار S استاندارد شده و مقدار Z محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

اگر مقدار مطلق Z از مقدار بحرانی توزیع نرمال استاندارد (معمولاً ± 1.96 در سطح اطمینان ۹۵ درصد) بیشتر باشد، فرض صفر رد شده و وجود یک روند معنادار تأیید می‌شود.

ب) برآوردگر شیب سن

برای برآورد میزان تغییرات روند شناسایی شده، از برآوردگر شیب سن استفاده می‌شود. این روش، مقدار میانه شیب بین تمامی جفت‌های ممکن از نقاط زمانی را محاسبه می‌کند:

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k}, \forall j > k \quad (4)$$

که در آن X_j و X_k مقادیر متغیر در زمان‌های j و k هستند. مقدار نهایی شیب روند به صورت میانه تمامی مقادیر Q به دست می‌آید:

$$Q_{\text{median}} = (Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \quad (5)$$

اگر مقدار Q_{median} مثبت باشد، روند افزایشی و اگر منفی باشد، روند کاهشی خواهد بود.

ج) آزمون پتیت (برای شناسایی نقطه تغییر - اختیاری)

برای تشخیص سالی که تغییر قابل توجهی در روند اقلیمی رخ داده است، از آزمون پتیت استفاده می‌شود. این آزمون بر اساس اختلاف‌های رتبه‌ای قبل و بعد از هر نقطه احتمالی تغییر محاسبه می‌شود.

- اگر مقدار آماره آزمون از حد بحرانی بیشتر باشد، تغییر معناداری در داده‌ها شناسایی می‌شود.

د) آزمون‌های همگنی داده‌ها (برای بررسی سازگاری داده‌ها)

برای اطمینان از قابل اعتماد بودن داده‌های اقلیمی و حذف تغییرات ناشی از جابه‌جایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری یا تغییر در روش‌های اندازه‌گیری، از آزمون‌های همگنی زیر استفاده می‌شود:

- آزمون همگنی استاندارد نرمال (SNHT)

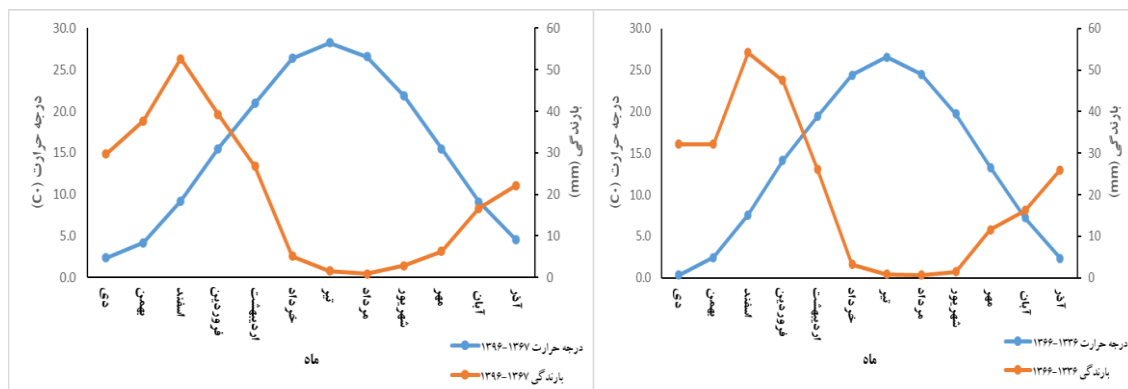
- آزمون بوشاند (Buishand's Test)

۳. نتایج و بحث

تغییرات بارندگی و دمای سالانه در هر یک از شهرهای مطالعه شده به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است.

مشهد

بر اساس نتایج حاصل از آزمون شیب خط سن، تغییرات بارش سالانه در این شهر از نظر آماری معنادار نبوده است. با این حال، میانگین سالانه بارندگی کاهش اندکی (حدود ۱۱ میلی‌متر، کمتر از ۴ درصد) را نشان می‌دهد. در مقابل، دمای هوا افزایش معناداری داشته و در این شهر، میانگین دما حدود ۲ درجه سلسیوس افزایش یافته است؛ که این میزان، بیشترین افزایش دما در میان شهرهای مورد بررسی محسوب می‌شود (شکل ۲). در بین فصول، بیشترین افزایش دما در فصل پاییز مشاهده شده است. افزایش دمای دو درجه‌ای می‌تواند منجر به تغییرات گسترده زیست‌محیطی شده و مشکلاتی نظیر تشدید کم‌آبی را در منطقه به همراه داشته باشد.

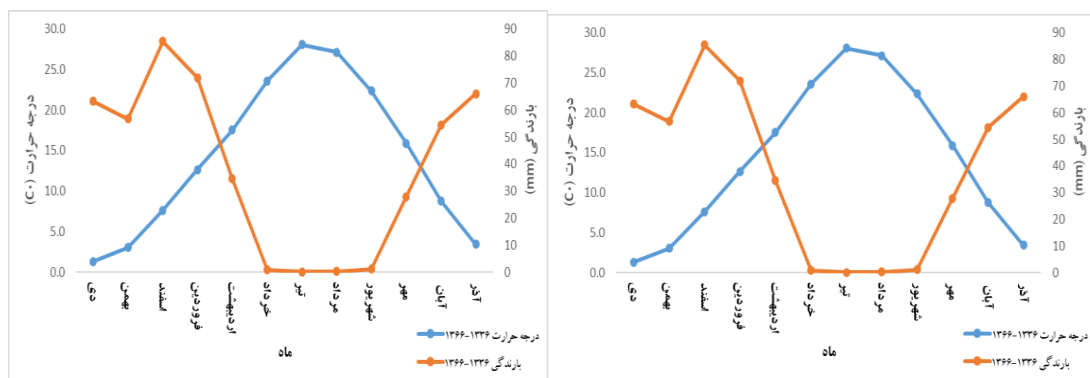


شکل ۲. تغییرات بارش و دمای شهر مشهد طی دوره‌های (۱۳۶۷-۱۳۹۶) و (۱۳۳۶-۱۳۶۶)

Fig. 2 Changes in precipitation and temperature in Mashhad city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

کرمانشاه

میزان بارندگی سالانه در شهر کرمانشاه بر اساس تغییرات شیب خط سن حدود ۵۲ میلی‌متر (بیش از ۱۱ درصد) کاهش یافته است. بیشترین کاهش بارندگی در فصل بهار مشاهده شده است. همچنین، این شهر افزایش دمای سالانه‌ای در حدود ۱/۳ درجه سلسیوس را تجربه کرده و بیشترین افزایش دما مربوط به فصل بهار با بیش از ۱/۵ درجه بوده است (شکل ۳). این کاهش بارندگی همراه با افزایش دما می‌تواند موجب کاهش رطوبت خاک، افت سطح آب‌های زیرزمینی، کاهش تولید محصولات کشاورزی، و افزایش خطر خشکسالی‌های متوالی در منطقه شود. تغییرات دمایی در فصل بهار همچنین می‌تواند چرخه رویش گیاهان را مختل کرده و به اکوسیستم‌های بومی فشار وارد کند.

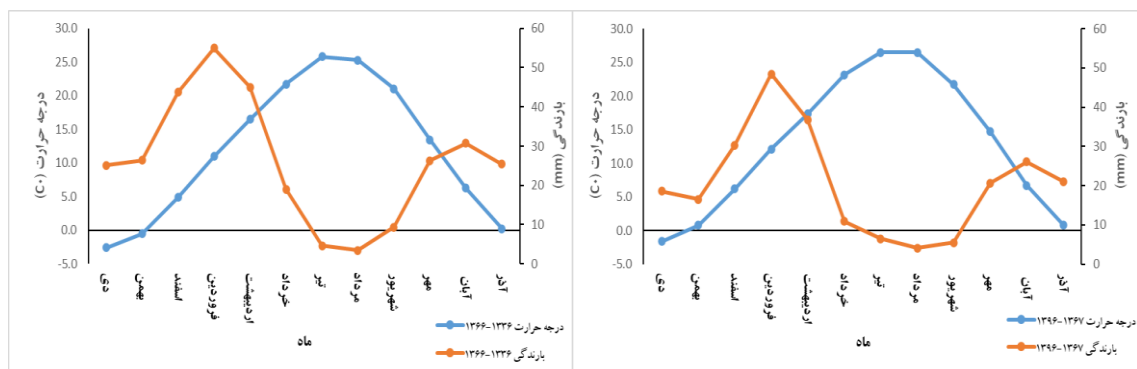


شکل ۳. تغییرات بارش و دمای شهر کرمانشاه طی دوره‌های (۱۳۳۶-۱۳۶۶) و (۱۳۹۶-۱۳۶۷)

Fig. 3 Changes in precipitation and temperature in Kermanshah city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

تبریز

بر اساس تغییرات شیب خط سن، شهر تبریز در دوره اخیر (۱۳۶۷-۱۳۹۶) نسبت به دوره پیشین (۱۳۳۷-۱۳۶۶) با کاهش بارندگی بیش از ۶۸ میلی‌متر (معادل حدود ۲۲ درصد) مواجه بوده است. این کاهش عمدتاً در بارش‌های زمستانه رخ داده است. همچنین دمای سالانه در این شهر حدود ۱ درجه سلسیوس (بیش از ۸ درصد) افزایش یافته و فصل بهار بیشترین افزایش دما را در بین فصل‌ها نشان داده است (شکل ۴). کاهش شدید بارش زمستانه در تبریز می‌تواند اثرات منفی قابل توجهی بر ذخایر آبی و تغذیه سفره‌های زیرزمینی داشته باشد. از سوی دیگر، افزایش دمای بهار می‌تواند تبخیر و تعرق را افزایش داده و نیاز آبی گیاهان را در آغاز فصل رشد به‌طور قابل توجهی بالا ببرد، که به ویژه در شرایط کم‌آبی، تهدیدی جدی برای کشاورزی منطقه محسوب می‌شود.

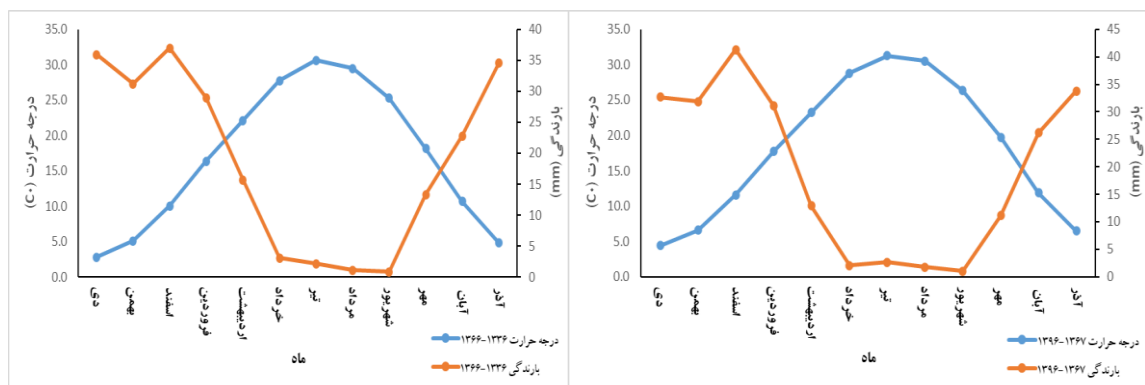


شکل ۴. تغییرات بارش و دمای شهر تبریز طی دوره‌های (۱۳۶۶-۱۳۹۶ و ۱۳۳۶-۱۳۶۶)

Fig. 4 Changes in precipitation and temperature in Tabriz city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

تهران

میزان بارندگی سالانه در شهر تهران طی دوره ۶۰ ساله تغییر معناداری نداشته است. با این حال، دمای سالانه در این بازه زمانی حدود ۱/۳ درجه سلسیوس افزایش یافته است. بیشترین افزایش دما در فصل‌های زمستان و پاییز با بیش از ۱/۵ درجه مشاهده شده است (شکل ۵). افزایش دمای سالانه در تهران، به‌ویژه در فصول سرد، موجب تشدید پدیده جزیره حرارتی شهری، افزایش مصرف انرژی برای سرمایش و گرمایش، و کاهش ذخیره برف در ارتفاعات اطراف می‌شود که خود نقش مهمی در تأمین منابع آب شهر دارد. این افزایش دما می‌تواند الگوی بارش‌های برفی را به بارش‌های مایع تبدیل کرده و سیلاب‌های ناگهانی را افزایش دهد.

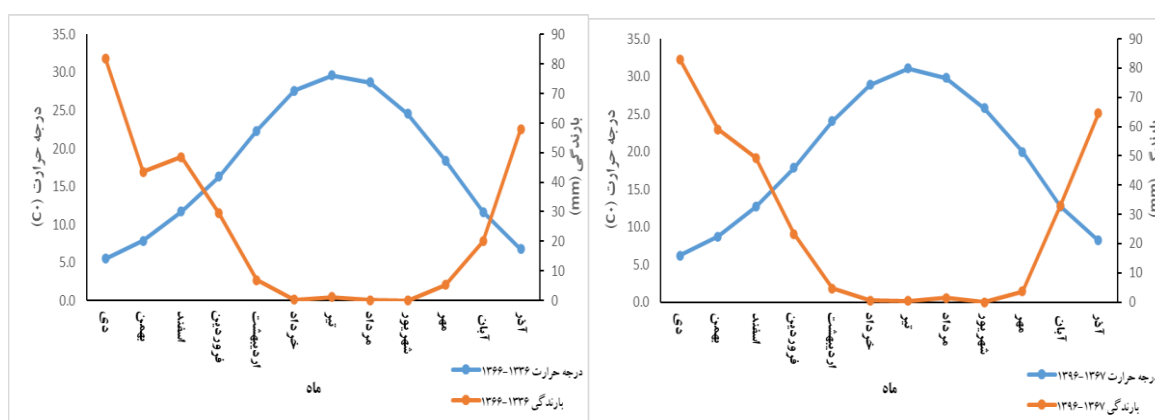


شکل ۵. تغییرات بارش و دمای شهر تهران طی دوره‌های (۱۳۳۶-۱۳۹۶ و ۱۳۶۷-۱۳۹۶)

Fig. 5 Changes in precipitation and temperature in Tehran city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

شیراز

تغییرات شیب خط سن نشان می‌دهد که شهر شیراز با افزایش بارندگی سالانه‌ای در حدود ۲۸ میلی‌متر (بیش از ۹ درصد) مواجه بوده است. فصل پاییز بیشترین میزان افزایش بارندگی را داشته است. همچنین، دمای سالانه در این شهر حدود ۱/۳ درجه سلسیوس افزایش یافته که بیشترین افزایش آن در فصل بهار مشاهده شده است (شکل ۶). افزایش همزمان بارندگی و دما می‌تواند شرایط پیچیده‌ای برای منابع طبیعی و کشاورزی ایجاد کند. افزایش بارش‌های پاییزی اگر با شدت بالا همراه باشد، می‌تواند خطر وقوع سیلاب‌ها را افزایش دهد. همچنین، افزایش دمای بهار ممکن است منجر به رشد زود هنگام پوشش گیاهی و افزایش تبخیر شود که در نهایت تعادل آبی منطقه را دچار چالش می‌سازد.

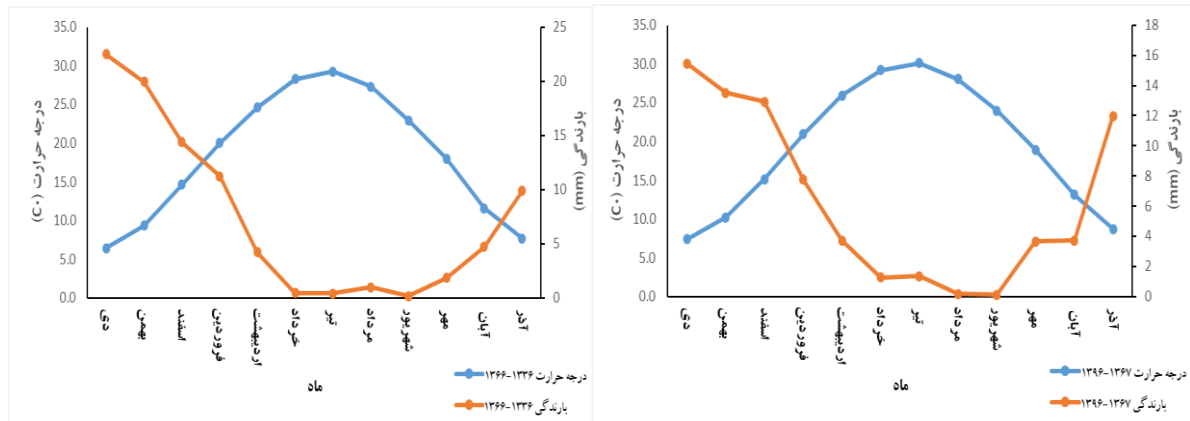


شکل ۶. تغییرات بارش و دمای شهر شیراز طی دوره‌های (۱۳۳۶-۱۳۹۶ و ۱۳۶۷-۱۳۹۶)

Fig. 6 Changes in precipitation and temperature in Shiraz city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

زاهدان

میزان بارندگی سالانه در شهر زاهدان با توجه به تغییرات شیب خط سن، بیش از ۱۶ درصد کاهش یافته است که این کاهش عمدتاً در فصل زمستان رخ داده است. همچنین، دمای سالانه در این شهر حدود ۱ درجه سلسیوس افزایش یافته و بیشترین افزایش دما در فصل پاییز گزارش شده است (شکل ۷). کاهش بارندگی زمستانه همراه با افزایش دمای پاییزی، شرایط خشکی و بیابان‌زایی را در این منطقه تشدید می‌کند. افت رطوبت خاک، افزایش گرد و غبار، کاهش عملکرد گیاهان بومی و افزایش نیاز آبی از جمله پیامدهای مهم این تغییرات اقلیمی هستند. این روند می‌تواند پایداری منابع آب و معیشت جوامع محلی را با تهدید مواجه سازد.

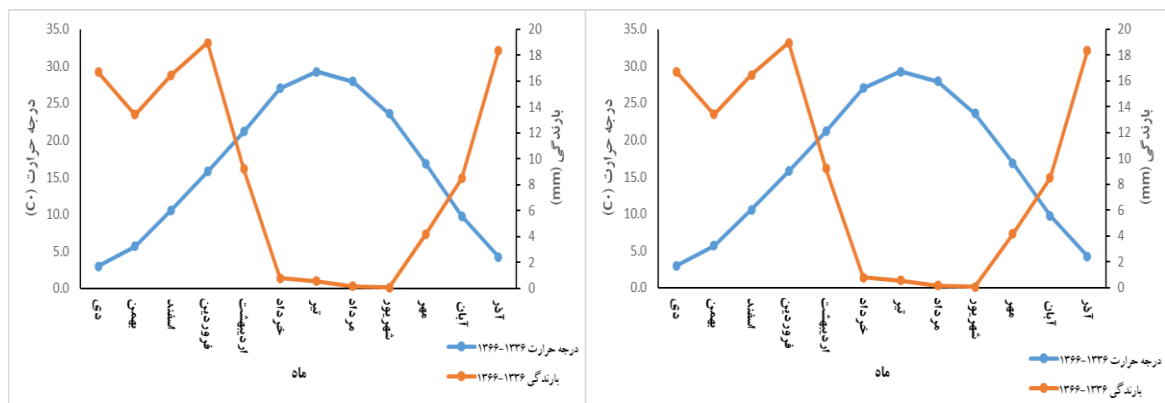


شکل ۷. تغییرات بارش و دمای شهر زاهدان طی دوره‌های (۱۳۳۶-۱۳۳۷ و ۱۳۹۶-۱۳۹۷)

Fig. 7 Changes in precipitation and temperature in Zahedan city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

اصفهان

بر اساس تغییرات شیب خط سن، شهر اصفهان با حدود ۲۴ میلی‌متر (۲۲ درصد) افزایش بارندگی سالانه مواجه بوده است، که تغییری چشم‌گیر در اقلیم خشک منطقه محسوب می‌شود. بیشترین افزایش بارندگی در فصل زمستان (حدود ۱۵ میلی‌متر) رخ داده است. همچنین، دمای سالانه حدود ۰/۸ درجه سلسیوس افزایش یافته و فصل بهار گرم‌ترین فصل نسبت به دوره گذشته بوده است (شکل ۸). افزایش هم‌زمان بارش و دما در اصفهان می‌تواند با بهبود نسبی وضعیت منابع آبی همراه باشد، اما افزایش دمای بهار ممکن است تبخیر و تفرق را بالا برده و اثر مثبت بارندگی را تا حدی خنثی کند. تغییرات دما همچنین می‌تواند بر الگوی رشد گیاهان و زمان‌بندی کشت‌های زراعی تأثیرگذار باشد.

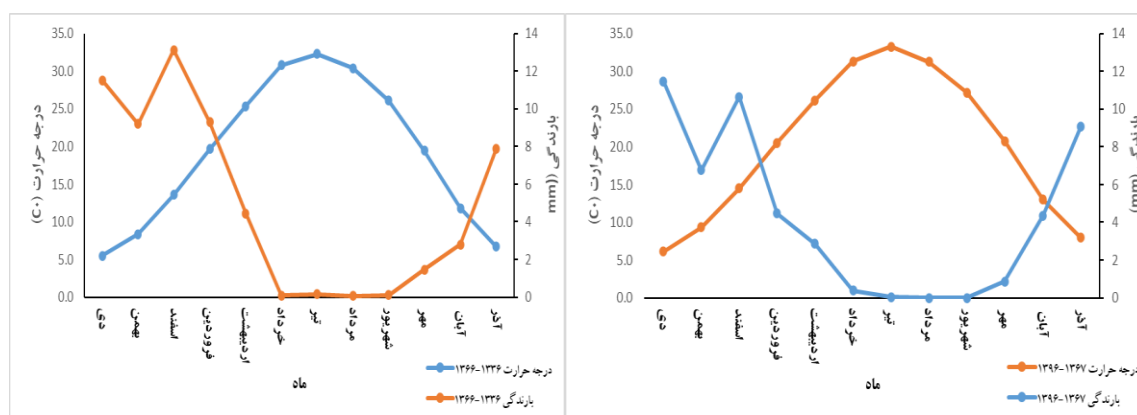


شکل ۸. تغییرات بارش و دمای شهر اصفهان طی دوره‌های (۱۳۳۶-۱۳۳۷ و ۱۳۹۶-۱۳۹۷)

Fig. 8 Changes in precipitation and temperature in Isfahan city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

یزد

بارندگی سالانه در شهر یزد بر اساس تغییرات شیب خط سن، بیش از ۹ میلی‌متر (حدود ۱۵ درصد) کاهش یافته است. بیشترین افت بارندگی مربوط به فصل بهار بوده است. دمای سالانه نیز در این شهر حدود ۱ درجه سلسیوس افزایش یافته و فصل پاییز بیشترین افزایش دما را داشته است (شکل ۹). کاهش بارندگی بهاری می‌تواند چرخه طبیعی پوشش گیاهی منطقه را مختل کند و در ترکیب با افزایش دمای پاییز، منجر به تشدید بیابان‌زایی، افت رطوبت خاک، و افزایش فرسایش بادی شود. این روند برای اقلیم خشک و نیمه‌خشک یزد چالش‌های زیست‌محیطی جدی به همراه دارد.

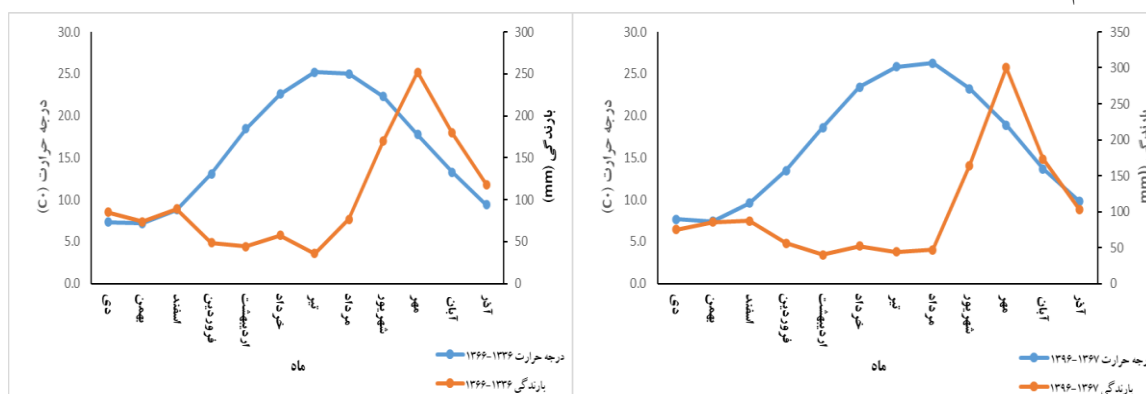


شکل ۹. تغییرات بارش و دمای شهر یزد طی دوره‌های (۱۳۶۶-۱۳۹۶ و ۱۳۶۶-۱۳۹۶)

Fig. 9 Changes in precipitation and temperature in Yazd city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

رامسر

شهر رامسر تغییر چشم‌گیری در میزان بارندگی نداشته است. با این حال، دمای سالانه حدود ۰/۶ درجه سلسیوس افزایش یافته و بیشترین افزایش دما در فصل تابستان رخ داده است (شکل ۱۰). هرچند بارندگی پایدار مانده، افزایش دمای تابستان می‌تواند فشار بر منابع آب را از طریق افزایش مصرف آب و تبخیر بالا ببرد. این تغییرات ممکن است به‌ویژه در بخش کشاورزی و اکوسیستم‌های حساس شمال کشور اثرگذار باشد.

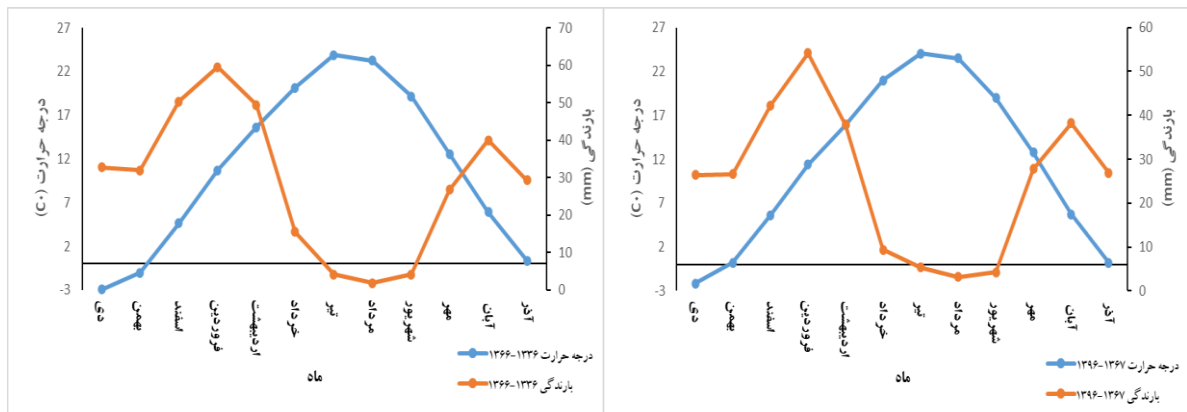


شکل ۱۰. تغییرات بارش و دمای شهر رامسر طی دوره‌های (۱۳۶۶-۱۳۹۶ و ۱۳۶۶-۱۳۹۶)

Fig. 10 Changes in precipitation and temperature in Ramsar city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

ارومیه

تغییرات شیب خط سن نشان می‌دهد که بارندگی سالانه در شهر ارومیه بیش از ۴۳ میلی‌متر (حدود ۱۲/۵ درصد) کاهش یافته است. بیشترین کاهش در فصل بهار رخ داده، در حالی که بارش تابستانه با افزایش از ۱۰ به ۱۳ میلی‌متر همراه بوده است. دمای سالانه نیز حدود ۴ درصد افزایش داشته که بیشترین افزایش دما در فصل زمستان (حدود ۱ درجه) ثبت شده است (شکل ۱۱). کاهش بارندگی بهاره در ارومیه، که یکی از فصل‌های مهم تأمین آب گیاهان است، می‌تواند بر روند تغذیه دریاچه ارومیه تأثیر منفی بگذارد. افزایش دمای زمستان نیز الگوهای برفی منطقه را مختل کرده و بر منابع آب و تعادل حرارتی خاک اثرگذار است.

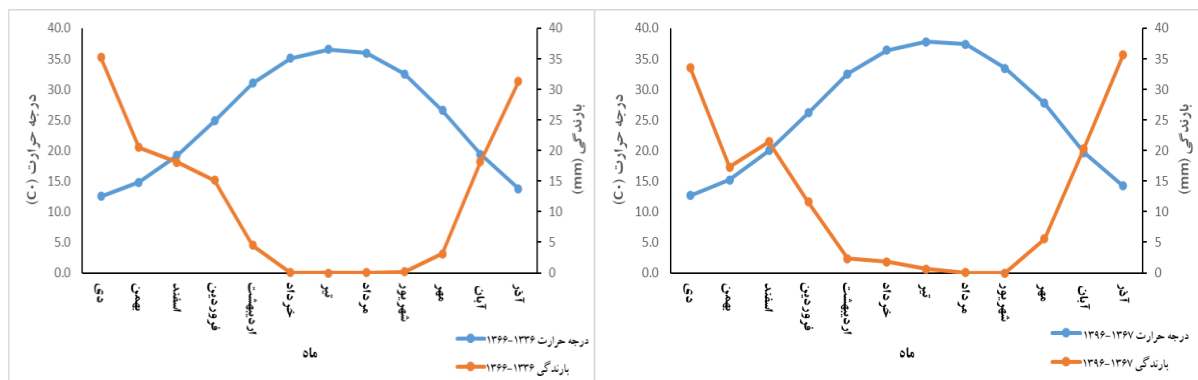


شکل ۱۱. تغییرات بارش و دمای شهر ارومیه طی دوره‌های (۱۳۹۶-۱۳۶۷ و ۱۳۳۶-۱۳۶۶)

Fig. 11 Changes in precipitation and temperature in Urmia city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

آبادان

میزان بارندگی در شهر آبادان تغییر چندانی نداشته است. اما دمای سالانه در این شهر حدود ۱ درجه سلسیوس افزایش یافته و فصل بهار بیشترین افزایش دما را داشته است (شکل ۱۲). افزایش دمای بهاره در مناطق گرمسیری مانند آبادان می‌تواند موج‌های گرمایی شدیدتری را به دنبال داشته باشد و فشار مضاعفی بر سامانه‌های آبیاری و سلامت عمومی وارد کند. این روند همچنین تبخیر سطحی را افزایش داده و منابع آبی را تهدید می‌کند.

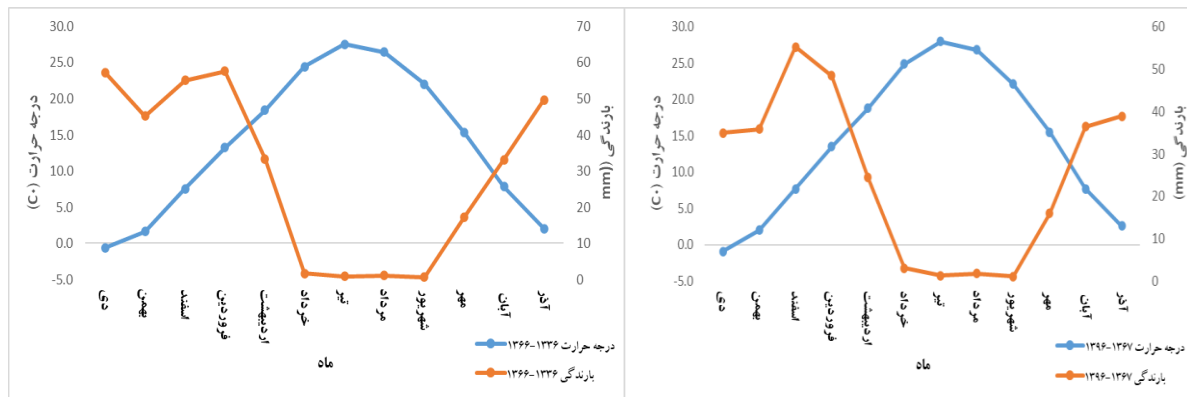


شکل ۱۲. تغییرات بارش و دمای شهر آبادان طی دوره‌های (۱۳۹۶-۱۳۶۷ و ۱۳۳۶-۱۳۶۶)

Fig. 12 Changes in precipitation and temperature in Abadan city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

اراک

شهر اراک با کاهش بیش از ۵۵ میلی‌متر بارندگی سالانه (معادل ۱۶ درصد) بر اساس تغییرات شیب خط سن، مواجه بوده است. بیشترین کاهش در فصل زمستان ثبت شده است. دمای سالانه در این شهر تغییر محسوسی نداشته است (شکل ۱۳). کاهش بارندگی زمستانه موجب کاهش ذخایر برفی و کاهش روان‌آب‌های بهاره می‌شود که بر تأمین منابع آب و تغذیه سدها و قنوات اثر منفی دارد. در نبود افزایش دما، کاهش بارندگی همچنان تهدیدی برای منابع طبیعی و کشاورزی منطقه محسوب می‌شود.

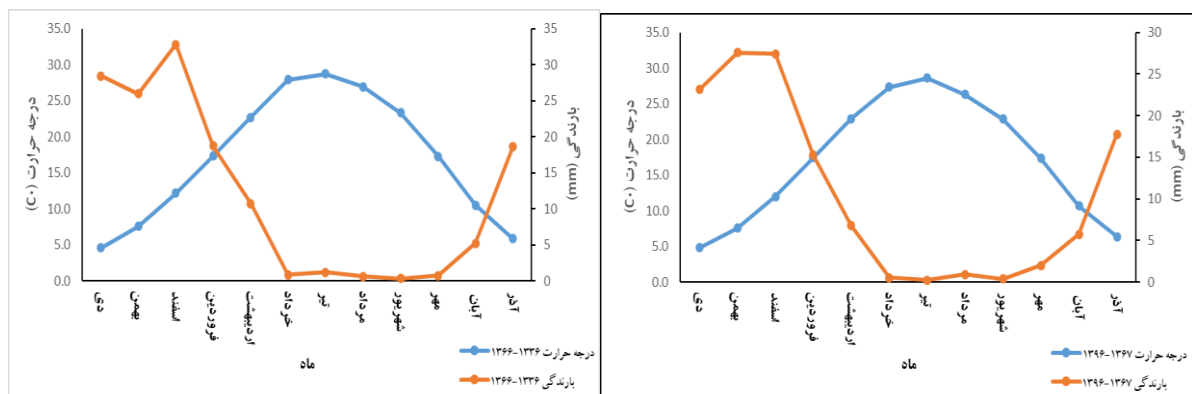


شکل ۱۳. تغییرات بارش و دمای شهر اراک طی دوره‌های (۱۳۹۶-۱۳۶۷ و ۱۳۳۶-۱۳۶۶)

Fig. 13 Changes in precipitation and temperature in Arak city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

کرمان

بررسی تغییرات شیب خط سن نشان می‌دهد که شهر کرمان با کاهش حدود ۱۷ میلی‌متر (بیش از ۱۱ درصد) بارندگی سالانه روبه‌رو بوده است. بیشترین کاهش در فصل زمستان رخ داده است. دمای سالانه در این شهر افزایش محسوسی نداشته است (شکل ۱۴). کاهش بارندگی در فصول سرد موجب تضعیف تغذیه منابع آب زیرزمینی می‌شود. عدم تغییر محسوس در دما اگرچه تا حدی فشار تبخیر را پایین نگه داشته، اما کاهش بارندگی به‌تنهایی کافی است تا ناپایداری‌های زیست‌محیطی مانند افت سطح آب‌های زیرزمینی و بیابان‌زایی را در پی داشته باشد.

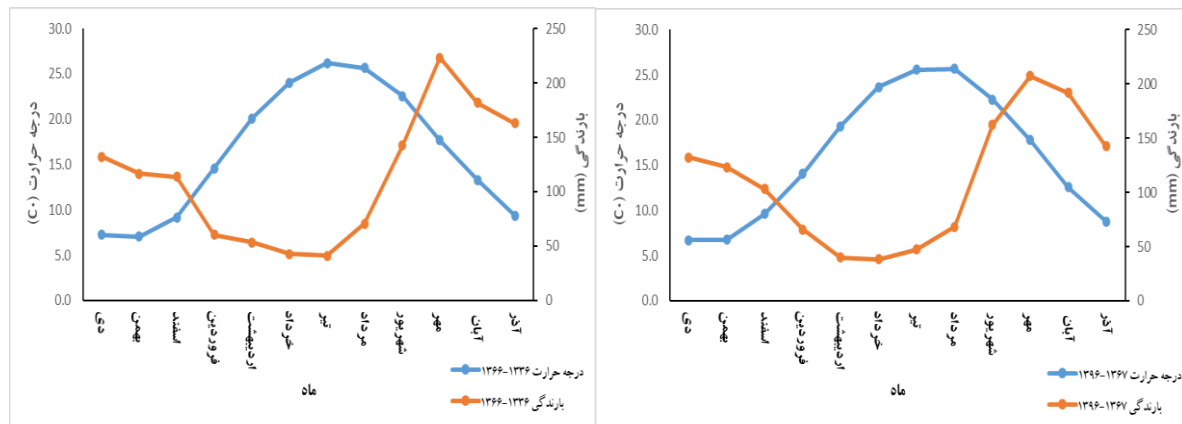


شکل ۱۴. تغییرات بارش و دمای شهر کرمان طی دوره‌های (۱۳۹۶-۱۳۶۷ و ۱۳۳۶-۱۳۶۶)

Fig. 14 Changes in precipitation and temperature in Kerman city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

رشت

بر اساس تغییرات شیب خط سن، شهر رشت با کاهش حدود ۱۸ میلی‌متر بارندگی (کمی بیش از یک درصد) مواجه شده است. دمای سالانه نیز تغییر محسوسی نداشته است (شکل ۱۵). این میزان کاهش بارندگی در اقلیم مرطوب رشت چندان چشم‌گیر نیست. اما در صورت تداوم، می‌تواند بر الگوی کشت و منابع آب کشاورزی تأثیر بگذارد. پایداری نسبی دما مزیت مهمی برای حفظ تعادل اکوسیستم‌های شمال کشور به شمار می‌رود.

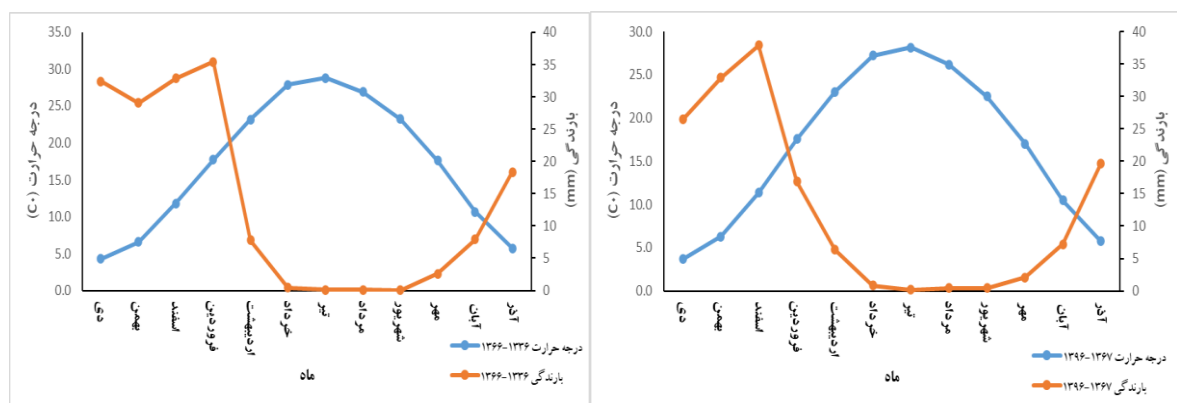


شکل ۱۵. تغییرات بارش و دمای شهر رشت طی دوره‌های (۱۳۳۶-۱۳۶۶ و ۱۳۶۷-۱۳۹۶)

Fig. 15 Changes in precipitation and temperature in Rasht city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

بیرجند

شهر بیرجند بر اساس تغییرات شیب خط سن، با حدود ۱۶ میلی‌متر (بیش از ۹ درصد) کاهش بارندگی سالانه مواجه بوده است که بیشترین کاهش آن در فصل بهار رخ داده است. همچنین دمای سالانه این شهر حدود ۰/۵ درجه افزایش یافته است (شکل ۱۶). کاهش بارندگی‌های بهاره، می‌تواند موجب کاهش رطوبت خاک در فصل رشد گیاهان و در نتیجه کاهش بازدهی کشاورزی شود. افزایش نسبی دما نیز ممکن است باعث افزایش تبخیر و فشار بیشتر بر منابع آب محدود منطقه گردد.

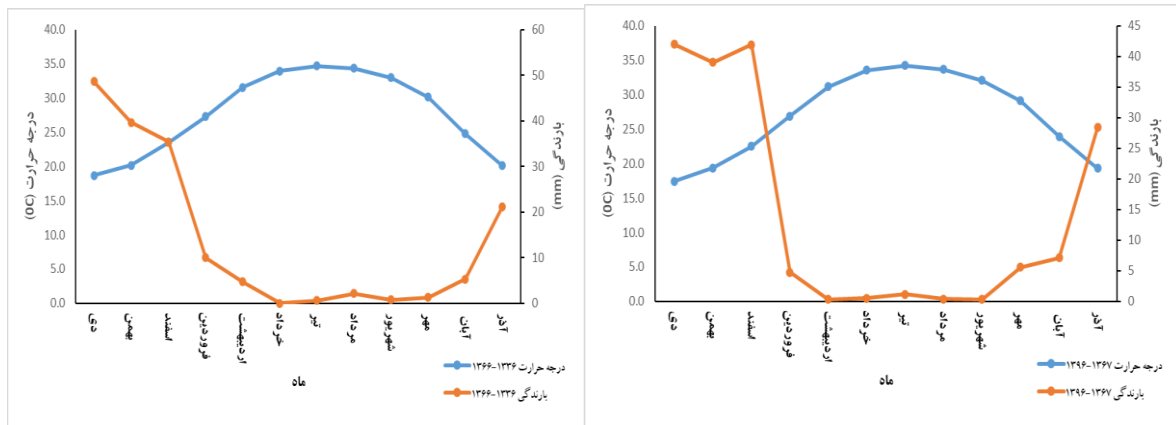


شکل ۱۶. تغییرات بارش و دمای شهر بیرجند طی دوره‌های (۱۳۳۶-۱۳۶۶ و ۱۳۶۷-۱۳۹۶)

Fig. 16 Changes in precipitation and temperature in Birjand city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

بندرعباس

بارندگی سالانه در بندرعباس تغییر محسوسی نداشته، اما دمای سالانه آن حدود ۱ درجه کاهش یافته است. بیشترین میزان کاهش دما در فصل زمستان مشاهده شده است (شکل ۱۷). این روند کاهش دما در اقلیم گرم و خشک بندرعباس می‌تواند تا حدودی باعث کاهش تنش گرمایی و کاهش تبخیر سطحی شود که در مدیریت منابع آب اهمیت دارد.

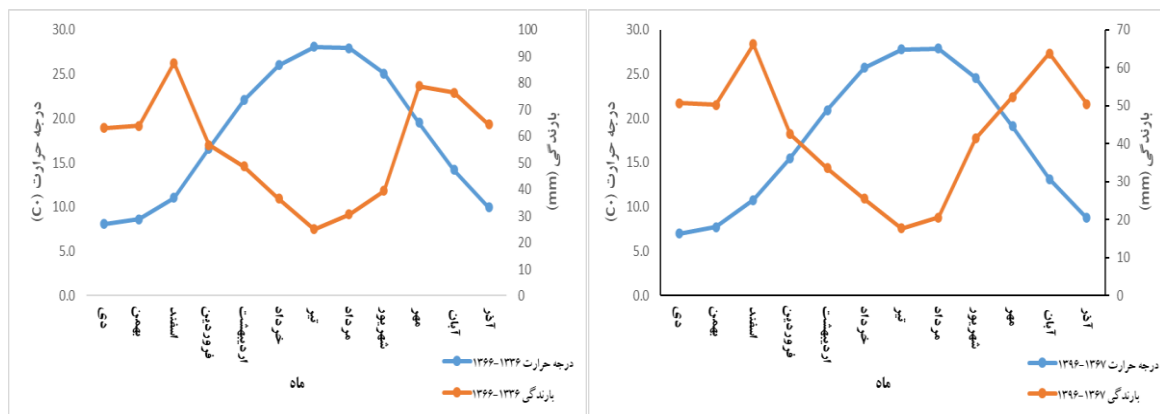


شکل ۱۷. تغییرات بارش و دمای شهر بندرعباس طی دوره‌های (۱۳۶۶-۱۳۹۶ و ۱۳۳۶-۱۳۶۶)

Fig. 17 Changes in precipitation and temperature in Bandar Abbas city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

گرگان

تغییرات شیب خط سن نشان می‌دهد که شهر گرگان با حدود ۱۵۷ میلی‌متر (بیش از ۲۳ درصد) کاهش بارندگی سالانه مواجه بوده است. بیشترین کاهش در فصل پاییز رخ داده است. از سوی دیگر، دمای سالانه این شهر حدود ۰/۷ درجه کاهش یافته و بیشترین افت دما نیز در پاییز گزارش شده است (شکل ۱۸). کاهش هم‌زمان بارندگی و دما در منطقه‌ای با اقلیم نسبتاً مرطوب می‌تواند تأثیرات پیچیده‌ای بر عملکرد زیست‌بوم‌ها، تنوع گیاهی و نیاز آبی اکوسیستم‌ها داشته باشد.

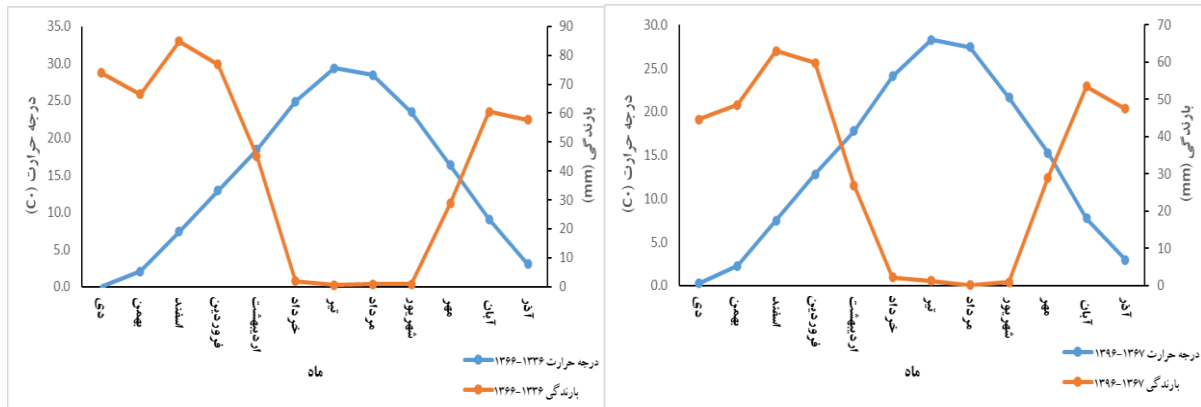


شکل ۱۸. تغییرات بارش و دمای شهر گرگان طی دوره‌های (۱۳۶۶-۱۳۹۶ و ۱۳۳۶-۱۳۶۶)

Fig. 18 Changes in precipitation and temperature in Gorgan city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

سنندج

بر اساس شیب خط سن، شهر سنندج با بیش از ۱۲۰ میلی‌متر (حدود ۲۴ درصد) کاهش بارندگی سالانه مواجه بوده است که عمدتاً در فصل زمستان (بیش از ۷۰ میلی‌متر) رخ داده است. دمای سالانه نیز بیش از ۰/۵ درجه افزایش یافته است. تابستان این شهر حدود ۱,۵ درجه گرم‌تر شده است (شکل ۱۹). افزایش دما در تابستان هم‌زمان با کاهش بارش زمستانه می‌تواند تعادل آبی و اکولوژیکی منطقه را دچار چالش کرده و موجب خشکسالی زودهنگام شود.

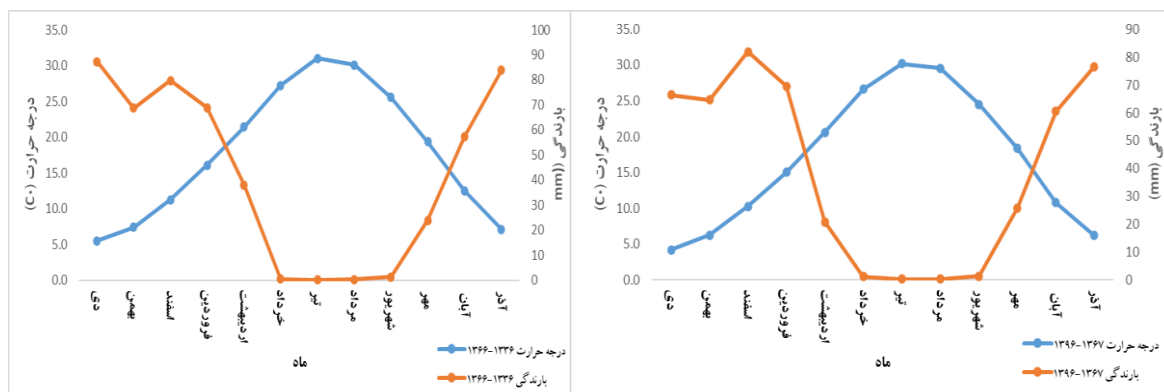


شکل ۱۹. تغییرات بارش و دمای شهر سنندج طی دوره‌های (۱۳۳۶-۱۳۶۶ و ۱۳۶۶-۱۳۹۶)

Fig. 19 Changes in precipitation and temperature in Sanandaj city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

خرم‌آباد

طبق نتایج شیب خط سن، بارندگی سالانه در شهر خرم‌آباد حدود ۴۱ میلی‌متر (معادل ۸ درصد) کاهش یافته که عمدتاً در فصل زمستان اتفاق افتاده است. دمای سالانه در این شهر حدود یک درجه کاهش یافته و بیشترین افت دما در فصل پاییز رخ داده است (شکل ۲۰). این کاهش دما در اقلیم نیمه‌مرطوب خرم‌آباد می‌تواند تأثیر مثبتی در کاهش تبخیر و افزایش ذخیره رطوبتی داشته باشد. با این حال، کاهش بارندگی زمستانه ممکن است منابع آب را در فصول خشک با بحران مواجه کند.

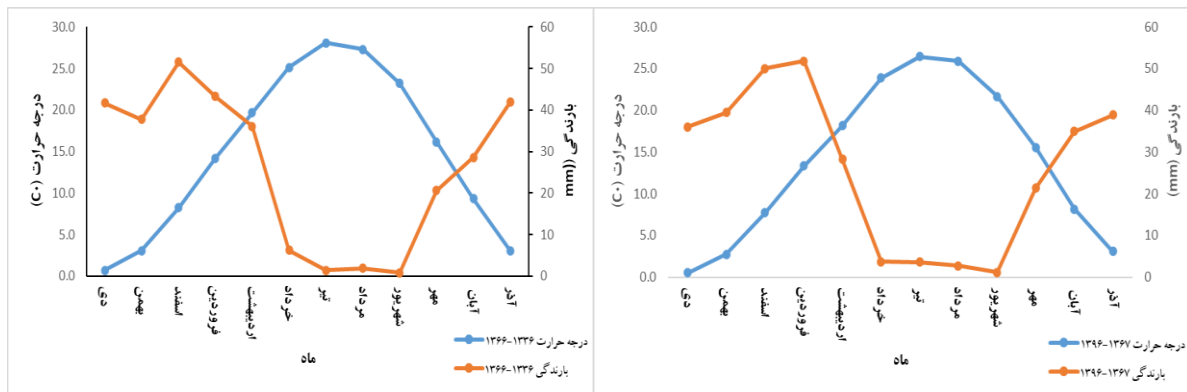


شکل ۲۰. تغییرات بارش و دمای شهر خرم‌آباد طی دوره‌های (۱۳۳۶-۱۳۶۶ و ۱۳۶۶-۱۳۹۶)

Fig. 20 Changes in precipitation and temperature in Khorramabad city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

قزوین

بارندگی سالانه در قزوین تغییر چشم‌گیری نداشته است، اما دمای سالانه این شهر حدود ۱ درجه افزایش یافته است. فصل تابستان بیشترین افزایش دما را با بیش از ۱/۵ درجه نشان داده است (شکل ۲۱). افزایش دمای تابستانی در قزوین می‌تواند باعث افزایش تبخیر و کاهش بهره‌وری منابع آبی کشاورزی شود، خصوصاً در دوره‌های خشکسالی.

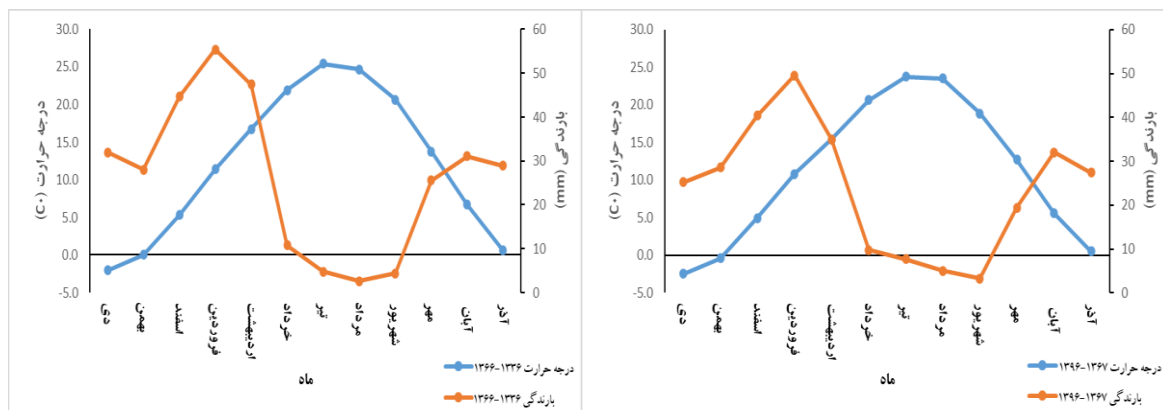


شکل ۲۱. تغییرات بارش و دمای شهر قزوین طی دوره‌های (۱۳۹۶-۱۳۶۷ و ۱۳۳۶-۱۳۶۷)

Fig. 21 Changes in precipitation and temperature in Qazvin city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

زنجان

شهر زنجان بر اساس تغییرات شیب خط سن، طی ۳۰ سال اخیر با حدود ۳۱ میلی‌متر (معادل ۱۰ درصد) کاهش بارندگی سالانه مواجه بوده است. بیشترین کاهش در فصل بهار رخ داده است. دمای این شهر حدود ۱/۲ درجه کاهش یافته که بیشترین افت دما مربوط به تابستان (بیش از ۱/۵ درجه) است (شکل ۲۲). کاهش دمای تابستانی در منطقه‌ای با سابقه گرمای زیاد می‌تواند به کاهش تنش گرمایی در بخش کشاورزی کمک کند. اما کاهش بارش‌های بهاره ممکن است منابع تغذیه‌ای آب زیرزمینی را با تهدید روبرو سازد.

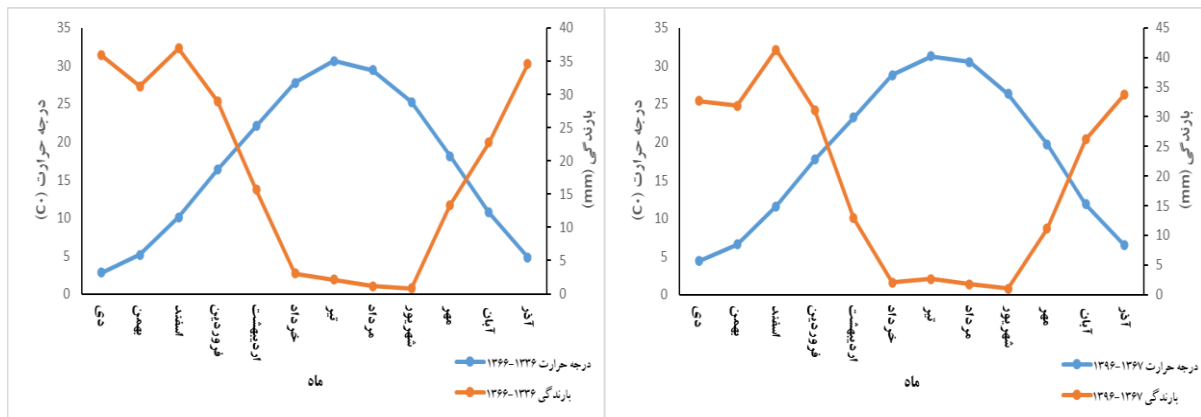


شکل ۲۲. تغییرات بارش و دمای شهر زنجان طی دوره‌های (۱۳۹۶-۱۳۶۷ و ۱۳۳۶-۱۳۶۷)

Fig. 22 Changes in precipitation and temperature in Zanzan city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

شهر کرد

شهر شهرکرد تغییر محسوسی در بارندگی سالانه نداشته است. در عین حال، دمای سالانه این شهر حدود ۱/۵ درجه کاهش یافته است. تابستان با بیش از ۲/۲ درجه کاهش، خنک‌ترین فصل طی دوره مورد بررسی بوده است (شکل ۲۳). کاهش چشم‌گیر دما در تابستان می‌تواند موجب کاهش میزان تبخیر و بهبود شرایط اقلیمی برای برخی محصولات کشاورزی منطقه شود، با این حال نیاز به بررسی تأثیرات بلندمدت بر چرخه‌های طبیعی و منابع آب وجود دارد.



شکل ۲۳. تغییرات بارش و دمای شهر شهرکرد طی دوره‌های (۱۳۳۶-۱۳۶۷ و ۱۳۶۷-۱۳۹۶)

Fig. 23 Changes in precipitation and temperature in Shahrekord city during the periods 1957-1987 and 1988-1997

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده روند افزایشی دمای سالانه در اکثر شهرهای مورد بررسی در ایران است. بیشترین میزان افزایش دما در شهر مشهد با $+2$ درجه سلسیوس ثبت شد. در حالی که شهرهایی مانند تهران، کرمانشاه و شیراز نیز افزایش دمای $1/3$ تا $1/5$ درجه سلسیوس را طی دوره ۶۰ ساله تجربه کرده‌اند. در مقابل، شهرهایی مانند بندرعباس و زنجان کاهش‌های جزئی دما را نشان دادند. این یافته‌ها با مطالعات پیشین در مقیاس جهانی و منطقه‌ای همخوانی دارد. به عنوان مثال، گزارش هیئت بین‌الدول تغییرات اقلیم (IPCC, ۲۰۲۲) نشان می‌دهد که میانگین دمای جهانی از اواخر قرن نوزدهم تا کنون حدود $1/1$ درجه سلسیوس افزایش یافته است. این در حالی است که نرخ گرمایش در برخی از شهرهای ایران بیش از این مقدار بوده که می‌تواند ناشی از اثرات اقلیم منطقه‌ای و پدیده جزیره گرمایی شهری باشد.

در سطح منطقه‌ای، مطالعاتی مانند پژوهش Daneshvar و همکاران (۲۰۱۹) افزایش $0/8$ تا $1/6$ درجه سلسیوس در میانگین سالانه دما در ایران را گزارش کرده‌اند که با یافته‌های این پژوهش همخوانی دارد. همچنین، بررسی‌های Gholami و همکاران (۲۰۱۷) نشان داده‌اند که افزایش دما در مناطق شمالی ایران، به‌ویژه در مناطق شهری، بیشتر محسوس بوده است، که این موضوع در مشاهدات مربوط به شهرهای تهران، مشهد و اصفهان نیز تأیید شده است. علاوه بر این، مطالعه نجفی و همکاران (۱۳۹۶) نشان داده است که افزایش دما عمدتاً در دمای شبانه رخ داده که می‌تواند ناشی از تغییرات در پوشش ابری، انتشار گازهای گلخانه‌ای و روند شهرنشینی باشد.

از نظر تغییرات فصلی، نرخ افزایش دما در فصل‌های زمستان و بهار بیشتر از سایر فصل‌ها بوده است که می‌تواند به تغییرات الگوهای گردش جوی و پایداری جو مرتبط باشد. این تغییرات ممکن است موجب ذوب زودهنگام برف و تغییر در رژیم بارش شود. از سوی دیگر، افزایش دمای تابستان با یافته‌های Rahmani و همکاران (۲۰۱۶) هم‌راستا است که افزایش دفعات وقوع موج‌های گرمایی را در ایران، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک و خشک، گزارش کرده‌اند.

از نظر بارش، نتایج این مطالعه روند کاهشی در میزان بارش سالانه در بسیاری از شهرها را نشان می‌دهد. بیشترین کاهش در کرمانشاه (-11 درصد) و تبریز (-22 درصد) مشاهده شد. در حالی که برخی شهرها مانند اصفهان و شیراز افزایش‌های جزئی ($10-9$ درصد) در میزان بارش سالانه داشتند. این یافته‌ها با مطالعات قبلی همسو هستند. برای مثال، مطالعه Babaei Feini و همکاران (۲۰۱۴) کاهش تدریجی بارش در سراسر ایران، به‌ویژه در مناطق غربی و شمال‌غربی را گزارش کرده‌اند که با روندهای مشاهده شده در کرمانشاه، تبریز و ارومیه مطابقت دارد. همچنین، پژوهش Hajjam و همکاران (۲۰۰۸) نشان داده است که

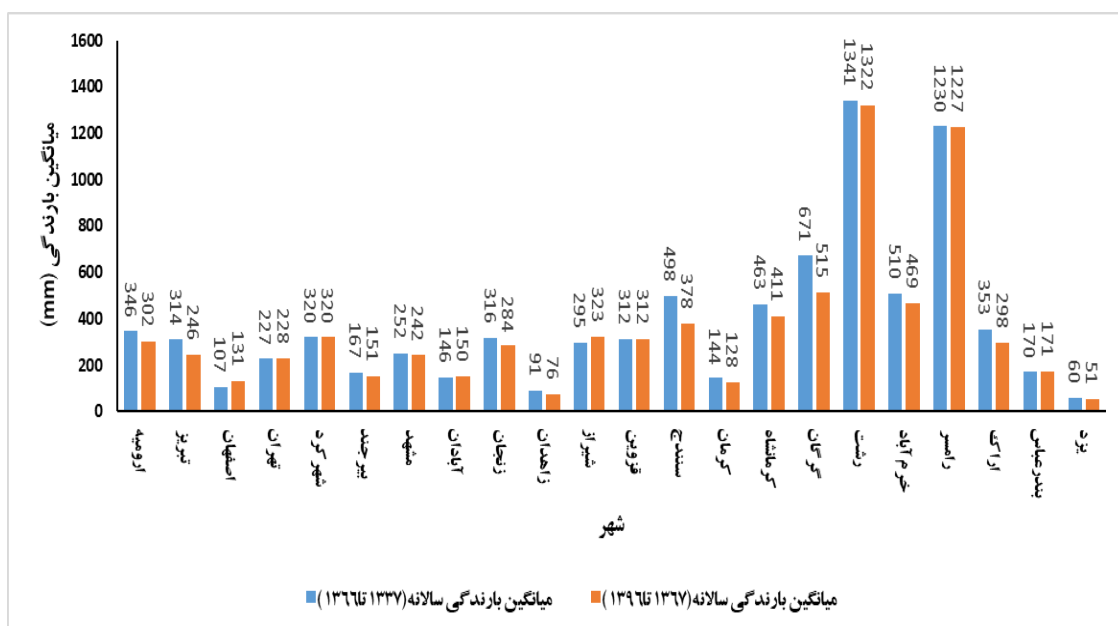
بارش در مناطق مرکزی ایران از تغییرات بین سالی شدیدی برخوردار است، به گونه ای که در برخی شهرها (مانند اصفهان) ممکن است افزایش های موقتی رخ دهد؛ اما روند کلی کاهشی باقی می ماند.

افزایش بارش زمستانی در برخی مناطق (مانند اصفهان و شیراز) ممکن است ناشی از تغییر مسیر طوفان ها و تغییرات در انتقال رطوبت از دریای مدیترانه و خلیج فارس باشد که در مطالعاتی مانند پژوهش Parviz و همکاران (۲۰۲۱) نیز به آن اشاره شده است. همچنین، کاهش بارش های پاییزی در شهرهایی مانند تهران و مشهد با نتایج مطالعاتی مطابقت دارد که تأخیر در آغاز فصل بارندگی در ایران را در نتیجه تغییرات اقلیمی و جابجایی الگوهای موسمی و بادهای غربی گزارش کرده اند (Imani و همکاران، ۲۰۲۱).

تأثیرات تغییر اقلیم در ایران پیامدهای زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی قابل توجهی دارد. کاهش منابع آب و تشدید خشکسالی، افزایش فراوانی رخداد های حدی جوی، کاهش بهره وری کشاورزی، تشدید روند بیابان زایی، و افزایش دمای مناطق شهری از مهم ترین چالش های ناشی از تغییرات اقلیمی در ایران هستند. در این راستا، راهبردهای مدیریت منابع آب، تغییر الگوی کشت به سمت محصولات مقاوم به خشکی، توسعه زیرساخت های سبز در مناطق شهری، و گذار به انرژی های تجدیدپذیر می توانند به کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و افزایش تاب آوری در برابر این پدیده کمک کنند.

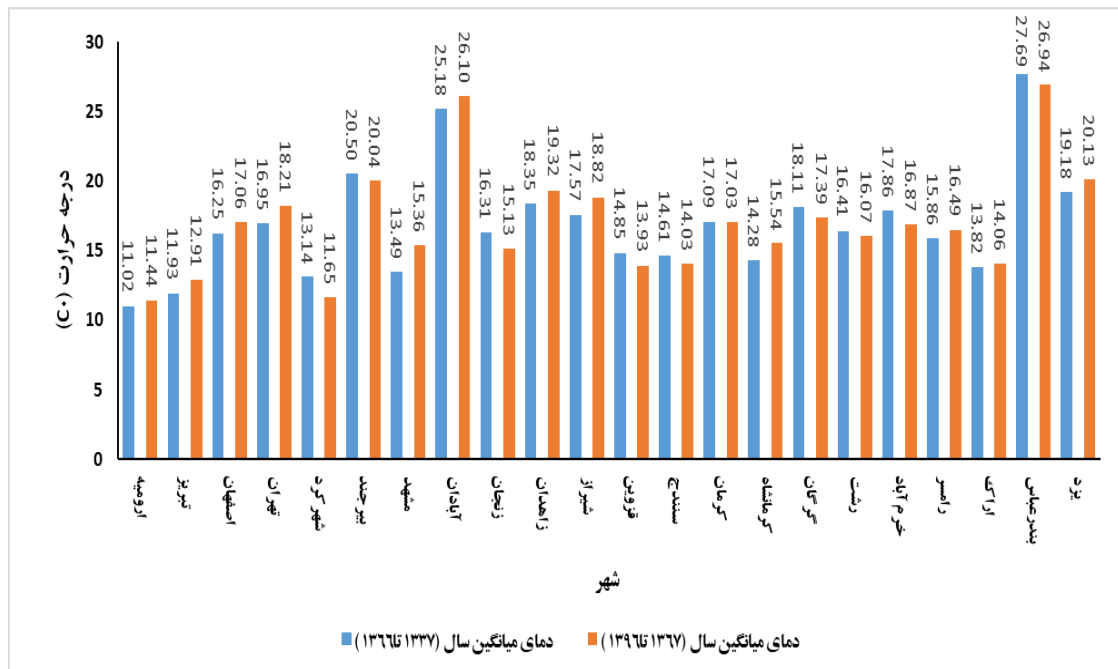
۴. نتیجه گیری

بررسی تغییرات میانگین بارندگی و دمای سالانه در شهرهای مذکور (شکل های ۲۴ تا ۲۷) نشان می دهد که در ۳۰ سال دوم، میزان بارندگی نسبت به ۳۰ سال اول در شهرهای ارومیه، تبریز، زنجان، سمنجان، کرمان، کرمانشاه، گرگان، رشت، خرم آباد، اراک، یزد، مشهد، بیرجند و زاهدان کاهش، در شهرهای رامسر، قزوین، آبادان، شهرکرد و تهران بدون تغییر و در شهرهای بندرعباس، شیراز و اصفهان افزایش داشته است. دما در شهرهای مشهد، کرمانشاه، تبریز، تهران، شیراز، زاهدان، اصفهان، یزد، رامسر، ارومیه، آبادان و اراک افزایش و در شهرهای کرمان، رشت، بیرجند، بندرعباس، گرگان، سمنجان، خرم آباد، قزوین، زنجان و شهرکرد کاهش داشته است. شکل های ۲۴ تا ۲۸ میانگین و درصد تغییرات میانگین بارندگی و دما را در شهرهای مذکور نشان می دهد.



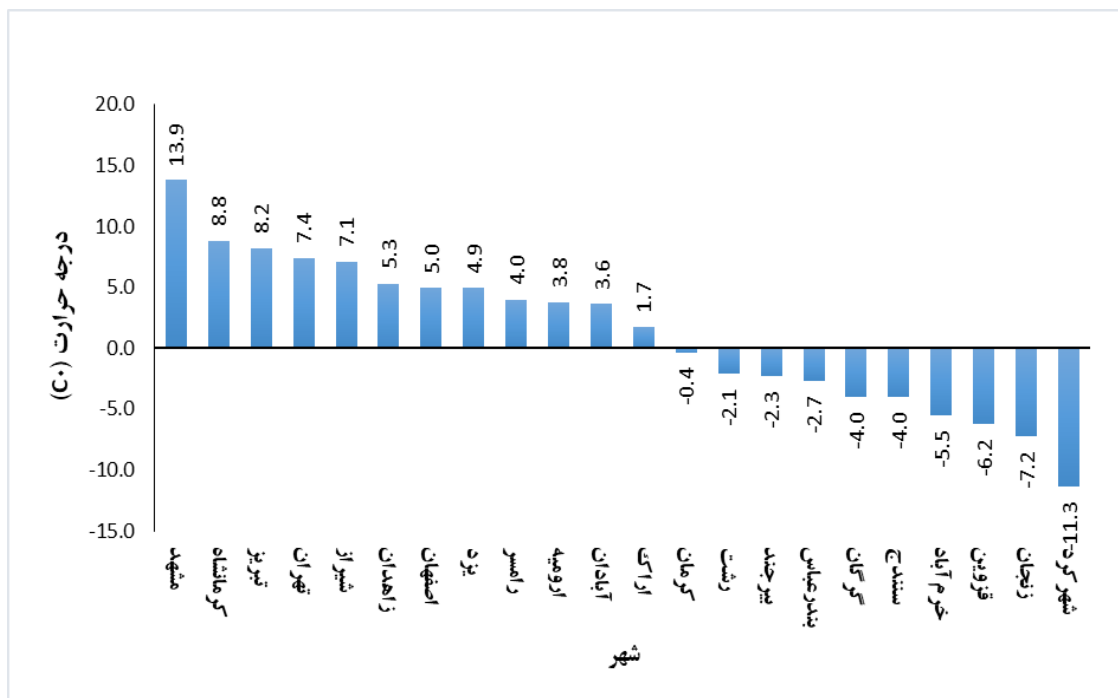
شکل ۲۴. نمودار تغییرات میانگین بارندگی سالانه شهرها طی دو دوره (۱۳۳۷-۱۳۶۶) و (۱۳۶۷-۱۳۹۶)

Fig. 24 Graph of changes in average annual rainfall of cities during two periods (1958-1987) and (1988-2017)



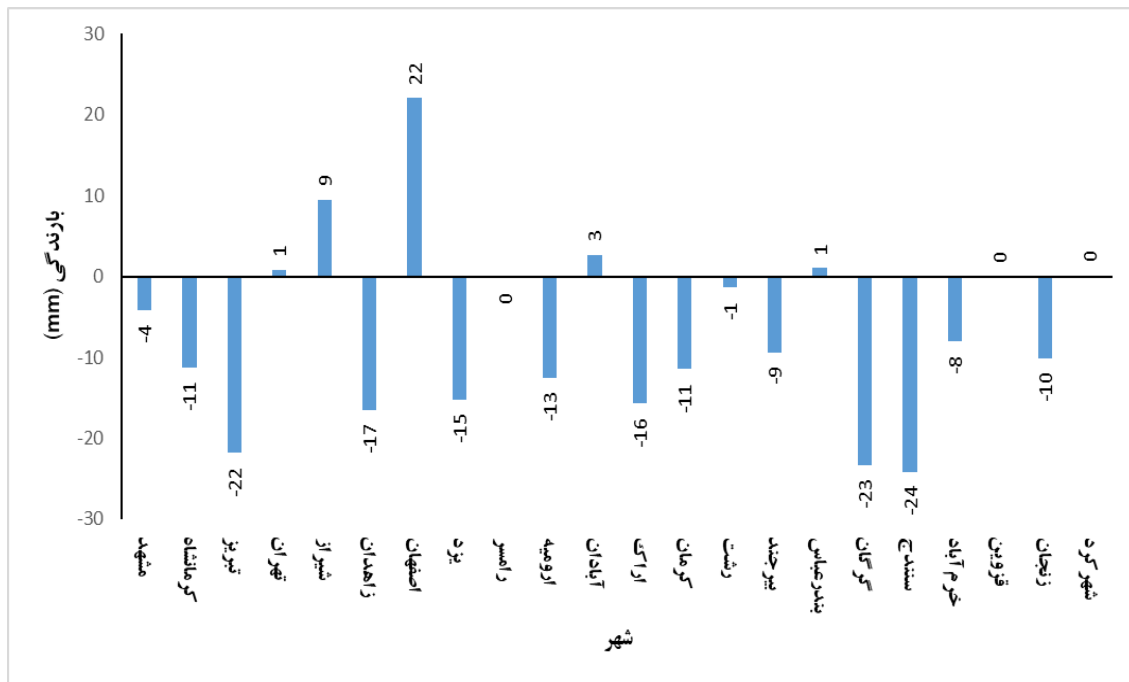
شکل ۲۵. نمودار تغییرات میانگین دمای سالانه شهرها طی دو دوره (۱۳۶۶-۱۳۹۶) و (۱۳۹۶-۱۳۶۷)

Fig. 25 Graph of changes in the average annual temperature of cities during two periods (1958-1987) and (1988-2017)



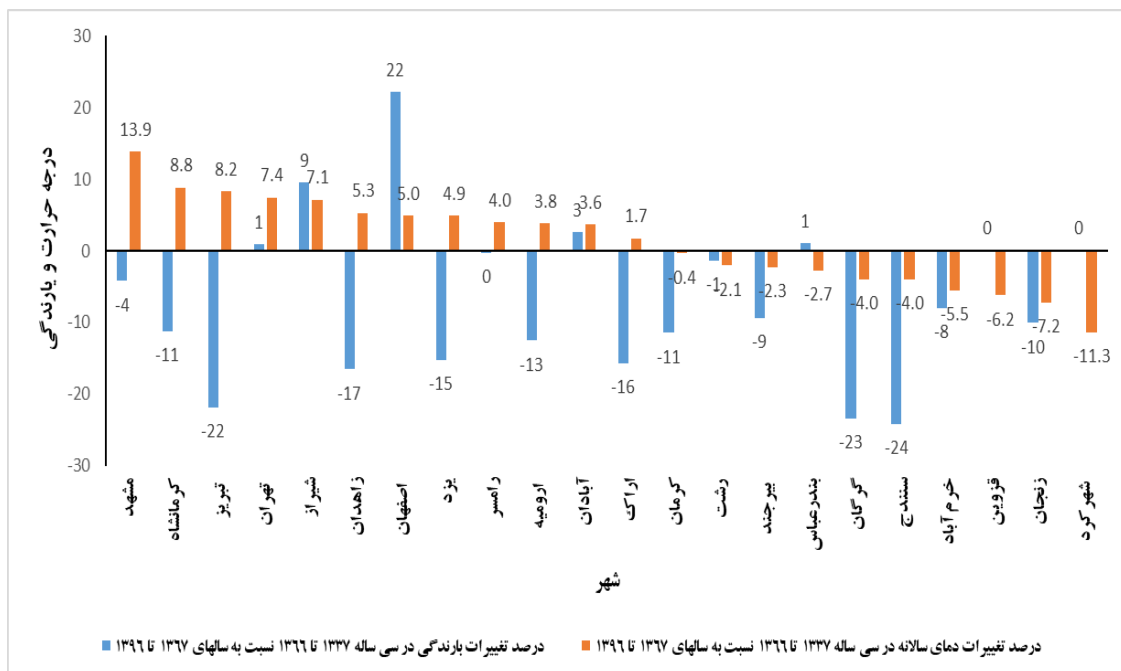
شکل ۲۶. درصد تغییرات دمای سالانه در سی ساله ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ نسبت به سالهای ۱۳۹۶ تا ۱۳۶۷

Fig. 26 Percentage of annual temperature changes in the thirty years 1958 to 1987 compared to the years 1988 to 1997



شکل ۲۷. درصد تغییرات بارندگی در سی ساله ۱۳۳۷ تا ۱۳۶۶ نسبت به سالهای ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶

Fig. 27 Percentage of precipitation changes in the thirty-year period 1958 to 1987 compared to the years 1988 to 1997



شکل ۲۸. درصد تغییرات بارندگی و دما در شهرهای مورد مطالعه در سی ساله ۱۳۳۷ تا ۱۳۶۶ نسبت به سالهای ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶

Fig. 28 Percentage of changes in precipitation and temperature in the studied cities in the thirty years from 1958 to 1987 compared to the years from 1988 to 2017

با توجه به نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده در ایران از آغاز انقلاب صنعتی و وقوع گرمایش جهانی، به طور کلی دما روند افزایشی و بارش نیز با توجه به وجود تغییرپذیری زمانی و مکانی زیاد روند کاهشی داشته است. اگرچه در بعضی از مطالعات

انجام شده بیان شده که میزان بارش در برخی از مناطق افزایش داشته است، اما افزایش دما موجب افزایش تبخیر و تفرق شده و همچنان مشکل کمبود منابع آب در آینده وجود دارد. با افزایش دما و به دنبال آن افزایش تبخیر و تفرق میزان جریان‌های سطحی کاهش پیدا می‌کند که این امر بر سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی تأثیر دارد و باعث فرونشینی سطح ایستابی خواهد شد. به‌مرور، میزان آب موجود در ذخیره‌گاه‌ها کاهش پیدا می‌کند، وضعیت آبخوان‌ها بحرانی شده و تعداد و شدت سیل و خشکسالی افزایش خواهد یافت. آثار تغییر اقلیم و گرمایش جهانی باعث تغییر در الگوی کشت و نوع محصولات، کاهش امنیت غذایی، کاهش بهداشت انسان و صدمه بر اقتصاد کلان خواهد شد. با توجه به موارد فوق‌الذکر می‌توان عنوان کرد که اغلب مناطق ایران با تغییراتی در میانگین‌های بلندمدت بارندگی و دما مواجه بوده‌اند که نیازمند اقدام و برنامه‌ریزی از طرف سازمان‌های ذی‌ربط هستند. به پیشنهاد کارشناسان حوزه تغییر اقلیم، باید برای تعدیل اثرهای تغییر اقلیم و یا سازگاری با آن دانش عموم جامعه در این راستا افزایش یابد. در شهرها نیز که تغییر اقلیم باعث افزایش آلودگی هوا، به‌وجودآمدن جزیره حرارتی، و درنهایت بروز مناقشات امنیتی و سیاسی، خصوصاً بر سر بحران آب، می‌شود، عدم توجه به اثرات تغییر اقلیم موفقیت برنامه‌ریزی در راه مدیریت روند افزایش گرمایش جهانی را با مشکل مواجه خواهد کرد. نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان می‌دهد که در اغلب شهرهای ایران، دما روند افزایشی و بارش روند کاهشی داشته است. با توجه به این روند افزایشی دما و کاهش بارندگی در درصد بالایی از شهرهای ایران، رخداد مخاطرات اقلیمی و محیطی ناشی از آن مانند امواج گرما و سرما، خشکسالی و سیل افزایش خواهد یافت. همچنین، تغییر اقلیم یک تهدید جدی برای زندگی انسان خواهد بود که چه در زمینه اقتصادی و چه در زمینه‌های سیاسی و امنیتی تأثیر زیادی بر حیات بشر خواهد داشت. بدین منظور، برای کاهش اثرات تغییر اقلیم بر زندگی انسان، ابتدا باید دانش عمومی در رابطه با تغییر اقلیم و خطرات ناشی از آن و همچنین راهکارهای مقابله و سازگاری با آن افزایش یابد. راهکارهای متعددی برای افزایش سازگاری با اثرات تغییر اقلیم وجود دارد. به‌عنوان مثال، در تمامی شهرهایی که با افزایش دما مواجه هستند می‌توان با جلوگیری و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش فضای سبز، اجرای استانداردهای مربوط به سوخت خودروها، وضعیت فنی آن‌ها، انجام دستورالعمل‌های مرتبط با ترسیب کربن، نظارت بر کارخانه‌های مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی و استانداردسازی خروجی دودکش‌های آن‌ها، افزایش استفاده از انرژی‌های نو و... نسبت به تعدیل اثرات ناشی از گرم شدن زمین اقدام نموده و یا لااقل جلوی افزایش بیشتر آن را تا حدودی گرفت. همچنین، در مناطقی که با کاهش چشمگیر منابع آب روبرو می‌شوند می‌توان با نظارت مستمر و قانونمند بر استفاده از آب‌های زیرزمینی، افزایش فعالیت‌های آبخوان‌داری، انجام مدیریت یکپارچه و پایدار حوضه‌های آبخیز، جلوگیری از هدر رفت آب در کشاورزی، به‌خصوص استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری (قطره‌ای، تحت فشار، زیرزمینی) و... تأثیر منفی تغییرات را تا حدی کاهش داد و تا حدودی از سرعت تخریب آن کاست. به‌علاوه، هر شهروند نیز وظایفی دارد که می‌تواند سهمی در تعدیل این تغییرات داشته باشد. تغییر در برخی رفتارها و رعایت توصیه‌های مرتبطی که از رسانه‌های جمعی مطرح می‌شود می‌تواند مفید باشد.

۵. تعارض منافع

در این مقاله، تعارض منافع وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

۶. اصول اخلاقی

نویسندگان، اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها می‌باشد.

۷. حمایت مالی

این مقاله حامی مالی نداشته است.

۸. مراجع

- Alijani, B., & Kaviani, M. R. 2001. Basics of meteorology. Samt Publications.
- Amadi, S. O., Udo, S. O., & Chigbu, T. O. 2019. Climate change implications for agricultural sustainability in Enugu in the Guinea Savanna eco-climatic zone of southeastern Nigeria: Input from climate change proxies. *International Journal of Weather, Climate Change and Conservation Research*, 5(1), 1-17.
- Aweda, F. O., Adeniji, A. A., Akinpelu, J. A., & Abiodun, A. J. 2021. Analysis of rainfall trends and variabilities for three decades in Sub-Sahara Africa. *Ruhuna Journal of Science*, 12(1).
- Babaei Feini Omosalameh, E., Ghasemi, E., & Fattahi, I. 2014. Investigating the effect of climate change on the process of rainfall indexes in Iran. *Quarterly Journal of Environmental Spatial Analysis*, 1(3), 86-104. [In Persian]
- Daneshvar, M. R. M., Ebrahimi, M., & Nejadsoleymani, H. 2019. An overview of climate change in Iran: Facts and statistics. *Environmental Systems Research*, 8(1), 1-10.
- Drolet, J. L., & Sampson, T. 2017. Addressing climate change from a social development approach: Small cities and rural communities' adaptation and response to climate change in British Columbia, Canada. *International Social Work*, 60(1), 61-73.
- Ekwueme, B. N., & Agunwamba, J. C. (2021). Trend analysis and variability of air temperature and rainfall in regional river basins. *Civil Engineering Journal*, 7(5), 816-826. <https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091692>.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2007. Adaptation to climate change in agriculture, forestry, and fisheries: Perspective, framework and priorities. FAO, Rome.
- Ghazali, S., & Zibaei, M. 2018. Households' perception and livelihood vulnerability to climate change: Nomads in Fars Province. *Iranian Journal of Agricultural Economics*, 12(1), 39-58. [In Persian]
- Gholami, V., Jolandan, M.A., & Torkaman, J. 2017. Evaluation of climate change in northern Iran during the last four centuries by using dendroclimatology. *Natural Hazards*, 85(3), 1835-1850.
- Hajjam, S., Khoushkhoh, Y., & Shamsaddin Vand, R. 2008. Annual and seasonal precipitation trend analysis of some selective meteorological stations in the central region of Iran using non-parametric methods. *Physical Geography Research*, 40(64), 157-168. [In Persian]
- Hamed, K. H., & Rao, A. R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1-4), 182-196.
- Imani, S., Farokhnia, A., Morid, S., & Roozbahani, R. 2021. Spatio-temporal analysis of temperature and precipitation trends in Tashk-Bakhtegan watershed. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52, 2931-2944.
- Jones, P. D., Wigley, T. M. L., & Wright, P. B. 1986. Global temperature variation between 1861 and 1984. *Nature*, 322, 430-432.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (P.R. Shukla et al., Eds.). Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- Kendall, M. G. 1957. Rank correlation methods. *Biometrika*, 44(1/2), 298.
- Khosh Rokh, M., Mir Naseri, M., & Pesarkolo, M. 2017. Detection of rainfall trends in the north of the country using non-parametric test-Kendall. *Water Resources Management Research Center*, 16, 223-230. [In Persian]
- Mitchel, J. M., Chairman, J. R., Dzerdzeevskii, B., Flohn, H., Hofmeyer, W.L., Lamb, H. H., Rao, K. N., & Wallen, C. C. (1966). Climatic change. Technical Note, WMO, No. 79.
- Najafi, A., Karimi, S., Shaban Fowzi, M., & Gholizadeh, M. (2017). The impact of urban areas on the environment. In *The First National Conference on Sustainable Development and Urban Management with a Focus on Citizen Tranquility*. (In Persian)
- Najafpour, G. D. (2007). *Biochemical Engineering and Biotechnology*. Elsevier. ISBN: 978-0-444-52845-2. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52845-2.X5000-9>.
- National Meteorological Organization website.
- Nguyen, T. H. T., King, D., & Boon, H. 2016. Vietnamese coastal residents' awareness and attitude to climate change (A case study in Thinh Loc community, Loc Ha District, Ha Tinh Province). *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 5(1), 31-44.
- Parviz, J., Borna, R., & Asadian, F. 2021. Analysis of heavy precipitation in Kermanshah province by my Kendall method (Case study: Kermanshah Province during 1970-2017). *Journal of Climate Research*, 1400(45), 81-96.
- Rahmani, S. E., Chibane, B., & Boucefiène, A. 2016. Groundwater recharge estimation in semi-arid zone: A study case from the region of Djelfa (Algeria). *Applied Water Science*, 7(5), 2255-2265.

- Semenov, M. A., & Barrow, E. M. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User Manual, version 3.0.
- Shahvali, M., & Abedi Sarvestani, A. 2006. Realization of future world approaches towards agricultural extension through a management theory of universal organizations. *Roosta Va Towse'e*, 8(4), 113-145. [In Persian]
- Wamsler, C., Brink, E., & Rivera, C. (2013). Planning for climate change in urban areas: From theory to practice. *Journal of Cleaner Production*, 50, 68–81. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.008>.
- Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences (3rd ed.)*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385022-5.00001-4>
- Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. 2004a. A comparison of the power of the t-test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection. *Journal of Hydrological Sciences*, 49(1), 21-37.
- Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. 2004b. Power of the Mann-Kendall and Spearman's RHO tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259(1-4), 254-271.
- Yue, S., Yang, T. C., & Kuo, C. C. 2006. Evaluating long-term trends in annual and seasonal precipitation in Taiwan. *Water Resources Management*, 20(6), 1007-1023.