

## Investigation of Changes in the Amount and Distribution of Precipitation and Temperature in Iran and Their Effects on Extreme Events

A. Mianabadi<sup>1\*</sup>, K. Davary<sup>2</sup>

1- Assistant Professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. 2- Professor, Water Sciences and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

\* (Corresponding Author Email: a.mianabadi@kgut.ac.ir)

Received: 07-01-2023

Revised: 25-01-2023

Accepted: 05-02-2023

Available Online: 21-09-2023

## بررسی تغییرات مقدار و توزیع بارش و دما در ایران و اثرات آن‌ها بر رخداد های حدی

آمنه میان‌آبادی<sup>۱\*</sup>، کامران داوری<sup>۲</sup>

۱- استادیار، گروه اکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. ۲- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

\* (E-Mail: a.mianabadi@kgut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

### Abstract

Global warming in recent decades has caused significant changes in precipitation and temperature, including changes in the mean and standard deviation of these variables and changes in the intensity and frequency of climatic extremes (floods and droughts). Given the importance of these changes in water resources management, it is crucial to study the trends in these variables. In this study, in 12 selected stations in different climatic regions in Iran, the changes in monthly and annual precipitation and mean temperature during 1961-1990 and 1991-2020 were examined. The results of Mann-Kendall test showed in most stations precipitation had an increasing trend in the first period, and a decreasing trend in the second period; although in both periods the trend was not significant ( $Z < 1.645$ ). The mean temperature has increased in both periods, which in the second period has increased with a higher level of confidence ( $Z > 2.576$ ) and greater slope than in the first period. The average annual rainfall has decreased in most stations, and the average annual temperature has increased in all stations. The distribution of precipitation and temperature showed that in some stations, the probability of occurrence of extreme events and hot and cold periods in the second period has increased compared to the first period. In some other stations, droughts/floods are more/less likely to occur. This indicates that the activity of air masses affecting each station can be intensified or weakened due to climate change.

**Keywords:** Climate Change, Extremes, Flood, Drought, Water Resources.

### چکیده

گرمایش جهانی در دهه‌های گذشته باعث تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در بارش و دما از جمله تغییر در میانگین و انحراف معیار این متغیرها و تغییر در شدت و فراوانی رخداد های حدی (سیل و خشکسالی) شده است. بررسی روند این دو متغیر با توجه به تأثیر آنها در مدیریت منابع آب، اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش، در ۱۲ ایستگاه منتخب در اقلیم‌های مختلف ایران، تغییرات بارش و دمای متوسط ماهانه و سالانه برای دو دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ۱۹۹۱-۲۰۲۰ بررسی شد. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها بارش در دوره اول روند افزایشی و در دوره دوم روند کاهشی داشته که البته در هر دو حالت روند تغییرات معنی‌دار نبوده است ( $Z < 1.645$ ). دمای هوا در هر دو دوره روند افزایشی داشته که در دوره دوم با سطح معنی‌داری بالاتر ( $Z < 2.576$ ) و شیب بیشتری نسبت به دوره اول افزایش یافته است. متوسط بارش سالانه در اکثر ایستگاه‌ها کاهش و متوسط سالانه دمای هوا در همه ایستگاه‌ها افزایش یافته است. توزیع بارش و دما نیز نشان داد که در برخی از ایستگاه‌ها احتمال وقوع بارش‌ها و رخداد های حدی و دوره‌های گرم و سرد در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش داشته است. در برخی دیگر از ایستگاه‌ها احتمال وقوع خشکسالی‌ها بیشتر و احتمال وقوع بارش‌های سنگین کمتر شده است. این مسئله نشان می‌دهد که فعالیت توده‌های هوای موثر بر هر ایستگاه تحت تأثیر تغییر اقلیم می‌تواند تشدید یا تضعیف شود.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، رخداد حدی، سیل، خشکسالی، منابع آب.

روستایی که بیشتر به کشاورزی و آب وابسته هستند، تبعات بیشتری دارد که از آن جمله می‌توان به مهاجرت‌های گسترده از روستاها به شهرها اشاره کرد (Mianabadi و همکاران، ۲۰۲۲؛ Mianabadi و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین بررسی تغییرات مقدار و توزیع بارش و دما در اثر گرمایش جهانی در هر منطقه با توجه به اثری که بر میزان آب در دسترس آن منطقه دارد، اهمیت بسیاری دارد. این مسئله می‌تواند به برنامه‌ریزی مناسب و بلندمدت برای مدیریت منابع آب محدود کشور کمک نماید.

تاکنون مطالعات مختلفی در ایران و جهان برای بررسی تغییرات بارش و دما (Zarrin و همکاران، ۲۰۲۱؛ Dadashi-Roudbari و همکاران، ۲۰۲۱؛ Zarrin و همکاران، ۲۰۲۲؛ Bustos Usta و همکاران، ۲۰۲۲؛ سرابی و همکاران، ۱۳۹۹؛ سرابی و همکاران، ۱۴۰۰؛ زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰؛ زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰) و اثر تغییر اقلیم بر منابع آب و تولیدات کشاورزی انجام شده است (Nassiri و همکاران، ۲۰۰۶؛ Abbaspour و همکاران، ۲۰۰۹؛ Karimi و همکاران، ۲۰۱۸؛ Afshar و Fahmi، ۲۰۱۹؛ Konapala و همکاران، ۲۰۲۰). در زمینه بررسی تغییرات تابع توزیع بارش و دما می‌توان به مطالعات Ongoma و همکاران (۲۰۱۸)، Newton و همکاران (۲۰۲۱) و Ye و همکاران (۲۰۲۱) Qian (۲۰۲۱)، Zou و همکاران (۲۰۲۱) و Almazroui و همکاران (۲۰۲۱) اشاره نمود. اما باید توجه داشت که مطالعات ذکر شده استفاده از خروجی مدل‌های اقلیمی و برای اقلیم آینده انجام شده و تاکنون برای بررسی تغییرات توزیع بارش و دما و اثر آن بر منابع آب در دسترس در ایران، از داده‌های ثبت شده موجود استفاده نشده است. در حال حاضر با توجه به اینکه در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور، تعداد سال‌های آماری به قدر کفایت (بیشتر از ۶۰ سال) وجود دارد، می‌توان تغییرات اقلیمی وقوع یافته و اثرات آن بر منابع آبی را بررسی نمود. از آنجا که بر اساس توصیه سازمان جهانی هواشناسی، دوره طولانی مدت حداقل ۳۰ سال برای بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی مورد نیاز است (Burroughs، ۲۰۰۳)، در این مقاله تغییرات رخ داده در مقدار و توزیع متوسط بارش و دمای سالانه در دو دوره ۳۰ ساله در ۱۲ ایستگاه منتخب از اقلیم‌های مختلف ایران و اثرات آن بر رخدادهای حدی بررسی می‌شود.

## مواد و روش‌ها

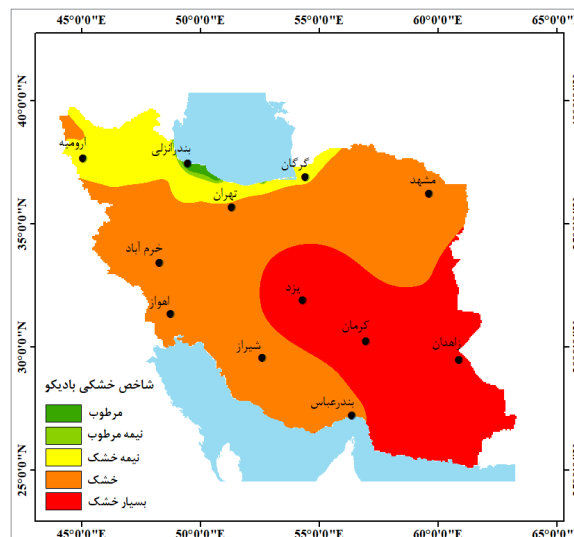
### • ایستگاه‌های منتخب

برای بررسی تغییرات دما و بارش در ایران، ۱۲ ایستگاه به عنوان نماینده اقلیم‌های مختلف انتخاب شد. این ایستگاه‌ها و موقعیت آن‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. با توجه به طول دوره آماری مناسب در این ایستگاه‌ها، بررسی تغییرات این دو متغیر به خوبی ممکن است. به این منظور از داده‌های روزانه بارش و دما برای ۱۲ ایستگاه

گرمایش جهانی پدیده‌ای است که در اکثر نقاط جهان شواهد و اثرات آن به‌ویژه در بخش منابع آب دیده می‌شود (IPCC، ۲۰۰۷). شدت و خصوصیات اثرات تغییر اقلیم از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است (Abbaspour و همکاران، ۲۰۰۹). تغییر در مقدار و توزیع بارش و دما (و به تبع آن تبخیر) ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند باعث کاهش، افزایش و یا تغییر کیفیت منابع آب موجود در هر منطقه شود (Abbaspour و همکاران، ۲۰۰۹؛ Qin و Wang، ۲۰۱۷؛ Ostad-Ali-Askar و همکاران، ۲۰۲۰؛ Schilling و همکاران، ۲۰۱۹؛ Yu و همکاران، ۲۰۲۰؛ Mengistu و همکاران، ۲۰۲۱؛ Saeed و همکاران، ۲۰۲۱؛ Andrade و همکاران، ۲۰۲۱؛ Azadi و همکاران، ۲۰۲۱؛ Yazdani و همکاران، ۲۰۲۱؛ Ghazi و همکاران، ۲۰۲۱). تغییر اقلیم می‌تواند باعث تغییر در میانگین یا انحراف معیار متغیرهای اقلیمی و یا هر دو شود. کاهش مقدار میانگین بارش (با فرض ثابت بودن انحراف معیار) نشان‌دهنده کاهش احتمال وقوع بارش‌های سنگین و افزایش احتمال وقوع خشکسالی است (Ongoma و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش میانگین دما (با فرض ثابت بودن انحراف معیار) نیز با افزایش وقوع تنش‌های گرمایی و کاهش دوره‌های سرد همراه خواهد بود. از طرف دیگر کاهش انحراف معیار بارش (با فرض ثابت بودن میانگین) نشان‌دهنده افزایش احتمال وقوع بارش‌های حدی و در نتیجه افزایش وقوع هر دو پدیده سیل و خشکسالی است (Jahn، ۲۰۱۵؛ Zhan و همکاران، ۲۰۲۰). این مسئله در مورد دما افزایش وقوع دوره‌های گرمایی و گرمایی شدید را به دنبال دارد (Jahn، ۲۰۱۵؛ Zhan و همکاران، ۲۰۲۰؛ IPCC، ۲۰۰۱). در برخی موارد هم میانگین و هم انحراف معیار متغیرها همزمان تغییر می‌کند که تبعات متفاوتی را در چرخه هیدرولوژی (Kundzewicz و Gerten، ۲۰۱۵؛ Fang و Li، ۲۰۲۱؛ Usman و همکاران، ۲۰۲۱)، عملکرد محصولات کشاورزی (Challinor و همکاران، ۲۰۱۴؛ Kogo و همکاران، ۲۰۲۱؛ Mukhopadhyay و همکاران، ۲۰۲۱) و اکولوژی (Seddon و همکاران، ۲۰۱۶؛ Prakash، ۲۰۲۱؛ Verma، ۲۰۲۱) مناطق مختلف به دنبال خواهد داشت. چنین شرایطی هزینه‌های اقتصادی فراوانی برای جوامع به همراه دارد و با به مخاطره افتادن منابع آبی موجود، تولید محصولات کشاورزی کاهش یافته و فقر و گرسنگی گسترش خواهد یافت (Abbaspour و همکاران، ۲۰۰۹).

از منظر مدیریت منابع آب، تغییرات در مقدار و توزیع بارش و دما می‌تواند برای کشوری چون ایران که همواره با محدودیت منابع آب روبه‌رو بوده است، چالش‌هایی را به دنبال داشته باشد. وضعیت منابع آبی کشور به‌ویژه منابع آب زیرزمینی در حال حاضر در شرایط نامناسبی قرار داشته (Mianabadi و همکاران، ۲۰۲۰؛ Mianabadi و همکاران، ۲۰۲۱) و مدیریت این منابع و میزان استفاده بهینه از آن‌ها مورد توجه محققان و مسئولان می‌باشد. این مسئله در جوامع

منتخب در سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ استفاده شد. دوره آماری به دو دوره ۳۰ ساله ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ تقسیم و تغییرات دو متغیر در دوره ۳۰ ساله دوم نسبت به دوره ۳۰ ساله اول بررسی شد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های منتخب در کشور (طبقه‌بندی اقلیم ایران براساس شاخص خشکی بادیکو (نسبت تبخیر-تعرق پتانسیل به بارش) صورت گرفته است)

### • بررسی روند تغییرات در دو دوره ۳۰ ساله

بررسی روند تغییرات در سری‌های زمانی مختلف معمولاً با آزمون غیرپارامتریک من-کندال (Mann, ۱۹۴۵؛ Kendall, ۱۹۷۵) انجام می‌شود. این آزمون می‌تواند برای همه توابع توزیع استفاده شده و نیازی به شرط نرمال بودن داده‌ها ندارد. بنابراین به‌طورگسترده‌ای در بررسی روند متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی استفاده می‌شود (Mianabadi و همکاران، ۲۰۱۹). آزمون من-کندال به صورت زیر

$$z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (1)$$

تعریف می‌شود:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (2)$$

که در این رابطه:

$$V(S) = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)]}{18} \quad (3)$$

در این معادلات،  $V(S)$  واریانس  $S$ ،  $n$  تعداد جفت داده‌ها،  $t_i$  تعداد پیوندها برای مقدار  $i$  ام،  $m$  تعداد گروه پیوندها و  $x_j$  و  $x_i$  مقادیر داده‌های متوالی می‌باشند. گروه پیوندها به تعداد اعدادی گفته می‌شود که در سری مورد بررسی بیش از یک بار تکرار شده است. به عنوان مثال اگر در یک سری فرضی اعداد ۲، ۱۰ و ۱۴ به ترتیب ۳، ۴ و ۵ بار و بقیه اعداد هر کدام یک بار تکرار شده باشد، در این سری  $m$  برابر ۳ و  $t_1$ ،  $t_2$  و  $t_3$  به ترتیب برابر ۳، ۴ و ۵ می‌باشد. مقادیر مثبت  $z_{MK}$  روند افزایشی و مقادیر منفی آن روند کاهشی را نشان می‌دهد.

### • بررسی شیب تغییرات

برای بررسی شیب تغییرات بارش و دما از تخمین‌گر شیب سن (Sen's slope) استفاده شد (Sen, ۱۹۶۸) که مقدار آن با رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$\beta = \text{Median}((x_j - x_k)/(j - k)) \quad (4)$$

در این رابطه  $x_j$  و  $x_k$  مقادیر سری زمانی (در این مطالعه بارش و دما) در زمان‌های  $j$  و  $k$  می‌باشد ( $j > k$ ). مقادیر مثبت  $\beta$  نشان‌دهنده شیب مثبت تغییرات و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده شیب منفی تغییرات است.

### • تغییرات تابع توزیع متوسط سالانه بارش و دما

همانطور که در بخش مقدمه ذکر شد، برای بررسی تغییرات توزیع متوسط سالانه بارش و دما، تغییرات مقدار میانگین و انحراف معیار در دو دوره مختلف بررسی می‌شود. به این منظور برای نمایش بهتر تغییرات میانگین و انحراف معیار، از تابع توزیع نرمال برازش داده شده به داده‌ها استفاده شد. آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آماره کولموگروف-اسمیرنوف و در سطح ۹۹ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. برازش تابع توزیع در محیط برنامه‌نویسی MATLAB انجام گرفت.

### • تعیین شاخص خشکی ایستگاه‌ها

برای تعیین میزان خشکی ایستگاه‌ها از دو شاخص دومارتن و بادیکو استفاده شد. de Martonne (۱۹۲۵) شاخص پیشنهادی خود را به صورت زیر ارائه نمود.

$$I_{DM} = P/(T+10) \quad (5)$$

در این رابطه  $P$  بارش سالانه (میلیمتر)،  $T$  دمای متوسط سالانه (درجه سلسیوس) و  $I_{DM}$  شاخص خشکی دومارتن است.

Budyko (۱۹۷۴) رابطه زیر را برای تعیین میزان خشکی توسعه داد:

$$I_B = E_p/P \quad (6)$$

در این معادله  $P$  بارش سالانه (میلیمتر)،  $E_p$  تبخیر-تعرق پتانسیل سالانه (میلیمتر) و  $I_B$  شاخص خشکی بادیکو است. در این پژوهش تبخیر-تعرق پتانسیل با روش هارگریوز-سامانی (Hargreaves و Samani, ۱۹۸۲) محاسبه شد. این دو شاخص به این دلیل استفاده شد که هر دو متغیر دما و بارش را در خود دارند و تغییرات همزمان این دو متغیر را با هم مورد نظر قرار می‌دهند.

### نتایج و بحث

#### • بررسی روند تغییرات بارش و دما

جدول (۱) مقدار  $Z$  آزمون من-کندال برای متغیرهای بارش و دمای متوسط در ۱۲ ایستگاه منتخب را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود، در دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ مقدار بارش سالانه

در اکثر ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است که شیب این تغییرات (شیب سن) در جدول (۲) نشان داده شده است. در ایستگاه‌های خرم‌آباد، زاهدان، کرمان و گرگان روند بارش‌ها کاهش یافته است که از این میان تنها روند کاهش در ایستگاه گرگان، با شیب  $-۵/۳۰$ ، معنی‌دار بوده است. در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰، روند تغییرات بارش در اکثر ایستگاه‌ها کاهش یافته است، اما به جز در ایستگاه شیراز (با شیب  $-۴/۶۸$ ) و کرمان (با شیب  $-۱/۶۱$ ) در بقیه ایستگاه‌ها این روند کاهش معنی‌دار نبوده است. حجازی‌زاده و پروین (۱۳۸۸) نیز دریافتند که بیشتر تغییرات رخ داده در بارش تهران از نوع نوسانات کوتاه مدت آب و هوایی و بدون روند معنی‌دار بوده است. برخی از مطالعات پیشین در ایران نیز نشان داده‌اند که روند کاهش بارش اغلب معنی‌دار نبوده است (حجازی‌زاده و پروین، ۱۳۸۸؛ اسدی و حیدری، ۱۳۹۰؛ ناصرزاده و همکاران، ۱۳۹۱؛ رئیسی نافچی و سلطانی محمدی، ۱۳۹۵؛ کامیابی و عبدی، ۱۳۹۹).

جدول ۱- مقدار Z آزمون من-کندال برای متغیرهای بارش و دما در ۱۲ ایستگاه منتخب

ایستگاه	$Z_{MK}$			
	دمای متوسط		بارش	
	۱۹۹۱-۲۰۲۰	۱۹۶۱-۱۹۹۰	۱۹۹۱-۲۰۲۰	۱۹۶۱-۱۹۹۰
ارومیه	۲/۹۳*	-۲/۱۴*	۰/۳۹	۰/۰۴
اهواز	۳/۷۵*	۲/۶۴*	-۱/۴۶	۰/۵۷
بندرانزلی	۴/۴۲*	-۱/۱۱	۱/۳۲	۰/۴۶
بندرعباس	۲/۳۶*	-۲/۰۶۸*	-۱/۲۵	۱/۳۲
تهران	۱/۹۳*	۲/۸۲*	-۰/۱۱	۰/۸۹
خرم‌آباد	۳/۷۵*	-۴/۶۷*	-۰/۲۵	-۱/۲۸
زاهدان	۲/۸۵*	۱/۸۹	-۰/۵۴	-۱/۴۳
شیراز	-۰/۱۴	۴/۰۳*	-۲/۰۷*	۰/۴۳
کرمان	۳/۲۵*	۱/۰۹	-۱/۸۹*	-۰/۴۶
گرگان	۲/۷۱*	-۰/۷۵	-۱/۰۰	۱/۹۳*
مشهد	۴/۰۰*	۱/۵۳	-۰/۳۶	۱/۲۸
یزد	۴/۲۵*	۲/۵۰*	-۰/۷۱	۱/۳۹

\* علامت ستاره در بالای اعداد نشان‌دهنده معنی‌داری روند است

مقدار Z آزمون من-کندال برای متغیر دما (جدول ۱) نشان می‌دهد که در دوره ۳۰ ساله ۱۹۶۱-۱۹۹۰ در ایستگاه‌های ارومیه، بندرانزلی، بندرعباس، خرم‌آباد و گرگان دمای متوسط روند کاهش داشته است که این روند کاهش در ایستگاه‌های ارومیه (با شیب  $-۰/۰۵$ )، بندرعباس (با شیب  $-۰/۰۳$ ) و خرم‌آباد (با شیب  $-۰/۱۱$ ) معنی‌دار بوده است. در سایر ایستگاه‌ها روند دمای متوسط افزایشی و معنی‌دار بوده است (با حداکثر شیب  $۰/۰۶$  در شیراز). این درحالی است که در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ در همه ایستگاه‌ها به غیر از شیراز، دمای متوسط

روند افزایشی معنی‌داری داشته و سطح اطمینان معنی‌داری این افزایش بیشتر از دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ است ( $Z < ۲/۵۷۶$ ). شیب افزایش دما در این دوره نیز نسبت به دوره قبل بیشتر بوده است (جدول ۲). بررسی داده‌ها نشان داد که کاهش روند دمای متوسط در ایستگاه شیراز در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ به دلیل کاهش معنی‌دار روند دمای حداقل در این ایستگاه بوده است.

جدول ۲- مقدار شیب سن (Sen's Slope) برای متغیرهای بارش و دما در ۱۲ ایستگاه منتخب

ایستگاه	شیب سن (Sen's Slope)			
	بارش		دمای متوسط	
	۱۹۹۱-۲۰۲۰	۱۹۶۱-۱۹۹۰	۱۹۹۱-۲۰۲۰	۱۹۶۱-۱۹۹۰
ارومیه	۰/۱۳	۰/۷۷	-۰/۰۵	۰/۰۴
اهواز	۱/۰۹	-۲/۵۱	۰/۰۳	۰/۰۵
بندرانزلی	۳/۵۰	۸/۰۲	-۰/۰۱	۰/۰۶
بندرعباس	۲/۷۷	-۲/۹۲	-۰/۰۳	۰/۰۲
تهران	۱/۷۴	-۰/۴۷	۰/۰۴	۰/۰۳
خرم‌آباد	-۲/۳۷	-۰/۸۴	-۰/۱۱	۰/۰۶
زاهدان	-۱/۲۳	-۰/۶۰	۰/۰۳	۰/۰۴
شیراز	۱/۰۳	-۴/۶۸	۰/۰۶	-۰/۰۰۱
کرمان	-۰/۴۰	-۱/۶۱	۰/۰۱	۰/۰۴
گرگان	-۵/۳۰	-۳/۵۸	-۰/۰۱	۰/۰۳
مشهد	۱/۹۲	-۰/۶۲	۰/۰۳	۰/۰۷
یزد	۰/۷۹	-۰/۴۰	۰/۰۳	۰/۰۷

#### • آزمون نرمال بودن داده‌ها

نتایج آزمون نرمال بودن داده‌های بارش و دمای متوسط (آماره کولموگروف-اسمیرنوف و مقدار P-value در جدول ۳) نشان داد که به جز بارش در ایستگاه بندرعباس در دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰، دما در یزد در دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و دما در تهران و گرگان در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰، مقادیر بارش و دما در سایر ایستگاه‌ها در سطح ۹۹ درصد از توزیع نرمال پیروی می‌کنند ( $P < ۰/۰۱$ ). بنابراین در این مطالعه از توزیع نرمال برای داده‌ها استفاده شد.

#### • تغییرات میانگین بارش و دما در دوره‌های ۳۰ ساله

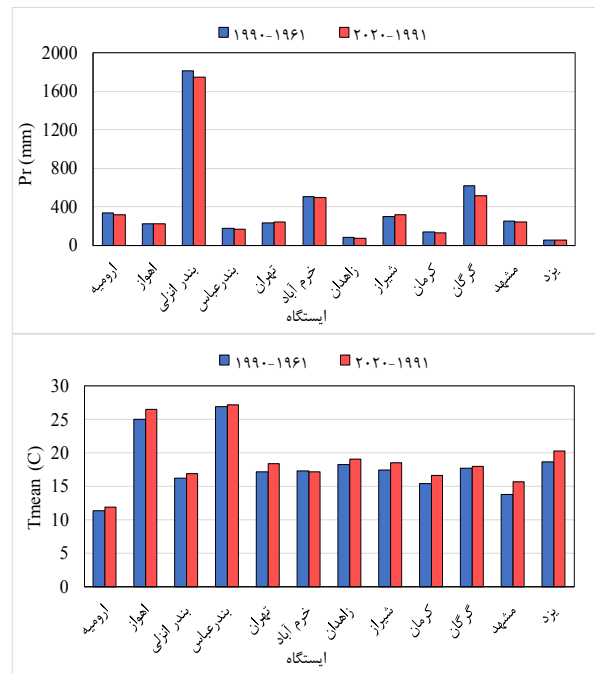
تغییرات میانگین بارش و دمای متوسط در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ (شکل ۲) نشان می‌دهد، میانگین بارش در ایستگاه‌های پر بارش‌تر شامل ارومیه، بندرانزلی، خرم‌آباد و گرگان کاهش یافته است و شهرهای گرم‌تر تغییر محسوسی در مقدار بارش نشان نداده‌اند. متوسط بارش سالانه در تهران و شیراز با افزایش همراه بوده است. دمای متوسط در دوره ۳۰ ساله اول نیز نسبت به دوره ۳۰ ساله دوم در تمام ایستگاه‌ها به غیر از خرم‌آباد افزایش داشته است.

جدول ۳- نتایج آزمون نرمال بودن داده‌های بارش و دمای متوسط در ۱۲ ایستگاه منتخب

ایستگاه	بارش				دمای متوسط			
	۱۹۶۱-۱۹۹۰		۱۹۹۱-۲۰۲۰		۱۹۶۱-۱۹۹۰		۱۹۹۱-۲۰۲۰	
	آماره کولموگروف- اسمیرنوف	P-value	آماره کولموگروف- اسمیرنوف	P-value	آماره کولموگروف- اسمیرنوف	P-value	آماره کولموگروف- اسمیرنوف	P-value
ارومیه	۰/۱۱۲	۰/۲۰۰	۰/۱۵۰	۰/۰۸۳	۰/۱۷۸	۰/۰۱۶	۰/۱۴۸	۰/۰۹۴
اهواز	۰/۰۷۱	۰/۲۰۰	۰/۱۲۱	۰/۲۰۰	۰/۱۱۱	۰/۲۰۰	۰/۱۶۵	۰/۰۳۷
بندر انزلی	۰/۱۶۴	۰/۰۳۸	۰/۱۲۶	۰/۲۰۰	۰/۱۳۰	۰/۲۰۰	۰/۱۲۴	۰/۲۰۰
بندر عباس	۰/۱۸۸	۰/۰۰۸	۰/۱۴۳	۰/۱۲۱	۰/۱۰۰	۰/۲۰۰	۰/۱۷۱	۰/۰۲۵
تهران	۰/۰۶۱	۰/۲۰۰	۰/۱۱۲	۰/۲۰۰	۰/۱۳۲	۰/۱۹۱	۰/۲۰۰	۰/۰۰۳
خرم آباد	۰/۱۵۹	۰/۰۵۱	۰/۱۶۷	۰/۰۳۲	۰/۱۲۳	۰/۲۰۰	۰/۰۹۹	۰/۲۰۰
زاهدان	۰/۱۶۴	۰/۰۳۸	۰/۱۲۱	۰/۲۰۰	۰/۱۰۰	۰/۲۰۰	۰/۱۶۵	۰/۰۳۵
شیراز	۰/۱۳۲	۰/۱۹۴	۰/۱۲۲	۰/۲۰۰	۰/۰۹۹	۰/۲۰۰	۰/۱۲۴	۰/۲۰۰
کرمان	۰/۱۱۲	۰/۲۰۰	۰/۱۰۸	۰/۲۰۰	۰/۱۵۶	۰/۰۶۲	۰/۱۸۰	۰/۰۱۴
گرگان	۰/۰۹۴	۰/۲۰۰	۰/۱۰۹	۰/۲۰۰	۰/۱۰۰	۰/۲۰۰	۰/۱۹۸	۰/۰۰۴
مشهد	۰/۱۲۷	۰/۲۰۰	۰/۱۴۰	۰/۱۳۷	۰/۱۳۹	۰/۱۴۱	۰/۱۱۷	۰/۲۰۰
یزد	۰/۱۱۱	۰/۲۰۰	۰/۱۵۰	۰/۰۸۳	۰/۲۰۳	۰/۰۰۳	۰/۱۶۱	۰/۰۴۶

اول به سمت چپ متمایل شده است، مقدار متوسط بارش کاهشی بوده است. این مسئله در ایستگاه‌های پر باران تر (ارومیه، بندرانزلی، خرم‌آباد و گرگان) دیده می‌شود. مطالعات پیشین (عساکره، ۱۳۸۶؛ Zarrin و Dadashi-Roudbari، ۲۰۲۱) نیز نشان می‌دهند که بارش در غرب کشور در سال‌های آینده کاهش می‌یابد. نتایج Evans (۲۰۰۹) نیز این مسئله را تأیید می‌کند که مناطق نیمه‌گرمسیری در سال‌های اخیر خشک‌تر شده‌اند. بر اساس یافته‌های Naderi و Raeisi (۲۰۱۶) کاهش بارش در غرب کشور به دلیل کاهش بارش توده هوای مدیترانه‌ای، که در زمستان بادهای غربی را به همراه دارد و بخش اعظمی از بارش ایران را تامین می‌کند (Bari Abarghouei و همکاران، ۲۰۱۱)، در اقلیم آینده است. از سوی دیگر به طور کلی قدرتمند شدن پرفشار شمالی و زبانه پرفشار سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و کاهش رطوبت نسبی، شرایط پایدارتر، گرم‌تر، خشک‌تر و با بارش کمتر برای اکثر مناطق کشور به ویژه در مرکز ایجاد می‌کند (Kousari و همکاران، ۲۰۱۱؛ Fazel-Rastgar، ۲۰۲۱).

در ایستگاه ارومیه تابع توزیع کمی به سمت چپ متمایل شده است، اما شکل تابع تغییری نکرده است. بر این اساس احتمال وقوع بارش‌های سنگین در این ایستگاه در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است و در مقابل احتمال وقوع بارش‌های با مقادیر کم افزایش یافته است. به عبارت دیگر در این ایستگاه احتمال ترسالی‌ها کاهش و احتمال خشکسالی‌ها افزایش یافته است. چنین شرایط مشابهی در ایستگاه‌های کرمان و گرگان نیز مشاهده می‌شود، با این



شکل ۲- تغییرات میانگین سالانه بارش و دما در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰

• تغییرات توزیع بارش و دما در دوره‌های ۳۰ ساله  
بر اساس آنچه در شکل (۳) مشاهده می‌شود، در ایستگاه‌هایی که تابع توزیع بارش در دوره ۳۰ ساله دوم نسبت به دوره ۳۰ ساله

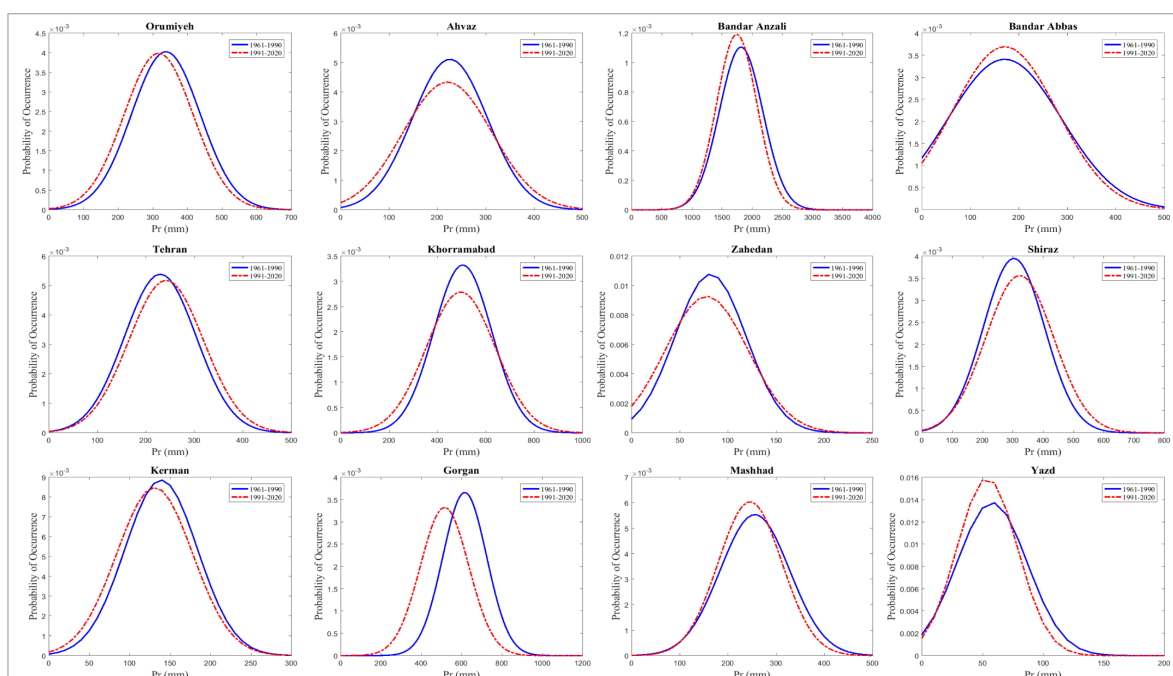


تفاوت که احتمال وقوع بارش‌های متوسط در این دو ایستگاه در دوره دوم نسبت به دوره اول کمتر شده است. در ایستگاه‌های بندرانزلی، مشهد و یزد احتمال وقوع بارش‌های سنگین کاهش یافته و احتمال وقوع دوره‌های خشک تغییری نکرده است. در تهران و شیراز تابع توزیع به سمت راست جابه‌جا شده است که نشان‌دهنده افزایش بارش در این دو ایستگاه می‌باشد. در این دو ایستگاه احتمال وقوع دوره‌های خشک تغییر محسوسی نکرده است، اما احتمال وقوع بارش‌های شدید افزایش یافته است. در ایستگاه اهواز، خرم‌آباد و زاهدان، مقدار متوسط بارش تغییری نکرده است، اما افزایش انحراف معیار باعث جابه‌جایی تابع توزیع به سمت پایین شده است که در این شرایط احتمال وقوع پدیده‌های حدی افزایش یافته است. با توجه به افزایش احتمال وقوع بارش‌های سنگین در ایستگاه‌های خرم‌آباد، اهواز و شیراز که بارش آن‌ها تحت تأثیر سیستم کم‌فشار سودانی است (Raziei و همکاران، ۲۰۱۲)، می‌توان امکان تأثیر افزایش فعالیت این سیستم را بر تغییرات بارش ایستگاه‌های مورد توجه قرار داد. این مسئله در مورد جریان‌ات موسمی که جنوب شرق کشور (ایستگاه زاهدان) را تحت تأثیر قرار می‌دهد نیز صادق است. وقوع سیلاب‌های سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۱ می‌تواند موید این مسئله باشد. دلیل تشدید فعالیت این سیستم‌ها می‌تواند عبور از روی آب‌های گرم‌تر به دلیل تغییر اقلیم باشد. این مسئله در ایستگاه بندرعباس برعکس بوده و با کاهش انحراف معیار، احتمال وقوع وقایع حدی کمتر شده است. با توجه به اینکه بندرعباس تحت تأثیر هر دو سیستم سودانی و موسمی قرار دارد، احتمالاً به دلیل دور بودن از این دو سیستم، شدت بارش‌ها در این ایستگاه کمتر می‌شود، اما احتمال وقوع بارش‌های متوسط در آن بیشتر است.

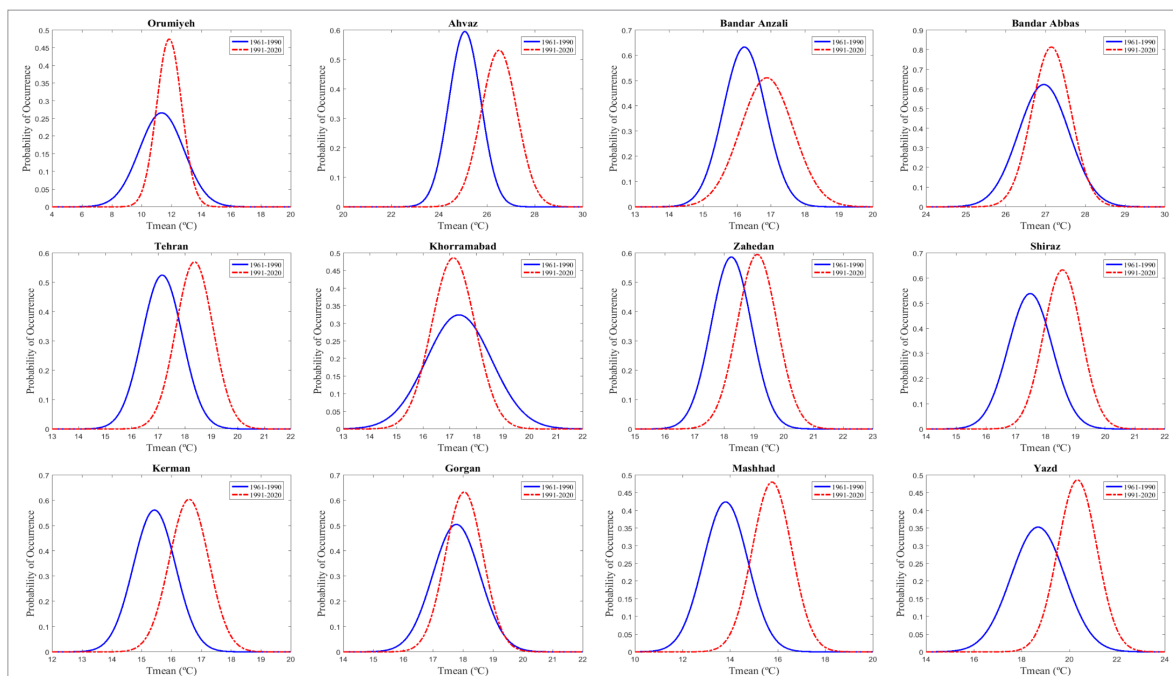
شکل (۴) نیز تغییرات تابع توزیع دمای متوسط را در دوره ۳۰ ساله اول نسبت به دوره ۳۰ ساله دوم نشان می‌دهد. در این شکل دیده می‌شود که در همه ایستگاه‌ها به غیر از خرم‌آباد، تابع توزیع به سمت راست متمایل شده است که نشان‌دهنده افزایش میانگین دما می‌باشد. در ایستگاه ارومیه دامنه دمای متوسط کاهش چشمگیری داشته است و همچنین احتمال وقوع تنش‌های گرمایی و سرمای کمتر شده است. چنین شرایطی در ایستگاه خرم‌آباد نیز مشاهده می‌شود. در ایستگاه‌های اهواز، بندرانزلی، تهران، زاهدان، شیراز، کرمان، مشهد و یزد احتمال وقوع دماهای بالاتر و تنش‌های گرمایی افزایش یافته و احتمال وقوع دماهای پایین‌تر کاهش یافته است. رفتار ایستگاه‌های بندرعباس و گرگان مشابه هم بوده و در هر دو احتمال وقوع دماهای پایین کمتر شده است، اما احتمال وقوع دماهای بالا تغییری نکرده است.

#### • تغییر در متوسط تعداد روزهای با بارش بیشتر از ۱۰ و ۵۰ میلی‌متر در سال

متوسط تعداد روزهای با بارش بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در سال در همه ایستگاه‌ها به غیر از تهران، کرمان و یزد در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است (جدول ۴). با توجه به مقدار کم بارش در ایستگاه‌های خشک کشور، افزایش تعداد روزهای بارانی بیشتر از ۱۰ میلی‌متر نشان‌دهنده افزایش احتمال وقوع سیلاب در این شهرها است (Abbaspour و همکاران، ۲۰۰۹). در ایستگاه‌های بندرانزلی، خرم‌آباد، شیراز و گرگان متوسط تعداد روزهای با مقدار بارش بیش از ۵۰ میلی‌متر در سال افزایش یافته است که نشان‌دهنده افزایش احتمال تعداد روزهای سیلابی در این ایستگاه‌ها است.



شکل ۳- تغییر توزیع بارش سالانه در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰



شکل ۴- تغییر توزیع دمای متوسط سالانه در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰

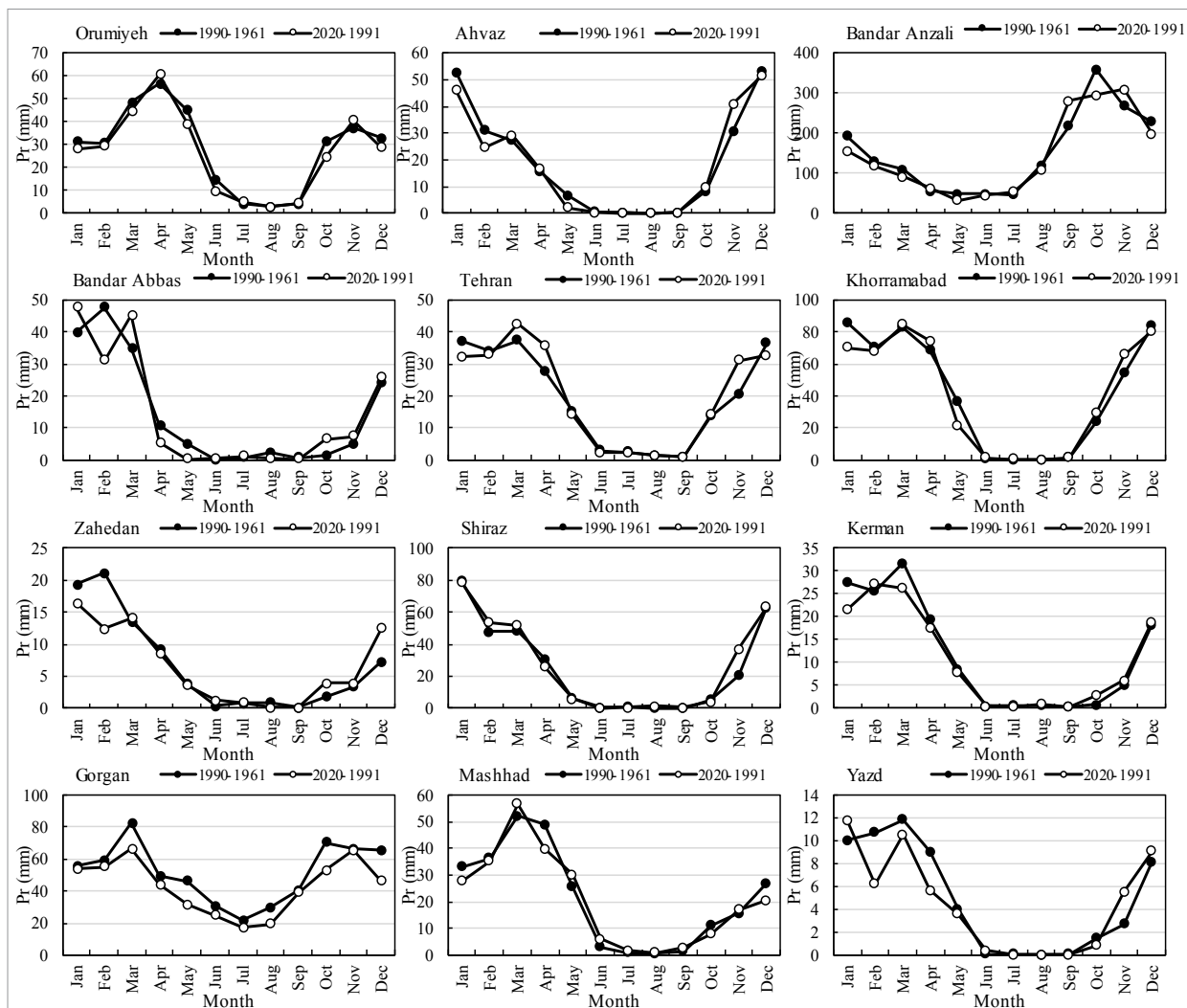
کم‌باران‌تر می‌باشند (شکل ۵). جدول (۵) نیز نشان می‌دهد که الگوی منظمی برای تغییر مقدار بارش در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف وجود ندارد. اما در اکثر ایستگاه‌ها بارش در ماه‌های پرباران (دسامبر، ژانویه و فوریه) و همچنین ماه می کاهش و در ماه‌های ژوئن تا نوامبر افزایش یافته است. البته باید توجه داشت که در ماه‌های گرم سال که مقدار بارش نسبت به ماه‌های سرد سال بسیار کمتر است، کمی تغییر در بارش می‌تواند درصد تغییرات بارش را به شدت افزایش دهد. افزایش بارش در ماه گرم سال به دلیل هم‌زمانی این ماه‌ها با فصل کشت و رشد گیاهان، در صورتی که سیلابی نبوده و با روش‌های آبخیزداری کنترل شود، می‌تواند اثر مثبتی بر تولیدات کشاورزی داشته باشد. کاهش بارش در ماه‌های ژانویه و فوریه به دلیل اثر آن در جریان رودخانه‌ها در بهار و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی اهمیت می‌یابد.

بر اساس شکل (۶) و جدول (۶) نیز تقریباً تمام ماه‌های سال افزایش دما داشته‌اند. شکل (۶) همچنین نشان می‌دهد که توزیع دما در طول سال تغییری نکرده است. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، افزایش دمای متوسط در مشهد مشهودتر از بقیه ایستگاه‌هاست که این تغییرات به خاطر افزایش قابل ملاحظه دمای حداقل در این ایستگاه است. این مسئله می‌تواند به دلیل وقوع جزیره حرارتی در شهر مشهد که بر دمای حداقل بیشتر از دمای حداقل اثر دارد، باشد (فرزندی و همکاران، ۱۳۹۹).

جدول ۴- تغییر در متوسط تعداد روزهای با بارش بیشتر از ۱۰ و ۵۰ میلی‌متر در سال در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰

ایستگاه	متوسط تعداد روزهای با بارش $\leq 10$ میلی‌متر		متوسط تعداد روزهای با بارش $\leq 50$ میلی‌متر	
	۱۹۹۱-۲۰۲۰	۱۹۶۱-۱۹۹۰	۱۹۹۱-۲۰۲۰	۱۹۶۱-۱۹۹۰
ارومیه	۱۰/۲	۹/۵	۰/۱	۰/۱
اهواز	۷/۶	۷/۲	۰/۳	۰/۳
بندرانزلی	۵۰/۲	۴۸/۰	۸/۴	۸
بندرعباس	۵	۵	۰/۴	۰/۵
تهران	۶/۸	۷/۲	.	.
خرم‌آباد	۱۶/۹	۱۶/۶	۰/۶	۰/۳
زاهدان	۲/۶	۲/۲	.	.
شیراز	۱۰/۹	۱۰/۵	۰/۵	۰/۴
کرمان	۳/۵	۳/۷	.	.
گرگان	۲۰/۳	۱۶/۰	۰/۶	۰/۳
مشهد	۷/۷	۷/۲	.	.
یزد	۱/۱	۱/۲	.	.

• تغییرات توزیع بارش و دمای ماهانه در طول سال  
توزیع بارش در طول سال در دوره دوم نسبت به دوره اول تغییری نکرده و همچنان ماه‌های سرد سال پرباران و ماه‌های گرم سال



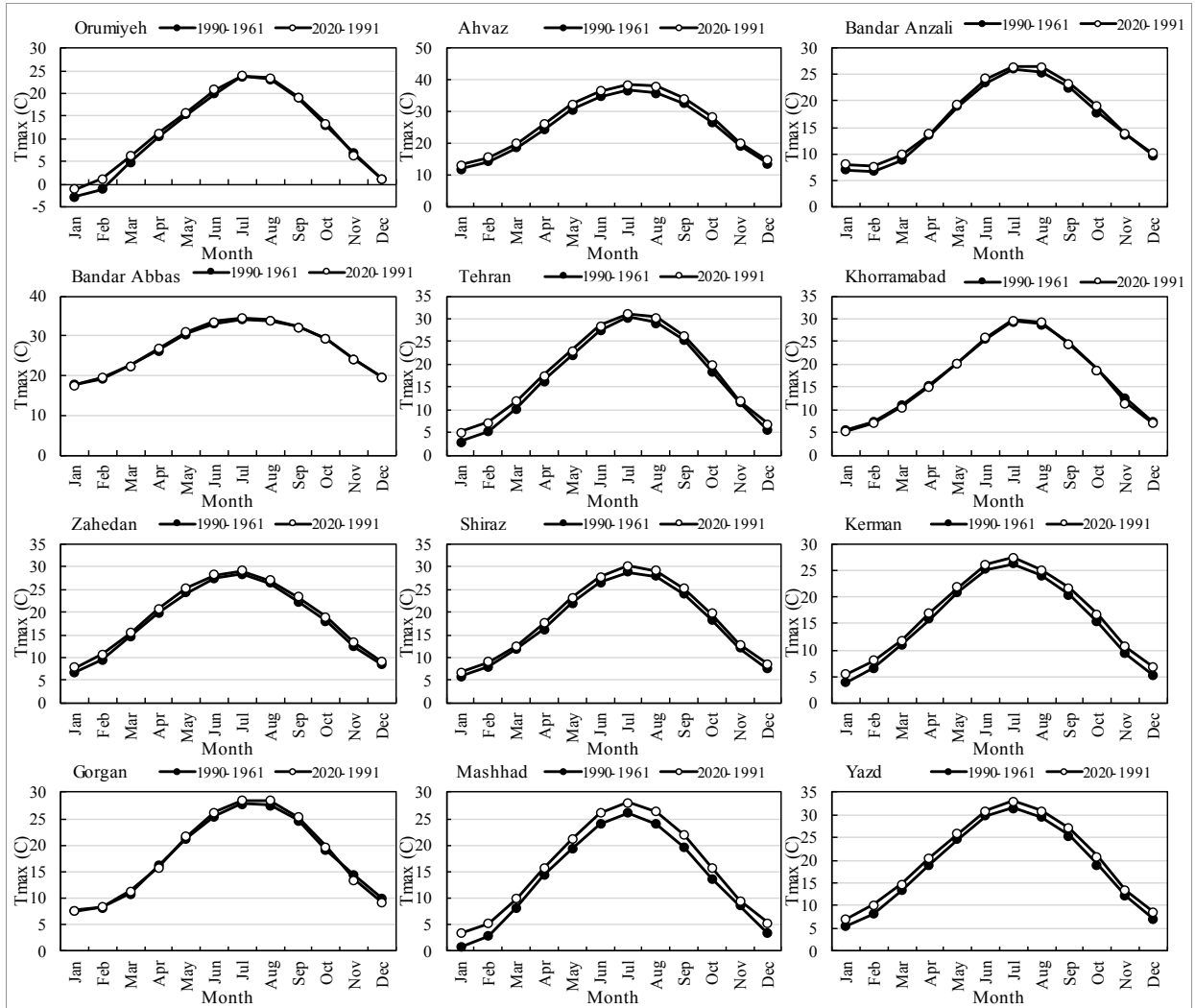
شکل ۵- تغییر مقدار و توزیع بارش ماهانه در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰

جدول ۵- درصد تغییرات بارش ماهانه در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ارومیه	-۹	-۵	-۸	۷	-۱۴	-۳۴	۲۴	۱	۱۳	-۲۲	۹	-۱۳
اهواز	-۱۳	-۲۰	۷	۷	-۶۷	-۷۷	-۱۰۰	-۱۰۰	۲۵	۱۹	۳۳	-۳
بندر انزلی	-۱۹	-۷	-۱۷	۱۲	-۳۴	-۹	۱۷	-۹	۲۹	-۱۸	۱۶	-۱۳
بندرعباس	۲۰	-۳۵	۳۰	-۴۹	-۹۶	۱۴۱۰	۸۲	-۸۴	-۶۱	۳۹۵	۴۹	۷
تهران	-۱۳	-۳	۱۴	۲۹	-۷	-۲۲	-۶	-۱	-۲	۳	۵۱	-۱۰
خرم آباد	-۱۸	-۴	۲	۹	-۴۱	۲۸۵	۳۰۰	-۲۳	۱۱	۲۴	۲۲	-۴
زاهدان	-۱۵	-۴۱	۵	-۷	-۶	۲۱۰	۲۰	-۸۳	-۳۵	۱۱۵	۱۴	۷۳
شیراز	-۱	۱۲	۷	-۱۶	-۱۰	۱۳۱	-۵۷	۹۵۴	$5 \times 10^4$	-۲۴	۷۹	۰/۳
کرمان	-۲۲	۶	-۱۷	-۹	-۸	۱۰	-۴۲	۴۵	۱۷	۲۸۶	۲۰	۳
گرگان	-۳	-۷	-۲۰	-۱۱	-۳۱	-۱۹	-۱۹	-۳۴	-۳	-۲۵	-۱	-۲۹
مشهد	-۱۶	-۳	۹	-۱۹	۱۸	۹۸	۷۹	۲۴	۸۱	-۳۰	۸	-۲۴
یزد	۱۷	-۴۲	-۱۱	-۳۸	-۱۰	۳۱۱	-۴۶	-۱۰۰	-۱۰۰	-۴۰	۱۰۱	۱۱

\*بارش در ماه سپتامبر در شیراز در دوره اول صفر بوده است. برای اینکه مخرج کسر صفر نباشد، مقدار ۰/۰۰۰۰۰۱ به جای صفر در نظر گرفته شد. بنابراین برای درصد افزایش بارش عدد بزرگی به دست آمد.





شکل ۶- تغییر مقدار و توزیع دمای متوسط ماهانه در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰

جدول ۶- درصد تغییرات دمای متوسط ماهانه در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ارومیه	۶۱	۲۱۹	۲۷	۷	۳	۵	۱	۲	۰/۵	۴	-۵	۰/۳
اهواز	۱۱	۹	۷	۷	۶	۵	۵	۶	۵	۶	۴	۹
بندر انزلی	۱۳	۱۴	۱۳	۲	۲	۳	۲	۴	۳	۶	۰/۳	۳
بندرعباس	-۱	۲	-۰/۵	۳	۲	۱	۱	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۰	۱
تهران	۶۷	۳۷	۱۶	۷	۵	۴	۳	۴	۴	۷	۳	۲۳
خرم آباد	-۵	-۴	-۴	-۲	-۰/۱	۱	۱	۱	-۰/۴	۱	-۹	-۵
زاهدان	۱۶	۱۳	۵	۵	۵	۳	۲	۲	۴	۵	۸	۷
شیراز	۱۵	۱۴	۶	۹	۶	۴	۵	۴	۵	۷	۶	۱۴
کرمان	۳۸	۲۱	۷	۷	۵	۴	۵	۴	۷	۱۰	۱۵	۳۰
گرگان	۱	۳	۶	-۲	۱	۳	۲	۴	۳	۳	-۶	-۸
مشهد	۳۳۲	۸۵	۲۱	۹	۹	۹	۸	۱۰	۱۲	۱۵	۱۱	۵۴
یزد	۲۹	۲۵	۱۱	۸	۵	۴	۵	۵	۶	۱۰	۱۰	۲۲

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش روند تغییرات میانگین و توزیع بارش و دمای متوسط در دو دوره ۳۰ ساله گذشته (۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ۲۰۲۰-۱۹۹۱) در ۱۲ ایستگاه منتخب بررسی و مقایسه شد. بر اساس نتایج حاصل اگرچه روند بارش در دوره ۳۰ ساله دوم کاهشی شده است، اما این روند از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. این مسئله نشان می‌دهد که بیشتر تغییرات رخ داده در بارش از نوع نوسانات کوتاه مدت آب و هوایی است. اما تغییرات دمای متوسط نشان می‌دهد که در هر دو دوره ۳۰ ساله به طور معنی‌داری روند این متغیر افزایشی و سطح معنی‌داری این افزایش در دوره دوم بالاتر از دوره اول است. توزیع بارش ماهانه در طول سال در این ایستگاه‌ها تغییری نکرده است، اما مقدار بارش در ماه‌های ژانویه و فوریه بیشترین کاهش را نشان داده است. بر اساس نتایج به دست آمده برای توزیع بارش و دمای سالانه در هر دو دوره، به نظر می‌رسد که برخی از جریان‌های هوایی موثر بر آب و هوای ایران از جمله کم فشار سودانی و جریان‌های موسمی تشدید شده که می‌تواند دلیل افزایش وقوع بارش‌های سنگین در مناطق تحت تأثیر از جمله اهواز، خرم‌آباد و شیراز باشد. در برخی ایستگاه‌ها در غرب و شمال کشور متوسط بارش کاهش یافته و احتمال وقوع خشکسالی‌ها بیشتر شده است که این مسئله می‌تواند به دلیل کاهش بارش توده هوای مدیترانه‌ای، که در زمستان بادهای غربی را به همراه دارد و بخش اعظمی از بارش ایران را تأمین می‌کند، باشد.

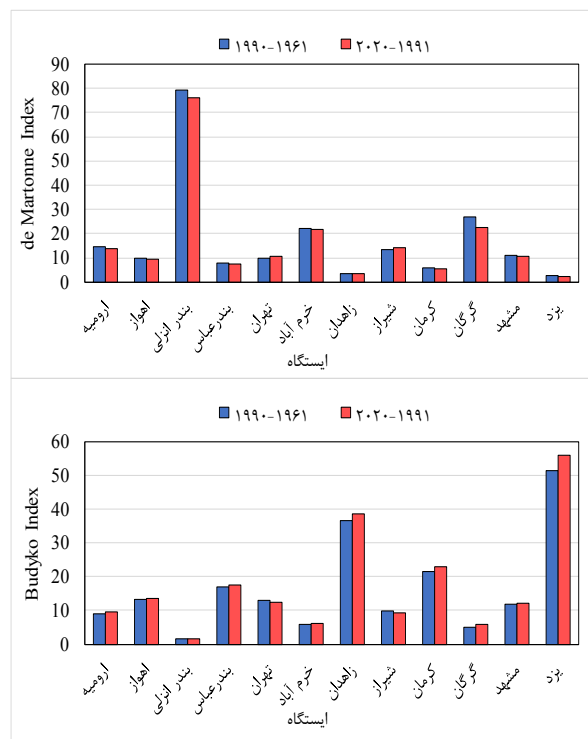
باید توجه داشت که بر اساس پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی شرایط به وقوع پیوسته در این دوره ۶۰ ساله می‌تواند در اقلیم آینده نیز ادامه داشته باشد. بنابراین تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران باید برای سازگاری با شرایط اقلیمی آینده راهکارهای بلندمدت، منطقی و قابل انجام را برنامه‌ریزی کنند تا بتوانند از منابع آب در دسترس بهترین استفاده را در جهت رفع نیازهای جمعیت رو به رشد داشته باشند. این مسئله نیازمند داشتن درک کاملی از تغییرات احتمالی، منابع موجود و وضعیت آن‌ها و شناخت صحیح ظرفیت‌های موجود در شرایط فعلی و آینده برای سازگاری با تغییر اقلیم است.

## پی‌نوشت

- 1- Shortage
- 2- Scarcity

## • تغییرات شاخص خشکی

به طور کلی، بخش زیادی از کشور ایران دچار کمبود<sup>۱</sup> و یا کمبایی<sup>۲</sup> آب است (میان‌آبادی و داوری، ۱۳۹۹). تغییرات اقلیمی رخ داده در کشور می‌تواند میزان آب در دسترس را دچار تغییر کند. کاهش بارش و افزایش دما می‌تواند شرایط خشکی بیشتری را بر اقلیم کشور تحمیل کند. شکل (۷) تغییرات دو شاخص خشکی دومارتن و بادیکو را در ایستگاه‌های مورد بررسی در دو دوره ۳۰ ساله نشان می‌دهد. با توجه به ویژگی شاخص دومارتن، افزایش مقدار عددی آن به معنی کاهش شرایط خشکی می‌باشد. بنابراین کاهش مقدار شاخص در همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه تهران و شیراز نشان‌دهنده افزایش خشکی است. این مسئله در مورد شاخص بادیکو برعکس است. یعنی با افزایش مقدار شاخص، خشکی ایستگاه افزایش می‌یابد. بر اساس این شاخص نیز همه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه تهران و شیراز افزایش خشکی را داشته‌اند. کاهش خشکی در دو ایستگاه شیراز و تهران که با افزایش بارش روبه‌رو بوده‌اند نشان می‌دهد که متغیر بارش در مقایسه با دما و تبخیر-تعرق پتانسیل، اثر بیشتری بر درجه خشکی یک منطقه دارد.



شکل ۷- تغییر در میزان خشکی ایستگاه‌ها در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ (بنا بر تعریف، با افزایش شاخص خشکی بادیکو، میزان خشکی افزایش و با افزایش شاخص دومارتن، میزان خشکی کاهش می‌یابد)

- فرزندی، محبوبه، رضایی پژند، حجت، و میرکماندار، بهاره. (۱۳۹۹). تحلیل جزیره گرمایی و بررسی روند غیرخطی تغییرات دمای ۱۳۰ ساله مشهد. *هواشناسی و علوم جو*، ۳(۴)، ۳۷۵-۳۸۹. doi: [10.22034/JMAS.2021.296910.1148](https://doi.org/10.22034/JMAS.2021.296910.1148)
- کامیابی، سعید، و عبدی، کامیل. (۱۳۹۹). آشکارسازی و تحلیل روند تغییر اقلیم (بارش و دما) در محدوده ساری. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۷)، ۱۶۵-۱۷۹. doi: [10.22034/JEST.2019.43898.4642](https://doi.org/10.22034/JEST.2019.43898.4642)
- میان‌آبادی، آمنه، و داوری، کامران. (۱۳۹۹). ابهام‌زدایی از مفاهیم پایه در حوزه مدیریت آب: «سازگاری با کم‌آبی». آب و توسعه پایدار، ۷(۱)، ۶۱-۷۰. doi: [10.22067/JWSD.V7I1.81441](https://doi.org/10.22067/JWSD.V7I1.81441)
- ناصرزاده، محمدحسین، دوستکامیان، مهدی، بیرانوند، آذر، قهرمانی، فاطمه، و بیات، علی. (۱۳۹۱). توزیع فضایی روند تغییرات فصلی و سالانه دما و بارش (مطالعه موردی: استان خوزستان). *اندیشه جغرافیایی*، ۶(۱۱)، ۳۱-۴۷.
- Abbaspour, K. C., Faramarzi, M., Ghasemi, S. S., & Yang, H. (2009). Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research*, 45(10), W10434. <https://doi.org/10.1029/2008WR007615>
- Afshar, N. R., & Fahmi, H. (2019). Impact of climate change on water resources in Iran. *International Journal of Energy and Water Resources*, 3(1), 55-60. <https://doi.org/10.1007/s42108-019-00013-z>
- Almazroui, M., Ashfaq, M., Islam, M. N., Rashid, I. U., Kamil, S., Abid, M. A., O'Brien, E., Ismail, M., Reboita, M. S., Sörensson, A. A., Arias, P. A., Alves, L. M., Tippett, M. K., Saeed, S., Haarsma, R., Doblas-Reyes, F. J., Saeed, F., Kucharski, F., Nadeem, I., ... Sylla, M. B. (2021). Assessment of CMIP6 Performance and Projected Temperature and Precipitation Changes Over South America. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 155-183. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00233-6>
- Andrade, C. W. L., Montenegro, S. M. G. L., Montenegro, A. A. A., Lima, J. R. de S., Srinivasan, R., & Jones, C. A. (2021). Climate change impact assessment on water resources under RCP scenarios: A case study in Mundaú River Basin, Northeastern Brazil. *International Journal of Climatology*, 41(S1), E1045-E1061. <https://doi.org/10.1002/joc.6751>
- Azadi, F., Ashofteh, P.-S., Shokri, A., & Loáiciga, H. A. (2021). Simulation-Optimization of Reservoir Wa-
- اسدی، اشرف، و حیدری، علی. (۱۳۹۰). تحلیل تغییرات سری‌های دما و بارش شیراز طی دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۵. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۲(۴۱)، ۱۳۷-۱۵۲. doi: [20.1001.1.20.152-137.41](https://doi.org/20.1001.1.20.152-137.41)
- بهزادی، فرهاد، جوادی، سامان، یوسفی، حسین، مریدی، علی، و هاشمی‌شاهدانی، سیدمهدی. (۱۴۰۱). تعیین تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی آب زیرزمینی با استفاده از برون‌داد مدل‌های CMIP۶ (مطالعه موردی: دشت شهرکرد). *اکوهیدرولوژی*، ۹(۲)، ۴۳۶-۴۱۹. doi: [10.22059/IJE.2022.342077.1633](https://doi.org/10.22059/IJE.2022.342077.1633)
- حجازی زاده، زهرا، و پروین، نادر. (۱۳۸۸). بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم قرن اخیر. *جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، پیش شماره پاییز و زمستان ۱۳۸۸، ۴۳-۵۶.
- رئیس‌ی‌نافچی، عاطفه، و سلطانی محمدی، امیر. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات زمانی بارندگی و میانگین، حداقل و حداکثر دما (مطالعه موردی: ایستگاه شهرکرد). *نیوار*، ۹۴-۹۵، ۶۹-۸۰. doi: [10.30467/nivar.2016.42661](https://doi.org/10.30467/nivar.2016.42661)
- زرین، آذر، و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۰). پیش‌نگری همادی نمایه‌های خشکسالی در ایران مبتنی بر برون‌داد چند مدلی CMIP۵. *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۲(۷)، ۸۲-۷۱. doi: [10.30488/CCR.2021.317280.1058](https://doi.org/10.30488/CCR.2021.317280.1058)
- زرین، آذر، و داداشی رودباری، عباسعلی. (ب. ۱۴۰۰). پیش‌نگری دمای ایران در آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) بر اساس رویکرد همادی چند مدلی CMIP۶. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۳(۱)، ۹۰-۷۵. doi: [10.22059/JPHGR.2021.308361.1007551](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2021.308361.1007551)
- زرین، آذر، داداشی رودباری، عباسعلی، و صالح‌آبادی، نرگس. (۱۴۰۰). بررسی بی‌هنجاری و روند دمای ایران در پهنه‌های مختلف اقلیمی با استفاده از مدل‌های جفت شده پروژه مقایسه متقابل مرحله ششم (CMIP۶). *ژئوفیزیک ایران*، ۱۵(۱)، ۳۵-۵۴. doi: [10.30499/IJG.2020.249997.1292](https://doi.org/10.30499/IJG.2020.249997.1292)
- سرابی، مجتبی، دستورانی، محمدتقی، و زرین، آذر. (۱۳۹۹). بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی آینده بر وضعیت دما و بارش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد طرق مشهد). *هواشناسی و علوم جو*، ۳(۱)، ۶۳-۸۳. doi: [10.22034/JMAS.2021.278862.1129](https://doi.org/10.22034/JMAS.2021.278862.1129)
- سرابی، مجتبی، دستورانی، محمدتقی، و زرین، آذر. (ب. ۱۳۹۹). اثر تغییر اقلیم آینده بر پاسخ هیدرولوژیک در حوضه آبخیز سد طرق مشهد. *هواشناسی و علوم جو*، ۳(۴)، ۳۰-۳۱. doi: [10.22034/JMAS.2021.297763.1149](https://doi.org/10.22034/JMAS.2021.297763.1149)
- عساکره، حسین. (۱۳۸۶). تغییرات زمانی-مکانی بارش ایران زمین طی دهه‌های اخیر. *جغرافیا و توسعه*، ۵(۱۰)، ۱۶۴-۱۴۵. doi: [10.22111/GDIJ.2007.3669](https://doi.org/10.22111/GDIJ.2007.3669)

- 395–412). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78566-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78566-6_19)
- Hargreaves, G., & Samani, Z. (1982). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108(3), 225–230.
- Hong, J., Javan, K., & Shin, Y. (2021). Future Projections and Uncertainty Assessment of Precipitation Extremes in Iran from the CMIP6 Ensemble. *Atmosphere*, 12(8), 1052. 1–16. <https://doi.org/10.3390/atmos12081052>
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001, The Scientific Basis*. In *Ipcc*.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Jahn, M. (2015). Economics of extreme weather events: Terminology and regional impact models. *Weather and Climate Extremes*, 10, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.005>
- Karimi, V., Karami, E., & Keshavarz, M. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61794-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61794-5)
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. 4th Edition, Charles Griffin, London, UK.
- Kogo, B. K., Kumar, L., & Koech, R. (2021). Climate change and variability in Kenya: a review of impacts on agriculture and food security. *Environment, Development and Sustainability*, 23(1), 23–43. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00589-1>
- Konapala, G., Mishra, A. K., Wada, Y., & Mann, M. E. (2020). Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. *Nature Communications*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16757-w>
- Kousari, M. R., Ekhtesasi, M. R., Tazeh, M., Naeini, M. A. S., & Zarch, M. A. A. (2011). An investigation of the Iranian climatic changes by considering the precipitation, temperature, and relative humidity parameters. *Theoretical and Applied Climatology*, 103(3–4), 321–335. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0304-9>
- Kundzewicz, Z. W., & Gerten, D. (2015). Grand Challenge: Water Quality under Climate Change. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(9), 1463. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001436](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001436)
- Bari Abarghouei, H., Asadi Zarch, M. A., Dastorani, M. T., Kousari, M. R., & Safari Zarch, M. (2011). The survey of climatic drought trend in Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(6), 851–863. <https://doi.org/10.1007/s00477-011-0491-7>
- Budyko, M. I. (1974). *Climate and life*. Vol. xvii. Academic Press. New York, USA. 508 pp
- Burroughs, W. (2003). *Climate: Into the 21st Century*. First Edition. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 240 pp.
- Bustos Usta, D. F., Teymouri, M., Chatterjee, U., & Bandyopadhyay, N. (2022). Projections of atmospheric changes over Iran in 2014–2050 using the CMIP6-HighResMIP experiment. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 1335. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10639-9>
- Challinor, A. J., Watson, J., Lobell, D. B., Howden, S. M., Smith, D. R., & Chhetri, N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4(4), 287–291. <https://doi.org/10.1038/nclimate2153>
- de Martonne, E. (1925). *Traité de Géographie Physique*. 3 tomes. Fourth Edition. Librairie Armand Colin. Paris, France.
- Evans, J. P. (2009). 21st century climate change in the Middle East. *Climatic Change*, 92(3–4), 417–432. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9438-5>
- Fazel-Rastgar, F. (2021). Synopsis of the dramatic climate change in Iran: a seasonal synoptic analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(9), 1–31. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07154-8>
- Ghazi, B., Jeihouni, E., & Kalantari, Z. (2021). Predicting groundwater level fluctuations under climate change scenarios for Tasuj plain, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(2), 115. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06508-6>
- Halwani, J., & Halwani, B. (2022). Climate Change in Lebanon and the Impact to Water Resources. In W. Leal Filho & E. Manolas (Eds.), *Climate Change in the Mediterranean and Middle Eastern Region* (pp.

- of major climatic variables over Iran: 1966–2015. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(1–2), 677–691. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2410-z>
- Mukhopadhyay, R., Sarkar, B., Jat, H. S., Sharma, P. C., & Bolan, N. S. (2021). Soil salinity under climate change: Challenges for sustainable agriculture and food security. *Journal of Environmental Management*, 280, 111736. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111736>
- Naderi, M., & Raeisi, E. (2016). Climate change in a region with altitude differences and with precipitation from various sources, South-Central Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 124(3–4), 529–540. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1433-y>
- Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G. A., & Shahandeh, H. (2006). Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 52(1), 113–124. <https://doi.org/10.1080/03650340600560053>
- Newton, B. W., Farjad, B., & Orwin, J. F. (2021). Spatial and Temporal Shifts in Historic and Future Temperature and Precipitation Patterns Related to Snow Accumulation and Melt REGimes in Alberta, Canada. *Environmental Research Letter*, 13, 1013. <https://doi.org/10.3390/w13081013>
- Ongoma, V., Chena, H., & Gaoa, C. (2018). Projected changes in mean rainfall and temperature over east Africa based on CMIP5 models. *International Journal of Climatology*, 38(3), 1375–1392. <https://doi.org/10.1002/joc.5252>
- Ostad-Ali-Askar, K., Su, R., & Liu, L. (2018). Water resources and climate change. *Journal of Water and Climate Change*, 9(2), 239–239. <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.999>
- Prakash, S. (2021). Impact of climate change on aquatic ecosystem and its biodiversity: an overview. *International Journal Biological Innovations*, 3(2), 312–317. <https://doi.org/10.46505/IJBI.2021.3210>
- Raziei, T., Mofidi, A., Santos, J. A., & Bordi, I. (2012). Spatial patterns and regimes of daily precipitation in Iran in relation to large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 32(8), 1226–1237. <https://doi.org/10.1002/joc.2347>
- es Related to the Assessment of Climate Change Impacts on Freshwater Resources. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(1), 1012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001012](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001012)
- Li, C., & Fang, H. (2021). Assessment of climate change impacts on the streamflow for the Mun River in the Mekong Basin, Southeast Asia: Using SWAT model. *CATENA*, 201, 105199. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105199>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259. <https://www.jstor.org/stable/1907187>
- Mengistu, D., Bewket, W., Dosio, A., & Panitz, H.-J. (2021). Climate change impacts on water resources in the Upper Blue Nile (Abay) River Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 592, 125614. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125614>
- Mianabadi, A., Davary, K., Kolahi, M., & Fisher, J. (2022). Water/climate nexus environmental rural-urban migration and coping strategies. *Journal of Environmental Planning and Management*, 65(5), 852–876. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1915259>
- Mianabadi, A., Davary, K., Mianabadi, H., Kolahi, M., & Mostert, E. (2023). Toward the development of a conceptual framework for the complex interaction between environmental changes and rural-urban migration. *Frontiers in Water*, 5, 1–13. <https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1142307>
- Mianabadi, A., Derakhshan, H., Davary, K., Hasheminia, S. M., & Hrachowitz, M. (2020). A Novel Idea for Groundwater Resource Management during Megadrought Events. *Water Resources Management*, 34(5), 1743–1755. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02525-4>
- Mianabadi, A., Hasheminia, S. M., Davary, K., Derakhshan, H., & Hrachowitz, M. (2021). Estimating the Aquifer's Renewable Water to Mitigate the Challenges of Upcoming Megadrought Events. *Water Resources Management*, 35(14), 4927–4942. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02980-7>
- Mianabadi, A., Shirazi, P., Ghahraman, B., Coenders-Gerrits, A. M. J., Alizadeh, A., & Davary, K. (2019). Assessment of short- and long-term memory in trends



- to the record-breaking precipitation and temperature event of summer 2020 in southern China. *Environmental Research Letters*, 16, 044058. doi: [10.1088/1748-9326/abeeaf](https://doi.org/10.1088/1748-9326/abeeaf)
- Yu, Y., Pi, Y., Yu, X., Ta, Z., Sun, L., Disse, M., Zeng, F., Li, Y., Chen, X., & Yu, R. (2019). Climate change, water resources and sustainable development in the arid and semi-arid lands of Central Asia in the past 30 years. *Journal of Arid Land*, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s40333-018-0073-3>
- Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2021). Projection of future extreme precipitation in Iran based on CMIP6 multi-model ensemble. *Theoretical and Applied Climatology*, 144(1–2), 643–660. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03568-2>
- Zarrin, A., Dadashi-Roudbari, A., & Hassani, S. (2022). Future Changes in Precipitation Extremes Over Iran: Insight from a CMIP6 Bias-Corrected Multi-Model Ensemble. *Pure and Applied Geophysics*, 179, 441–464. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02904-x>
- Zhan, W., He, X., Sheffield, J., & Wood, E. F. (2020). Projected Seasonal Changes in Large-Scale Global Precipitation and Temperature Extremes Based on the CMIP5 Ensemble. *Journal of Climate*, 33(13), 5651–5671. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-19-0311.1>
- Zou, S., Abuduwaili, J., Duan, W., & Ding, J. (2021). Attribution of changes in the trend and temporal non-uniformity of extreme precipitation events in Central Asia. *Scientific Reports*, 0123456789, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94486-w>
- Saeed, F. H., Al-Khafaji, M. S., & Al-Faraj, F. A. M. (2021). Sensitivity of Irrigation Water Requirement to Climate Change in Arid and Semi-Arid Regions towards Sustainable Management of Water Resources. *Sustainability*, 13(24), 13608. <https://doi.org/10.3390/su132413608>
- Schilling, J., Hertig, E., Trambly, Y., & Scheffran, J. (2020). Climate change vulnerability, water resources and social implications in North Africa. *Regional Environmental Change*, 20, 15. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01597-7>
- Seddon, A. W. R., Macias-Fauria, M., Long, P. R., Benz, D., & Willis, K. J. (2016). Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. *Nature*, 531(7593), 229–232. <https://doi.org/10.1038/nature16986>
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 13799–1389. <https://doi.org/10.2307/2285891>
- Usman, M., Ndehedehe, C. E., Farah, H., & Manzanar, R. (2021). Impacts of climate change on the streamflow of a large river basin in the Australian tropics using optimally selected climate model outputs. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128091. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128091>
- Verma, A. K. (2021). Influence of climate change on balanced ecosystem, biodiversity and sustainable development: an overview. *International Journal of Biological Innovations*, 3(2), 331–337. <https://doi.org/10.46505/IJBI.2021.3213>
- Wang, Y.-J., & Qin, D.-H. (2017). Influence of climate change and human activity on water resources in arid region of Northwest China: An overview. *Advances in Climate Change Research*, 8(4), 268–278. <https://doi.org/10.1016/j.accres.2017.08.004>
- Yazdani, M. hasan, Amininia, K., Safarianzengir, V., Soltani, N., & Parhizkar, H. (2021). Analyzing climate change and its effects on drought and water scarcity (case study: Ardabil, Northwestern Province of Iran, Iran). *Sustainable Water Resources Management*, 7(2), 16. <https://doi.org/10.1007/s40899-021-00494-z>
- Ye, Y., & Qian, C. (2021). Conditional attribution of climate change and atmospheric circulation contributing