

Document Type

Applied Article

پژوهش کاربردی

نوع مقاله

Investigating the Impact of Climate Differences on Seasonal and Annual Precipitation Changes and Fluctuations in Iran

بررسی تاثیر تفاوت‌های اقلیمی بر تغییرات و نوسانات فصلی و سالانه بارش در کشور

A.H. Karimi Khalilabad^{1*}, A. Mosaedi^{2*},
S. M. R. Naghedifar³

امیرحسین کریمی خلیل‌آباد^۱، ابوالفضل مساعدی^۲، سیدمحمد رضا ناقدی‌فر^۳

1, 2, 3- M.Sc., Professor and Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد، استادیار و استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* Corresponding Author Email: mosaedi@um.ac.ir

* رایانامه نویسنده مسئول: mosaedi@um.ac.ir

Received 19-06-2025

Revised 22-07-2025

Accepted 26-07-2025

Available online 16-12-2025

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۳/۲۹

تاریخ بازنگری ۱۴۰۴/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۵/۰۴

تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

Abstract

چکیده

In this study, changes and fluctuations in annual and seasonal precipitation in Iran over a 60-year period (1961 to 2020) were investigated with the aim of investigating the impact of climate differences on the trend of annual and seasonal precipitation changes. Precipitation data from 33 synoptic stations in the country, representing diverse climates, were analyzed in two 30-year and one 60-year periods, at both annual and seasonal scales. The nonparametric Mann-Kendall test and the Sen's-slope method were used to assess the trend of changes and the intensity of changes. The results showed that annual and seasonal precipitation in most climates lacked a significant long-term trend. In the first period, the largest number of stations (9stations) with a significant decreasing trend at the 95 % level was observed in the spring (with an average of -1.320 mm/year). While in the second period, the largest number of stations (7stations) with a significant decreasing trend was observed in the winter season (with an average of -1.054 mm/year). While in the summer and autumn seasons in the second period, no significant trend was observed in any station. The average annual rainfall during the 60-year statistical period of the studied stations is decreasing by about -0.65 mm/year. While the trend of annual rainfall decrease is statistically significant only at the level of 5 stations. Considering the fluctuations or heterogeneous changes in rainfall in different seasons and climates, the necessity of paying attention to local, seasonal and climatic characteristics of rainfall in water resources and agricultural planning is emphasized.

Keywords: Precipitation Reduction, Precipitation, Mann-Kendall Test, Sen's Slope, Iran.

تغییرات و نوسانات بارش سالانه و فصلی ایران در بازه زمانی ۶۰ ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰) با هدف بررسی تاثیر تفاوت‌های اقلیمی بر وضعیت روند تغییرات بارش سالانه و فصلی در این پژوهش بررسی شد. داده‌های مقادیر بارش از ۳۳ ایستگاه سینوپتیک کشور که نماینده اقلیم‌های متنوع بودند، در دو دوره ۳۰ ساله و یک دوره ۶۰ ساله، در مقیاس‌های سالانه و فصلی تحلیل شدند. از آزمون ناپارامتریک من-کندال و همچنین از روش شیب سن به منظور ارزیابی روند تغییرات و شدت تغییرات استفاده شد. نتایج نشان داد بارش‌های سالانه و فصلی در اغلب اقلیم‌ها فاقد روند معنی‌دار بلندمدت هستند. در دوره اول بیشترین تعداد ایستگاه (۹ ایستگاه) با روند کاهشی معنی‌دار (در سطح ۹۵٪) در فصل بهار مشاهده شد (با متوسط -۱/۳۲۰ میلی‌متر در سال). در حالی‌که در دوره دوم بیشترین تعداد ایستگاه (۷ ایستگاه) با روند کاهشی معنی‌دار در فصل زمستان مشاهده شد (متوسط -۱/۰۵۴ میلی‌متر در سال). لازم به ذکر است در فصل‌های تابستان و پاییز در دوره دوم در هیچ ایستگاهی روند معنی‌داری مشاهده نشده است. متوسط بارندگی سالیانه در طول دوره آماری ۶۰ ساله ایستگاه‌های مورد مطالعه با حدود -۰/۶۵ میلی‌متر در سال در حال کاهش است. در حالی‌که از نظر آماری روند کاهش بارندگی سالانه فقط در سطح پنج ایستگاه معنی‌دار است. باتوجه‌به نوسانات و یا تغییرات ناهمگون بارندگی در فصل‌ها و اقلیم‌های مختلف، بر ضرورت توجه به ویژگی‌های محلی، فصلی و اقلیمی بارش در برنامه‌ریزی‌های منابع آب و کشاورزی تاکید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کاهش بارندگی، بارش، آزمون من-کندال، شیب سن، ایران.

How to cite this article:

Karimi Khalilabad, A.H., Mosaedi, A., and Naghedifar, S. M. R. (2025). Investigating the Impact of Climate Differences on Seasonal and Annual Precipitation Changes and Fluctuations in Iran. Journal of Water and Sustainable Development, 12(3), 164-180. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v12i3.2506-1434>

زیرزمینی تاثیر گذاشته و شرایط محیط زیستی کشور را به طور قابل توجهی تحت فشار قرار داده است (Ansari Mahabadi و همکاران، ۲۰۱۸؛ Sharafati و همکاران، ۲۰۲۰؛ WMO، ۲۰۲۰؛ زرین و همکاران، ۱۴۰۰). این روندها نه تنها موجب کاهش منابع آبی شده‌اند، بلکه کیفیت زندگی و پایداری اکوسیستم‌ها را نیز به چالش کشیده‌اند. همچنین، بر اساس برخی از گزارش‌ها از جمله گزارش پنجم IPCC، پیش‌بینی شده‌است که این تغییرات اقلیمی در صورت عدم اقدام مؤثر، می‌تواند تا پایان قرن جاری منجر به افزایش میانگین دمای جهانی تا حدود ۴/۸ درجه سانتی‌گراد شود (IPCC، ۲۰۱۳). آماری که نگرانی‌ها را در سطح جهانی افزایش داده‌است. در چنین شرایطی، توجه به مولفه‌های اقلیمی مانند بارش اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. بارش به عنوان یکی از عوامل کلیدی تعیین کننده وضعیت منابع آبی هر منطقه، نقش حیاتی در پایداری محیط زیستی ایفا می‌کند. نوسانات بارش می‌تواند پیامدهای دوگانه‌ای داشته باشد؛ از یک سو افزایش ناگهانی بارندگی‌ها ممکن است منجر به سیلاب‌های گسترده و تخریب زیرساخت‌ها شود و از سوی دیگر کاهش مقدار بارندگی، خطر خشکسالی و کم‌آبی را افزایش می‌دهد (Tabari، ۲۰۲۰؛ Azadi و همکاران، ۲۰۲۱؛ Halwani و Halwani، ۲۰۲۲). بنابراین کشورهایی مانند ایران که به منابع آب محدود و شکننده‌ای وابسته‌اند، در برابر این تغییرات به شدت آسیب‌پذیر هستند و نیازمند تحلیل دقیق و مدیریت هوشمندانه منابع آبی هستند (میان‌آبادی و داوری، ۱۴۰۲). به همین دلیل، تحلیل دقیق رفتار زمانی و مکانی بارش طی دهه‌های اخیر به یکی از ارکان اساسی مدیریت منابع آب تبدیل شده است (Caloiero و همکاران، ۲۰۲۰؛ Mohamed و همکاران، ۲۰۲۲). این تحلیل‌ها به‌ویژه در شرایطی اهمیت دارند که بسیاری از تغییرات مشاهده شده در دما و بارش، تحت تاثیر مستقیم فعالیت‌های انسانی همچون تغییرات کاربری زمین و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شکل گرفته‌اند (Fawzy و همکاران، ۲۰۲۰؛ Mohammadi و همکاران، ۲۰۲۴). در این زمینه، استفاده از روش‌های آماری نوین و پیشرفته، از جمله تحلیل روند با مدل‌های پارامتریک و ناپارامتریک، به عنوان ابزاری حیاتی در شناسایی الگوهای تغییر اقلیمی و پیش‌بینی آینده مطرح شده است (مساعدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Araghi و همکاران، ۲۰۱۸). از سوی دیگر، بهره‌گیری از داده‌های بلندمدت ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک، به‌ویژه در کشورهایی مانند ایران که به شدت به منابع آب سطحی و زیرزمینی وابسته هستند، بستری علمی و مستند برای بررسی تغییرات اقلیمی فراهم می‌کند (میان‌آبادی و داوری، ۱۴۰۲). این داده‌ها نه تنها به تبیین وضعیت گذشته اقلیمی کمک می‌کنند، بلکه چشم‌اندازی دقیق و قابل اتکا برای تصمیم‌گیری‌های آینده ارائه می‌دهند. در نتیجه، استفاده از این داده‌ها و تحلیل‌های مرتبط، نقش کلیدی در توسعه راهکارهای مدیریت بحران‌های

در دهه‌های اخیر، تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از جدی‌ترین چالش‌های محیط زیستی جهان مطرح شده است. این پدیده که عمدتاً به افزایش میانگین دمای جهانی مرتبط است، آثار گسترده‌ای بر نظام‌های اکولوژیکی و منابع طبیعی برجای گذاشته است (Vaghefi و همکاران، ۲۰۱۷؛ Ahmed و همکاران، ۲۰۱۸؛ Nilawar و Waikar، ۲۰۱۹؛ Fawzy و همکاران، ۲۰۲۰). بررسی‌های علمی نشان می‌دهد روند گرمایش زمین بیش از هر عامل دیگری تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی مانند استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، تغییر در پوشش کاربری اراضی و توسعه شهری ناپایدار قرار دارد (Ahmed و همکاران، ۲۰۱۸؛ Nilawar و Waikar، ۲۰۱۹؛ Fawzy و همکاران، ۲۰۲۰؛ Mohammadi و همکاران، ۲۰۲۴). این فعالیت‌ها باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده‌اند که به نوبه خود روند افزایش دمای کره زمین را تسریع می‌کنند. بر اساس گزارش‌های معتبر جهانی از جمله گزارش ششم IPCC، میانگین دمای زمین از زمان آغاز انقلاب صنعتی تاکنون به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است و اگر اقدامات مؤثری برای کاهش انتشار این گازها صورت نگیرد، پیش‌بینی می‌شود این روند به‌طور فزاینده‌ای تشدید شود (Oliveira و همکاران، ۲۰۱۹؛ IPCC، ۲۰۲۱).

افزایش دمای کره زمین باعث شده الگوهای اقلیمی در نقاط مختلف جهان به شکل چشمگیری تغییر کنند. این تغییرات نه تنها دمای مناطق مختلف را دگرگون کرده‌اند، بلکه الگوهای بارش و رطوبت هوا را نیز تحت تأثیر قرار داده‌اند (Huber و Knutti، ۲۰۱۲). به دنبال این دگرگونی‌ها، منابع آب سطحی و زیرزمینی دچار ناپایداری شده و اکوسیستم‌های وابسته به این منابع با تهدیدات جدی مواجه شده‌اند (Azari و همکاران، ۲۰۱۶؛ Mohamed و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه‌براین پدیده‌های اقلیمی حادی مانند خشکسالی‌های طولانی مدت و سیلاب‌های ناگهانی به مراتب افزایش یافته‌اند که این وضعیت مدیریت منابع طبیعی را بسیار پیچیده‌تر و چالش‌برانگیزتر کرده است (Ongoma و همکاران، ۲۰۱۸؛ Tabari، ۲۰۲۰؛ Li و همکاران، ۲۰۲۴). در کنار این موضوع، روند ذوب برف‌ها و یخچال‌های طبیعی نیز تغییر یافته و نوسانات رواناب در مناطق کوهستانی افزایش یافته است که مشکلاتی مضاعف در وقوع پدیده‌های هیدرولوژیکی ایجاد کرده است (Fang و همکاران، ۲۰۲۳).

کشورهایی مانند ایران، که در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند، به دلیل محدودیت ذاتی منابع آبی، بیش از سایر مناطق در برابر پیامدهای تغییر اقلیم آسیب‌پذیر هستند (IPCC، ۲۰۱۴؛ میان‌آبادی و داوری، ۱۴۰۲). داده‌های تاریخی و مطالعات متعدد نشان داده‌اند که ایران در چند دهه گذشته با کاهش تدریجی بارش و افزایش قابل توجه دما روبه‌رو بوده است؛ روندی که به‌طور مستقیم بر ذخایر آب سطحی و

آبی آینده و تضمین برنامه‌ریزی صحیح به منظور پایداری منابع آب در برابر تغییرات اقلیمی ایفا خواهد کرد. پژوهش حاضر در همین راستا، به تحلیل تفاوت‌های اقلیمی بر تغییرات و نوسانات فصلی و سالانه بارش در کشور طی یک دوره آماری ۶۰ ساله (۱۹۶۱-۲۰۲۰) و دو دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۲۰-۱۹۹۱) در محدوده ۳۳ ایستگاه سینوپتیک منتخب کشور که در شرایط آب و هوایی مختلفی قرار دارند، پرداخته است.

مواد و روش‌ها:

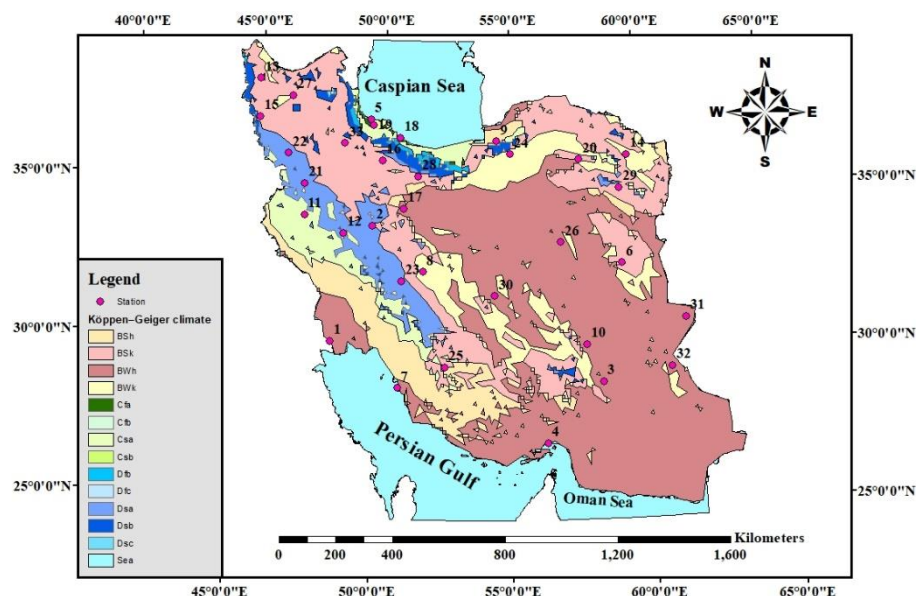
منطقه مورد مطالعه:

کشور ایران با مساحتی بالغ بر ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع، یکی از پهناورترین کشورهای منطقه محسوب می‌شود و در سطح جهانی نیز در جایگاه هجدهم از نظر وسعت قرار دارد (Dinpashoh و همکاران، ۲۰۱۱). این کشور در جنوب‌غربی قاره آسیا واقع شده و محدوده جغرافیایی آن از عرض‌های ۲۵ درجه و ۳ دقیقه شمالی تا ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و از طول‌های ۴۴ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی تا ۶۳ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی امتداد می‌یابد. موقعیت جغرافیایی گسترده ایران، در ترکیب با ویژگی‌های توپوگرافی متنوع آن، بستری برای شکل‌گیری اقلیم‌های گوناگون در سراسر این کشور را فراهم آورده است. میانگین بارش سالانه این کشور حدود ۲۵۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه نیز نزدیک به ۱۷/۴ درجه سانتی‌گراد است که این تنوع اقلیمی گسترده باعث شده است که شرایط آب‌وهوایی در نقاط مختلف کشور تفاوت‌های

چشمگیری داشته باشد، به گونه‌ای که از مناطق سردسیر و کوهستانی گرفته تا نواحی گرم و خشک مرکزی و جنوب شرقی، هر منطقه ویژگی‌های اقلیمی خاص خود را دارد (Eini و همکاران، ۲۰۲۱).

داده‌های مورد استفاده:

مقادیر متوسط بارش سالانه و فصلی ۳۳ ایستگاه سینوپتیک کشور در بازه زمانی ۶۰ ساله (۱۹۶۱-۲۰۲۰) و همچنین دو دوره ۳۰ ساله، شامل دوره اول (۱۹۶۱-۱۹۹۰) و دوره دوم (۲۰۲۰-۱۹۹۱)، در این پژوهش استفاده شد. باتوجه به طول دوره آماری در دسترس در ایستگاه‌های بیان شده، شرایط لازم برای بررسی تغییرات بارش، به‌طور مطلوبی فراهم شده است. نام، مشخصات آب‌وهوایی و وضعیت اقلیمی و جمعیت شهرهای محدوده ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول‌های (۱) و (۲) و موقعیت آن‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. همچنین در جدول (۳) طبقه‌بندی اقلیم ایران بر اساس روش کوپن-گایگر ارائه شده است (رضی و میری، ۱۴۰۱). بر مبنای این طبقه‌بندی، بیش از نیمی (۵۵٪) از ایستگاه‌ها مورد استفاده در این پژوهش در اقلیم‌های نیمه‌خشک سرد (BSk) و بیابانی گرم (BWk) قرار دارند. علاوه بر این، ۱۵٪ از ایستگاه‌ها در اقلیم مدیترانه‌ای با تابستان‌های بسیار گرم و زمستان‌های سرد (Dsa)، ۱۲٪ در اقلیم مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم (Csa)، ۱۲٪ در اقلیم بیابانی سرد (BWk) و ۶٪ در اقلیم نیمه‌خشک گرم (BSk) واقع شده‌اند. این توزیع اقلیمی گویای تنوع قابل توجه شرایط آب‌وهوایی در سطح کشور می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه و وضعیت اقلیمی آنها (طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس روش کوپن-گایگر)

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و وضعیت اقلیمی هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	متوسط بارش (mm)	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	ارتفاع (m)	نوع اقلیم	ردیف	نام ایستگاه	متوسط بارش (mm)	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	ارتفاع (m)	نوع اقلیم
۱	آبادان	۱۵۲	۴۸°۱۸'	۳۰°۲۰'	۳	BWh	۱۸	رامسر	۱۲۳۸	۵۰°۴۰'	۳۶°۵۳'	۲۱	Csa
۲	اراک	۳۳۱	۴۹°۴۲'	۳۴°۰۴'	۱۷۱۸	Dsa	۱۹	رشت	۱۳۳۵	۴۹°۳۶'	۳۷°۱۶'	۷	Csa
۳	بم	۵۸	۵۸°۲۰'	۲۹°۰۶'	۱۰۶۱	BWh	۲۰	سبزوار	۱۸۷	۵۷°۴۰'	۳۶°۱۲'	۹۷۸	BSk
۴	بندر عباس	۱۷۱	۵۶°۱۶'	۲۷°۱۱'	۹	BWh	۲۱	سنندج	۴۳۸	۴۶°۵۹'	۳۵°۱۹'	۱۵۳۸	Dsa
۵	بندر انزلی	۱۷۶۷	۴۹°۲۸'	۳۷°۲۸'	-۲۶	Csa	۲۲	سقز	۴۸۰	۴۶°۱۶'	۳۶°۱۴'	۱۴۷۶	Dsa
۶	بیرجند	۱۶۰	۵۹°۱۳'	۳۲°۵۳'	۱۴۹۱	BWk	۲۳	شهرکرد	۳۲۵	۵۰°۵۱'	۳۲°۱۹'	۲۰۷۰	Dsa
۷	بوشهر	۲۳۹	۵۰°۵۵'	۲۸°۵۵'	۱۸	BSh	۲۴	شاهرود	۱۵۸	۵۵°۰۱'	۳۶°۲۵'	۱۳۴۵	BWk
۸	اصفهان	۱۲۳	۵۱°۴۰'	۳۲°۳۸'	۱۵۷۵	BWk	۲۵	شیراز	۳۱۵	۵۲°۳۲'	۲۹°۳۷'	۱۵۰۰	BSk
۹	گرگان	۵۶۵	۵۴°۲۸'	۳۶°۴۹'	۱۵۵	BSh	۲۶	طیس	۸۴	۵۶°۵۵'	۳۳°۳۵'	۶۹۰	BWh
۱۰	کرمان	۱۳۶	۵۷°۴۷'	۳۰°۱۷'	۱۷۵۶	BWh	۲۷	تبریز	۲۸۴	۴۶°۱۸'	۳۸°۰۴'	۱۳۵۱	BSk
۱۱	کرمانشاه	۴۴۳	۴۷°۰۳'	۳۴°۱۸'	۱۳۵۰	Csa	۲۸	تهران	۲۳۵	۵۱°۲۳'	۳۵°۴۱'	۹۰۰	BSk
۱۲	خرم‌آباد	۵۰۲	۴۸°۳۵'	۳۳°۴۸'	۱۱۴۷	Dsa	۲۹	تربت حیدریه	۲۵۶	۵۹°۱۳'	۳۵°۱۶'	۱۴۵۰	BSk
۱۳	خوی	۲۹۲	۴۴°۵۶'	۳۸°۰۳۳'	۱۱۴۹	BSk	۳۰	یزد	۵۶	۵۴°۰۲۲'	۳۱°۵۳'	۱۲۱۶	BWh
۱۴	مشهد	۲۵۱	۵۹°۳۴'	۳۶°۱۸'	۹۹۵	BWk	۳۱	زابل	۵۴	۶۱°۲۹'	۳۱°۰۱'	۴۸۰	BWh
۱۵	ارومیه	۳۳۳	۴۵°۰۲'	۳۷°۱۹'	۱۳۳۲	BSk	۳۲	زاهدان	۸۰	۶۰°۵۱'	۲۹°۳۰'	۱۳۵۲	BWh
۱۶	قزوین	۳۱۸	۵۰°۰۰'	۳۶°۰۹'	۱۲۷۸	BSk	۳۳	زنجان	۳۰۶	۴۸°۲۹'	۳۶°۳۹'	۱۶۳۸	BSk
۱۷	قم	۱۴۹	۵۰°۵۲'	۳۴°۳۸'	۹۳۶	BWh							

جدول ۲- وضعیت تغییرات و رشد جمعیت در محدوده هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	جمعیت سال ۱۹۶۶	جمعیت سال ۲۰۱۶	رشد جمعیت (%)	ردیف	نام ایستگاه	جمعیت سال ۱۹۶۶	جمعیت سال ۲۰۱۶	رشد جمعیت (%)
۱	آبادان	۲۷۲۹۶۲	۲۹۸۰۹۰	۰/۱۸	۱۸	رامسر	۱۴۵۸۹	۷۴۱۷۹	۳/۳۱
۲	اراک	۷۱۹۲۵	۵۹۱۷۵۶	۴/۳۱	۱۹	رشت	۱۴۳۵۵۷	۹۵۶۹۷۱	۳/۸۷
۳	بم	۲۱۷۶۱	۲۲۸۲۴۱	۴/۸۱	۲۰	سبزوار	۴۲۴۱۵	۳۰۶۳۱۰	۴/۰۳
۴	بندرعباس	۳۴۶۲۷	۶۸۰۳۶۶	۶/۱۴	۲۱	سنندج	۵۴۵۷۸	۵۰۱۴۰۲	۴/۵۴
۵	بندر انزلی	۴۱۷۸۵	۱۳۹۰۱۶	۲/۴۳	۲۲	سقز	۱۷۸۳۴	۲۲۶۴۵۱	۵/۲۱
۶	بیرجند	۲۵۸۵۴	۲۶۱۳۲۴	۴/۷۴	۲۳	شهرکرد	۲۳۷۵۷	۳۱۵۹۸۰	۵/۳۱
۷	بوشهر	۲۳۵۴۷	۲۹۸۵۹۴	۵/۲۱	۲۴	شاهرود	۳۰۷۶۷	۲۱۸۶۲۸	۴/۰۰
۸	اصفهان	۴۲۴۰۴۵	۲۲۴۳۲۴۹	۳/۳۹	۲۵	شیراز	۲۶۹۸۶۵	۱۸۶۹۰۰۱	۳/۹۵
۹	گرگان	۵۱۱۸۱	۴۸۰۵۴۱	۴/۵۸	۲۶	طیس	۱۱۹۵۶	۷۲۶۱۷	۳/۶۷
۱۰	کرمان	۸۵۴۰۴	۷۳۸۷۲۴	۴/۴۱	۲۷	تبریز	۴۰۳۴۱۳	۱۷۷۳۰۳۳	۳/۰۱
۱۱	کرمانشاه	۱۸۷۹۳۰	۱۰۸۳۸۳۳	۳/۵۷	۲۸	تهران	۲۷۱۹۷۳۰	۸۷۳۷۵۱۰	۲/۳۶
۱۲	خرم‌آباد	۵۹۵۷۸	۵۰۶۴۷۱	۴/۳۷	۲۹	تربت حیدریه	۳۰۱۰۶	۲۲۴۶۲۶	۴/۱۰
۱۳	خوی	۴۷۶۴۸	۳۴۸۶۶۴	۴/۰۶	۳۰	یزد	۹۳۲۴۱	۶۵۶۴۷۴	۳/۹۸
۱۴	مشهد	۴۰۹۶۱۶	۳۳۷۲۶۶۰	۴/۳۱	۳۱	زابل	۱۸۸۰۶	۱۶۵۶۶۶	۴/۴۵
۱۵	ارومیه	۱۱۰۷۴۹	۱۰۴۰۵۶۵	۴/۵۸	۳۲	زاهدان	۳۹۷۳۲	۶۷۲۵۸۹	۵/۸۲
۱۶	قزوین	۸۸۱۰۶	۵۹۶۹۳۲	۳/۹۰	۳۳	زنجان	۵۸۷۱۴	۵۲۱۳۰۲	۴/۴۶
۱۷	قم	۱۳۴۲۹۲	۱۲۹۲۲۸۳	۴/۶۳					

جدول ۳- وسعت هر یک از طبقه‌های اقلیمی ایران بر اساس روش کوپن-کایگر و تعداد ایستگاه‌های مورد بررسی در هر یک از طبقه‌های اقلیمی

ردیف	نوع اقلیم	کد اقلیم	مساحت (km ²)	مساحت (%)	تعداد ایستگاه‌ها
۱	اقلیم بیابانی گرم	BWh	۷۱۶۶۸۱	۴۴/۱۶٪	۴
۲	اقلیم بیابانی سرد	BWk	۱۶۳۸۳۸	۱۰/۰۹٪	۴
۳	اقلیم نیمه‌خشک گرم	BSh	۱۴۲۳۰۶	۸/۷۷٪	۲
۴	اقلیم نیمه‌خشک سرد	BSk	۳۶۶۱۸۲	۲۲/۵۶٪	۹
۵	اقلیم مدیترانه‌ای با تابستان گرم	Csa	۸۹۳۰۳	۵/۵۰٪	۴
۶	اقلیم مدیترانه‌ای با تابستان خنک	Csb	۱۹۶	۰/۰۱٪	۰
۷	اقلیم معتدل مرطوب با تابستان گرم	Cfa	۲۲۵۰	۰/۱۴٪	۰
۸	اقلیم اقیانوسی معتدل با تابستان خنک	Cfb	۱۹۷	۰/۰۱٪	۰
۹	اقلیم قاره‌ای با تابستان گرم و خشک	Dsa	۱۰۱۸۵۰	۶/۲۸٪	۵
۱۰	اقلیم قاره‌ای با تابستان خنک و خشک	Dsb	۳۲۴۵۷	۲/۰۰٪	۰
۱۱	اقلیم قاره‌ای با تابستان بسیار خنک و خشک	Dsc	۱۲۳۹	۰/۰۸٪	۰
۱۲	اقلیم قاره‌ای مرطوب با تابستان خنک	Dfb	۶۴۶۹	۰/۴۰٪	۰
۱۳	اقلیم قاره‌ای سرد	Dfc	۹۸	۰/۰۱٪	۰

بررسی روند داده‌ها:

به منظور بررسی روند مقادیر متوسط بارش سالانه و فصلی از دو روش معتبر شامل آزمون من-کندال و تخمینگر شیب سن استفاده شد. در آزمون من-کندال روند تغییر داده‌ها در سطح آماری مورد نظر، مورد آزمون قرار می‌گیرد. درحالی‌که در روش تخمینگر شیب سن، مقدار شیب خط روند تعیین می‌شود. این دو روش، در تحلیل روندهای زمانی، در مطالعات اقلیمی و محیط‌زیستی کاربرد گسترده‌ای دارند و توسط سازمان جهانی هواشناسی به منظور تحلیل روند داده‌های هواشناسی پیشنهاد شده‌اند (WMO, ۲۰۲۰). آزمون من-کندال به منظور سنجش وجود یا عدم وجود روند معنادار آماری در داده‌های سری زمانی به کار می‌رود. در مقابل، روش تخمینگر شیب سن با تمرکز بر اندازه‌گیری میزان تغییر، مقدار شیب خط روند را محاسبه می‌کند. هر یک از این دو روش به شرح زیر هستند.

آزمون من-کندال:

در تحلیل روند سری‌های زمانی اقلیمی، به‌ویژه در شرایطی که داده‌ها دارای مقادیر گمشده یا فاقد توزیع آماری مشخص هستند، استفاده از روش‌های ناپارامتریک به دلیل پایداری و دقت بیشتر نسبت به روش‌های پارامتریک توصیه می‌شود. در این میان، آزمون من-کندال به‌عنوان یکی از معتبرترین و پرکاربردترین آزمون‌های ناپارامتریک شناخته می‌شود.

این آزمون نخستین بار توسط (Mann, ۱۹۴۵) معرفی و سپس توسط (Kendall, ۱۹۴۸) توسعه یافت و به‌عنوان یکی از روش‌های آماری قدرتمند برای شناسایی روند در سری‌های زمانی شناخته می‌شود. این آزمون بدون نیاز به فرض توزیع نرمال داده‌ها، قابلیت استفاده گسترده‌ای در تحلیل روند متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی دارد.

در این آزمون ابتدا داده‌های سری‌های زمانی n سال دوره آماری هر یک از ایستگاه‌ها تهیه و داده‌ها به ترتیبی که در طول زمان جمع آوری شده‌اند، فهرست می‌شوند، که به ترتیب

نشان‌دهنده اندازه‌گیری‌های به‌دست آمده در طول زمان و به ترتیب زمان وقوع هستند. سپس، مقدار هر داده با مقادیر دیگر داده‌ها در سری زمانی مقایسه می‌شوند. تعداد کل مقایسه‌ها بر اساس رابطه (۱) قابل مقایسه است.

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (1)$$

در این رابطه n نشان‌دهنده تعداد مشاهدات و N بیانگر تعداد مقایسه‌ها است. سپس تابع علامت نیز بر اساس معادله (۲) محاسبه می‌شود.

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

در این رابطه، X_j مقدار داده مشاهده‌شده در زمان j (زمان بعد) و X_i مقدار داده مشاهده‌شده در زمان i (زمان قبل) است. پس از مرحله فوق، مجموع علامت‌های تفاضلات متوالی مشاهدات، تحت عنوان آماره S مطابق معادله (۳) به‌دست می‌آید.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{Sgn}(X_j - X_i) \quad (3)$$

در این رابطه اگر S عددی مثبت باشد، مشاهداتی که دیرتر به وقوع پیوسته‌اند عموماً بزرگتر از مشاهدات قبلی هستند و اگر S عددی منفی باشد، عموماً مشاهداتی که دیرتر به وقوع پیوسته‌اند نسبت به مشاهدات قبلی کوچکتر هستند. همچنین من و کندال نشان دادند وقتی $n \geq 10$ باشد، آماره S تقریباً به‌طور نرمال توزیع شده و دارای میانگین صفر و انحراف معیار آن بر اساس معادله (۴) می‌تواند برآورد شود.

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1) * (2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (4)$$

در این رابطه g تعداد گروه‌های با داده‌های مشابه و t_p تعداد مشاهدات در گروه p ام می‌باشد. در نهایت مقدار آماره من-کندال (Z_{MK}) براساس رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}; & \text{if } S > 0 \\ 0; & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}; & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

در این رابطه Z_{MK} مقدار آماره آزمون من-کندال می باشد و مقدار مثبت و منفی Z_{MK} نشان می دهد داده ها تمایل به افزایش یا کاهش در طول زمان دارند و مقدار صفر نشان دهنده این است که داده ها در طول زمان فاقد روند می باشند (Maghrabi و Alotaibi، ۲۰۱۸). در این پژوهش آزمون من-کندال در سطح اطمینان ۹۵٪ مورد استفاده قرار گرفته است.

بررسی شیب تغییرات با استفاده از روش تخمین گرشیب سن:

این آزمون نخستین بار توسط (Theil، ۱۹۵۰) معرفی و سپس توسط (Sen، ۱۹۶۸) توسعه یافت. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و سپس ارزیابی نمودن در مورد معنی داری شیب به دست آمده در سطوح اطمینان مختلف می باشد و مقدار آن براساس رابطه (۶) محاسبه می شود.

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{X_j - X_i}{j - i} \right), \quad \forall j > i \quad (6)$$

در این رابطه β برآوردگر شیب خط روند، X_j و X_i به ترتیب مقادیر سری زمانی i ام و j ام می باشند. مقادیر مثبت β نشان دهنده شیب مثبت تغییرات (روند افزایشی در سری داده ها) و مقادیر منفی آن نشان دهنده شیب منفی تغییرات (روند کاهشی در سری داده ها) است (میرعباسی نجف آبادی و دین پژوه، ۱۳۸۹).

نتایج و بحث:

تحلیل سالیانه نوسانات بارش:

جدول (۴) نتایج آزمون من-کندال و مقادیر شیب سن را برای متغیر بارش سالانه در ۳۳ ایستگاه منتخب کشور طی سه دوره آماری را نشان می دهد. در دوره اول (۱۹۹۰-۱۹۶۱) با وجود نوسانات مقادیر بارش در بسیاری از مناطق، تنها یک ایستگاه (معادل ۳٪ از کل ایستگاه ها) دارای روند معنادار در سطح ۹۵ درصد بوده است. این نتیجه بیانگر آن است که در این بازه زمانی، هنوز نشانه معناداری از کاهش یا افزایش بارندگی در گستره کشور وجود نداشته و الگوهای بارشی بیشتر تحت تاثیر نوسانات طبیعی و منطقه ای قرار داشته اند. همچنین، شیب سن در بیشتر اقلیم ها منفی و در برخی موارد مثبت گزارش شده، اما با توجه به مقادیر بالای P -value، این تغییرات فاقد معناداری آماری بوده اند. برای مثال، در اقلیم های BWk و Csa با وجود شیب مثبت بارندگی، به دلیل نوسانات زیاد، بر اساس آزمون من-کندال روند معناداری مشاهده نشده است، در حالی که در اقلیم هایی مانند Dsa ، BWh و BSh ، با وجود شیب های منفی در بارندگی، باز هم بر اساس آزمون من-کندال روند معناداری مشاهده نشده است.

اما در دوره دوم (۲۰۲۰-۱۹۹۱)، شرایط دیگری به وجود آمده است. در این بازه زمانی، ۵ ایستگاه (معادل ۱۵٪ از کل ایستگاه ها) روند معنادار کاهشی (در سطح ۹۵٪) را تجربه کرده اند که نسبت به دوره اول، رشد قابل توجهی در تعداد ایستگاه های دارای روند معنادار محسوب می شود. این افزایش در روندهای معنادار، همراه با بزرگتر شدن مقدار منفی شیب سن در اکثر اقلیم ها، نشان دهنده تقویت روند کاهش بارش در سه دهه اخیر است. اقلیم های BWh و BSk هر کدام با ۲ ایستگاه دارای روند معنادار (به ترتیب معادل ۵۰٪ و ۲۲٪ از ایستگاه های اقلیم خود)، با بیشترین مناطق تحت تاثیر کاهش بارندگی قرار دارند. اقلیم BWk نیز در این دوره شاهد روند کاهشی معنادار بارندگی در یک ایستگاه از مجموع پنج ایستگاه بوده است. در همین حال، اقلیم هایی مانند BSh و Dsa با وجود شیب های منفی بالا، همچنان فاقد روند معناداری کاهشی هستند. این نتایج نشان می دهند گرچه کاهش بارش در کشور در حال گسترش است، اما الگوی آن همچنان ناپایدار و منطقه محور باقی مانده و بیشتر در اقلیم های خشک و نیمه خشک تثبیت شده است.

در تحلیل کلی، یعنی دوره ۶۰ ساله (۱۹۶۱-۲۰۲۰)، تصویر دقیق تری از روند بلندمدت بارندگی در کشور نمایان می شود. در این بازه زمانی، همانند دوره دوم، ۵ ایستگاه (معادل ۱۵٪ از کل ایستگاه ها) دارای روند کاهشی معنادار هستند. این ثبات در تعداد ایستگاه های معنادار طی دو دوره متوالی، نشانه ای از پایداری روند نزولی بارش در برخی از مناطق کشور است. مقدار متوسط شیب سن برای کل ایستگاه ها در این دوره ۰/۰۶۵۷- میلی متر در سال برآورد شده است. گرچه این مقدار در نگاه اول کوچک به نظر می رسد، اما در مقیاس ۶۰ ساله، کاهش تجمعی بارش در حدود ۴۰ میلی متر را نشان می دهد؛ که برای کشوری مانند ایران با اقلیم های عمدتاً خشک و نیمه خشک، اثری قابل توجه در منابع آب، کشاورزی، تنش های اکولوژیک و سیاست گذاری های محیط زیستی دارد. همچنین، در این دوره، اقلیم Csa نیز دارای یک ایستگاه با روند معنادار است که برخلاف دوره های قبل، اکنون به جمع اقلیم های درگیر در روند نزولی بارش پیوسته است. این موضوع نشان دهنده گسترش جغرافیایی روند کاهش بارش از اقلیم های بیابانی به مناطق مدیترانه ای با وسعت کمتر اما حساسیت بالاتر است.

همچنین، رفتار متفاوت اقلیم های کشور در مواجهه با تغییرات بارش، نکته ای مهم و تأمل برانگیز است. اقلیم های BWh ، BSk ، Csa ، با شیب های منفی و وجود روندهای معنادار، از جمله نواحی آسیب پذیر در برابر کاهش بارش به شمار می روند. علاوه بر این بررسی ویژگی های جمعیتی ایستگاه های دارای روند معنادار نیز نشان می دهد بسیاری از این ایستگاه ها (از جمله تهران، اصفهان، شیراز و مشهد) در شهرهای بزرگ و پرتراکم واقع شده اند که در سال های اخیر رشد جمعیت و گسترش سریع شهری را تجربه کرده اند. بر اساس اطلاعات جدول (۲) متوسط نرخ رشد جمعیت در این

شهرها در چند دهه گذشته قابل توجه بوده است، به عنوان مثال متوسط نرخ رشد سالانه جمعیت در تهران ۲/۳۶ درصد و در مشهد ۴/۳۱ درصد گزارش شده است. توسعه فیزیکی شهر، افزایش سطوح نفوذناپذیر مانند آسفالت و بتن، کاهش پوشش گیاهی افزایش مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای، زمینه‌ساز تشدید پدیده جزیره حرارتی شهری (UHI^۲) در این مناطق شده‌اند. این پدیده با افزایش دمای سطح زمین و ایجاد اختلال در فرآیندهای همرفتی جو، می‌تواند به کاهش تشکیل ابر و در نتیجه کاهش بارش محلی منجر شود. بنابراین باید به این نکته توجه شود که کاهش بارش در مناطق شهری (به خصوص شهرهای بزرگ) نمی‌تواند فقط ناشی از تغییرات اقلیمی در مقیاس جهانی باشد، بلکه می‌تواند نتیجه ترکیبی از عوامل مختلف مانند جزیره حرارتی شهری، تغییر کاربری اراضی و آلودگی هوا نیز باشد.

شکل (۲) نیز به خوبی روندهای مشاهده شده در جدول (۴) را تایید می‌کند. به‌ویژه در اقلیم‌های بیابانی (BWk, BWh) و نیمه‌بیابانی (BSk)، کاهش محسوس بارندگی از دوره اول به دوره دوم مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که میانگین بارش در دوره دوم کمتر از دوره اول و حتی کمتر از میانگین کل دوره است. این کاهش در اقلیم‌های مدیترانه‌ای (Csa) نیز قابل ردیابی است و با روند منفی و معنادار ثبت شده در دوره کلی همخوانی دارد. اقلیم‌های BSh و Dsa نیز با وجود تجربه کاهش بارش، همچنان رفتار نوسانی و نامنظمی را از خود نشان داده‌اند.

تحلیل نوسانات بارش در فصل زمستان:

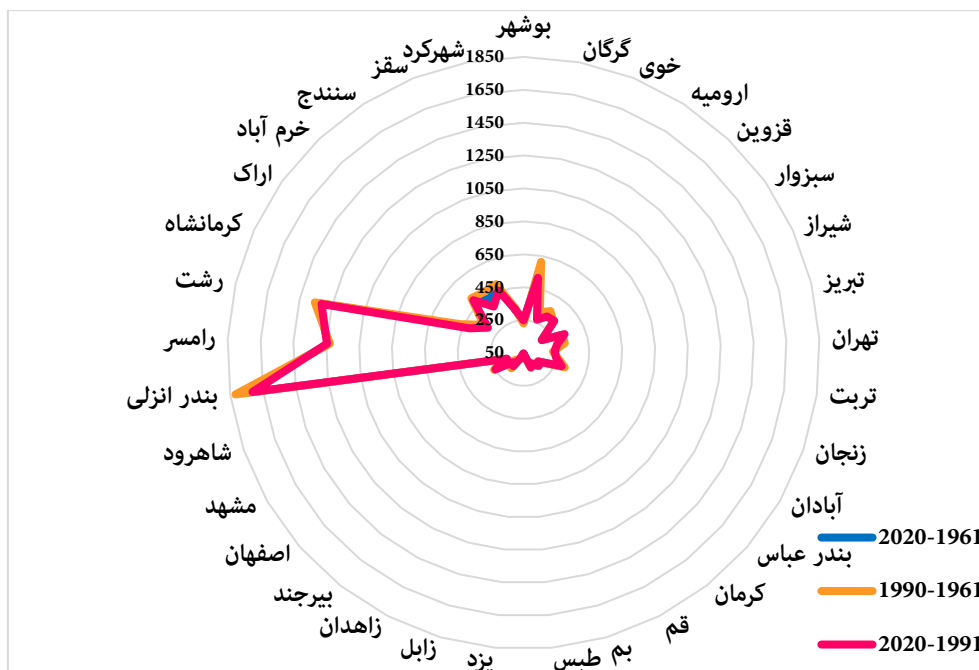
بررسی روند بارش در فصل زمستان طی دوره اول و دوره دوم نشان می‌دهد اگرچه در برخی اقلیم‌ها نشانه‌هایی از افزایش بارش در دهه‌های اولیه وجود داشته، اما در دوره اخیر، روندها

عمدتاً منفی و نزولی شده است (جدول ۵). این تغییر الگو، تصویر نگران‌کننده‌ای از آینده منابع آبی در ایران ارائه می‌دهد. در دوره اول، بیشتر اقلیم‌ها یا فاقد روند معنادار بوده‌اند یا شیب‌های مثبت و خفیفی داشته‌اند. به عنوان نمونه اقلیم BWk با یک ایستگاه دارای روند معنادار، بیشترین شیب مثبت را با ۱/۱۶۲ میلی‌متر در سال ثبت کرده‌است که نشان‌دهنده بهبود نسبی وضعیت بارش در دهه‌های گذشته است. در اقلیم Csa نیز با وجود فقدان روند معنادار، مقدار متوسط شیب سن به ۰/۹۰۳ میلی‌متر در سال رسیده است که می‌تواند به نوعی نمایانگر شرایط نسبتاً پایدار بارش در سواحل شمالی کشور در آن دوره باشد. در مجموع، طی این دوره، روند کلی بارش زمستانی در کل کشور نیز مثبت و برابر با ۰/۴۶۳ میلی‌متر در سال بوده که با وجود تعداد کم ایستگاه‌های دارای روند، به نوعی ثبات نسبی را بازتاب می‌دهد.

اما در دوره دوم، چرخشی محسوس در الگوی بارش زمستانی مشاهده می‌شود. اکثر اقلیم‌ها با روند نزولی همراه بوده‌اند و تعداد ایستگاه‌های دارای روند منفی به شکل چشمگیری افزایش یافته است. به‌ویژه اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مانند BSk و BWh هرکدام با ۳ و ۱ ایستگاه دارای روند معنادار، به‌ترتیب شیب‌هایی معادل -۱/۰۸۰ و -۱/۰۷۹ میلی‌متر در سال را تجربه کرده‌اند. در اقلیم کوهستانی Dsa، روند منفی و متوسط شیب سن -۲/۰۱۵ میلی‌متر در سال، شدت گرفتن کاهش بارش در مناطق مرتفع غرب کشور را نمایان می‌سازد. این تغییرات منفی باعث شده تا در مجموع، میانگین شیب سن بارش فصل زمستانه در کل کشور در این دوره به -۱/۰۵۴ میلی‌متر در سال برسد که از نظر مدیریت منابع آب هشداردهنده است.

جدول ۴- نتایج آزمون من-کندال و شیب سن بارش سالانه

نوع اقلیم	تعداد ایستگاه‌ها	دوره اول (۱۹۹۰-۱۹۶۱)			دوره دوم (۱۹۹۱-۲۰۲۰)			تمامی دوره (۱۹۶۱-۲۰۲۰)		
		تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	متوسط شیب سن	تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	متوسط شیب سن	تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	متوسط شیب سن
BSk	۹	۱	۰/۳۵۲	-۰/۳۳۴	۲	۰/۴۶۲	-۰/۸۷۰	۱	۰/۴۰۲	-۰/۴۹۱
BWh	۹	۰	۰/۴۹۴	۰/۲۰۷	۲	۰/۲۰۸	-۱/۵۳۰	۱	۰/۴۵۳	-۰/۲۴۱
BWk	۴	۰	۰/۳۴۰	۱/۱۳۲	۱	۰/۵۰۷	-۱/۲۸۵	۰	۰/۴۸۰	-۰/۰۵۳
BSh	۲	۰	۰/۲۲۰	-۱/۳۸۰	۰	۰/۲۲۴	-۳/۱۵۸	۱	۰/۴۳۲	-۱/۷۸۹
Dsa	۵	۰	۰/۴۰۸	-۱/۱۶۷	۰	۰/۴۹۷	-۲/۰۲۴	۱	۰/۱۳۱	-۱/۵۸۲
Csa	۴	۰	۰/۶۳۸	۱/۰۷۵	۰	۰/۵۱۱	۲/۰۵۱	۱	۰/۵۱۸	-۰/۸۴۷
تمامی اقلیم‌ها	۳۳	۱	۰/۴۲۵	-۰/۰۲۷	۵	۰/۳۹۵	-۱/۰۶۰	۵	۰/۴۰۰	-۰/۶۵۷



شکل ۲- مقادیر متوسط بارش سالانه (mm) برای ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره‌های زمانی مورد بررسی

روند منفی و معناداری که در دوره دوم برای این اقلیم ثبت شده، همخوانی دارد.

اقلیم بیابانی گرم (BWh) نیز کاهش تدریجی بارندگی را تجربه کرده، به‌ویژه در ایستگاه‌هایی مانند کرمان، یزد و زاهدان که افت قابل توجهی بین دو دوره دیده می‌شود. اگرچه در مجموع تغییرات کمتری نسبت به اقلیم‌های دیگر دارد، اما وجود روند و شیب منفی بر اساس آزمون من-کندال و شیب سن نیز نشان‌دهنده همین کاهش است.

در اقلیم کوهستانی (Dsa)، در ایستگاه‌هایی مانند سنندج، اراک و سقز بارندگی کمتری در دوره دوم نسبت به دوره اول ثبت شده است. این تغییرات، با روند منفی دوره کلی در این اقلیم مطابقت دارد. در اقلیم BSh نیز گرچه کاهش بارندگی فصل زمستان در ایستگاه گرگان قابل توجه است، اما در ایستگاه بوشهر تغییر محسوس رخ نداده است (شکل ۳). اقلیم مدیترانه‌ای (Csa) در مجموع روندی نسبتاً خنثی (فاقد روند معنی‌دار در سطح ۹۵٪) داشته و برخلاف برخی اقلیم‌ها، افت بارندگی شدید در آن مشاهده نمی‌شود. با این حال ایستگاه‌های انزلی، کرمانشاه و رشت نسبت به دوره اول کاهش را نشان می‌دهند، که می‌تواند نشانه‌ای از تغییرات تدریجی در الگوی بارش زمستانه در این اقلیم باشد. نمودار راداری نیز این الگوهای متفاوت را در قالبی بصری به خوبی نمایش داده و تصویر گسترده‌ای از کاهش بارش زمستانه در سطح کشور ارائه کرده است (شکل ۳). کاهش بارش فصل زمستانه در کل کشور که در دوره دوم به ۱/۰۵۴ میلی‌متر در سال می‌رسد، از نظر مدیریت منابع آب هشداردهنده است. به‌عبارت دیگر کاهش حدود ۱ میلی‌متر بارش زمستانه در هر سال در کشور، می‌تواند زنگ خطری برای پایداری منابع آب به‌خصوص در فصل‌های بهار و تابستان باشد. می‌توان انتظار

در بررسی روند کلی وضعیت بارش در فصل زمستان در دوره ۱۹۶۱-۲۰۲۰، الگوی غالب کاهش تثبیت شده است. به جز اقلیم BWk که روندی خنثی (بدون معنی‌داری) با شیب ۰/۰۱۶ میلی‌متر در سال را نشان می‌دهد، سایر اقلیم‌ها عمدتاً کاهش بارش را تجربه کرده‌اند. بیشترین کاهش متعلق به اقلیم Dsa با ۰/۹۶۱ میلی‌متر در سال و پس از آن اقلیم BSh با ۰/۶۸۵ میلی‌متر در سال است. حتی در اقلیم Csa که در دوره اول روندی صعودی ثبت شده است، در بلندمدت به شیبی منفی و معادل ۰/۲۹۹ میلی‌متر در سال رسیده است. در مجموع، متوسط شیب سن کل ایستگاه‌ها در فصل زمستان برابر با ۰/۳۷۶ میلی‌متر در سال برآورد شده است که در مقیاس شصت ساله، کاهش بارشی حدود ۲۲/۶ میلی‌متر را به دنبال داشته و این رقم، می‌تواند به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیرات قابل توجهی بر منابع آب و مدیریت کشاورزی بر جای بگذارد.

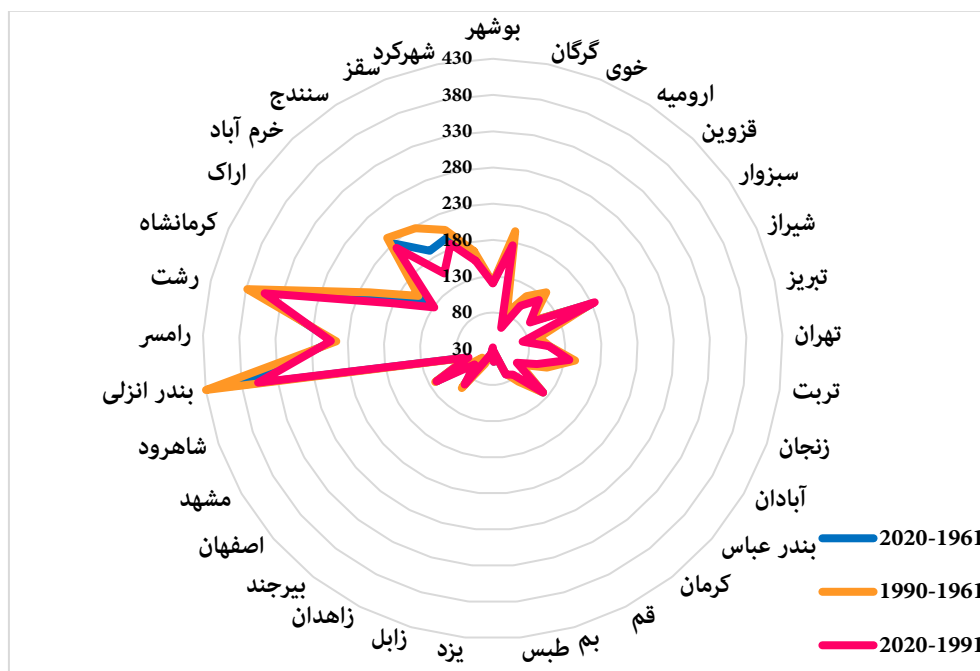
به‌طورکلی روندهای مشاهده شده نشان می‌دهند اگرچه در دهه‌های نخست وضعیت بارش زمستانی در برخی مناطق نسبتاً مطلوب بوده است، اما در سه دهه اخیر بارش‌ها نه تنها کاهش یافته، بلکه شدت این کاهش در اقلیم‌های خشک و کوهستانی بیشتر بوده است. این یافته‌ها بر لزوم بازنگری جدی در سیاست‌های مدیریت منابع آب و سازگاری با تغییر اقلیم در فصل زمستان تأکید دارند. شکل (۳) نیز تغییر در مقدار بارش‌های فصل زمستان را در مناطق مختلف کشور در دو دوره متوالی ۳۰ ساله نشان می‌دهد. در اقلیم نیمه‌خشک (BSk)، کاهش محسوس بارش زمستانه از دوره اول به دوره دوم در اغلب ایستگاه‌ها مشهود است، به‌گونه‌ای که میانگین بارش در دوره دوم کمتر از دوره اول و حتی پایین‌تر از میانگین کل دوره قرار گرفته است. این کاهش، با

داشت که بارش زمستانه در بسیاری از مناطق آب و هوایی کشور بیشتر به صورت برف باشد، ولی به دلیل گرمایش جهانی، سهم برف از کل بارش‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه

ذخایر منابع آبی (شامل ذخایر برفی و میزان کل نزولات به دلیل کاهش بارندگی) رو به کاهش است.

جدول ۵- نتایج آزمون من-کندال و شیب سن بارش فصل زمستان در دوره‌های مختلف آماری

نوع اقلیم	تعداد ایستگاه‌ها	دوره اول (۱۹۹۰-۱۹۶۱)			دوره دوم (۱۹۹۱-۲۰۲۰)			تمامی دوره (۱۹۶۱-۲۰۲۰)		
		تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	متوسط شیب سن	تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	متوسط شیب سن	تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	متوسط شیب سن
BSk	۹	۲	۰/۲۸۳	۰/۴۲۷	۱	۰/۳۷۶	-۱/۰۷۹	۲	۰/۴۱۱	-۰/۳۲۵
BWh	۹	۰	۰/۴۱۶	۰/۱۹۳	۳	۰/۲۴۶	-۱/۰۸۰	۳	۰/۴۰۴	-۰/۲۴۱
BWk	۴	۱	۰/۲۰۹	۱/۱۶۲	۱	۰/۱۹۹	-۱/۰۸۴	۰	۰/۴۱۳	۰/۰۱۶
BSh	۲	۰	۰/۳۱۷	-۰/۰۴۶	۱	۰/۵۰۹	-۱/۰۹۷۲	۱	۰/۲۰۳	-۰/۶۸۵
Dsa	۵	۰	۰/۶۵۳	۰/۳۰۷	۱	۰/۲۷۳	-۲/۰۱۵	۱	۰/۱۶۷	-۰/۹۶۱
Csa	۴	۰	۰/۵۱۷	۰/۹۰۳	۰	۰/۴۳۸	۰/۷۵۲	۰	۰/۴۴۹	-۰/۲۹۹
تمامی اقلیم‌ها	۳۳	۳	۰/۳۹۷	۰/۴۶۳	۷	۰/۳۱۹	-۱/۰۵۴	۷	۰/۳۶۴	-۰/۳۷۶



شکل ۳- مقادیر متوسط بارش فصل زمستان (mm) برای ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره‌های مختلف

تحلیل نوسانات بارش در فصل بهار

بررسی داده‌های دوره اول (۱۹۶۱-۱۹۹۰) نشان می‌دهد بارش بهاری در بیشتر اقلیم‌ها با کاهش نسبی و در مواردی با روند معنادار همراه بوده است (جدول ۶) به‌ویژه در اقلیم‌های کوهستانی و معتدل مانند Dsa و Csa، شیب سن به‌ترتیب به $-۲/۳۵۱$ و $-۲/۶۴۸$ میلی‌متر در سال رسیده است که با P -value کمتر از $۰/۱$ ، بیانگر وجود روندهای کاهشی معنادار در چند ایستگاه این مناطق است. همچنین در اقلیم نیمه‌خشک BSk، باوجود نبود روند کلی، دو ایستگاه با روند کاهشی ثبت شده‌اند که میانگین شیب آن‌ها برابر با $-۱/۳۵۸$ میلی‌متر در سال است. این وضعیت، حکایت از آن دارد که در دهه‌های

نخست، کاهش بارندگی بهاری در بسیاری از نقاط کشور، به‌ویژه در مناطق غربی و شمال‌غربی، قابل توجه و معنادار بوده است.

در دوره دوم (۲۰۲۰-۱۹۹۱)، روند بارش در اکثر اقلیم‌ها نسبت به دوره اول (۱۹۹۰-۱۹۶۱) کاهش یافته و تعداد ایستگاه‌های دارای روند معنادار به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. به‌طور خاص، اقلیم‌های خشک مانند BSk و BWh، که در دوره اول شیب منفی داشتند، در این بازه تغییر جهت داده و به‌ترتیب شیب‌های $۰/۰۷۲$ و $۰/۰۰۱$ میلی‌متر در سال را ثبت کرده‌اند، گرچه روند این تغییرات از نظر آماری معنادار (در سطح ۹۵٪) نیستند. در مقابل، اقلیم BSh همچنان روند

کاهش خود را حفظ کرده و با شیب $1/115$ میلی‌متر در سال در هر دو ایستگاه آن، یک روند معنادار نیز مشاهده می‌شود. به‌طور کلی تنها یک ایستگاه در کل کشور دارای روند معنادار در این دوره بوده است که نسبت به ۹ ایستگاه دوره اول، کاهش چشمگیر محسوب می‌شود. چنین تفاوتی، می‌تواند نشان‌دهنده تضعیف روند کاهش بارش بهاری در سه دهه اخیر باشد.

در بازه بلند مدت ($1961-2020$)، روند کلی در سطح کشور به سمت کاهش ملایم بارندگی بهار متمایل است. در اقلیم‌هایی چون BSh، Dsa و BWk، در هریک، یک یا دو ایستگاه دارای روند معنادار هستند که البته شدت آن‌ها کمتر از دوره اول است. میانگین شیب سن برای کل کشور برابر با $-0/303$ میلی‌متر در سال بوده و تنها ۴ ایستگاه در تمامی کشور دارای روند معنادار هستند. نکته قابل توجه آن است که اقلیم‌های بیابانی نظیر BWh، با وجود شیب منفی، هیچ روند معناداری را در هیچ یک از دوره‌ها نشان نمی‌دهند. این موضوع می‌تواند به پایداری الگوی بارش در این مناطق یا تاثیر کمتر تغییرات اقلیمی بر بارش بهار در این اقلیم‌ها اشاره داشته باشد.

در مجموع، تحلیل روند بارش فصل بهار حاکی از آن است که شدیدترین کاهش‌ها در دهه‌های نخست مشاهده شده‌است، در حالی که در دهه‌های اخیر، گرایش به سمت ثبات و حتی افزایش خفیف به‌ویژه در اقلیم‌های خشک قابل مشاهده است. این نتایج نشان می‌دهد که هنگام تدوین سیاست‌های سازگاری با تغییر اقلیم باید جوانب مختلف به دقت مورد توجه قرار گیرد، با این حال، باید توجه داشت در بسیاری از مناطق، به‌ویژه در شهرهای بزرگ، تغییر اقلیم در کنار عوامل محلی همچون پدیده جزیره حرارتی شهری، گسترش شهرنشینی، تغییر کاربری اراضی و آلودگی هوا می‌تواند بر میزان و توزیع بارش تاثیرگذار باشد. بنابراین، هرگونه افزایش یا کاهش بارش را نمی‌توان تنها به تغییرات اقلیمی نسبت داد، بلکه لازم است این تغییرات با نگاهی جامع و مبتنی بر تحلیل عوامل مختلف بررسی شود، چرا که واکنش مناطق مختلف به این عوامل، یک دست نبوده و از الگوهای متفاوتی تبعیت می‌کند.

شکل (۴) به‌وضوح نتایج آماری ارائه شده در جدول (۶) را در مورد روند بارش فصل بهار تأیید می‌کند. در اقلیم نیمه‌خشک سرد (BSk)، هرچند میانگین شیب سن برای کل دوره منفی است، الگوی تغییرات بین دو دوره زمانی نوسانات موضعی دارد. به‌عنوان نمونه، ایستگاه‌هایی مانند خوی، ارومیه و تبریز کاهش مشخصی در دوره دوم نسبت به دوره اول نشان می‌دهند که هم‌راستا با روندهای منفی و معنادار شناسایی شده در برخی ایستگاه‌های این اقلیم است. با این حال برخی ایستگاه‌ها مانند قزوین و سبزوار، یا روندی افزایشی داشته‌اند یا تغییرات ناچیزی را تجربه کرده‌اند که بر ماهیت غیریکنواخت کاهش بارش در این اقلیم دلالت دارد.

در اقلیم بیابانی گرم (BWh)، کاهش بارش انسجام بیشتری دارد. در اغلب ایستگاه‌ها از جمله بندرعباس، یزد، آبادان و کرمان، افت میانگین بارندگی به‌صورت پیوسته از دوره اول به دوره دوم قابل مشاهده است. این تغییرات، با نتایج آزمون من-کندال و شیب سن مطابقت داشته و بر تثبیت روند کاهش بارندگی بهاری در این اقلیم دلالت دارد. هرچند در برخی ایستگاه‌ها مانند طبس و قم تغییرات اندک بوده، اما روند کلی کاهش، نمایان و معنادار است.

اقلیم بیابانی سرد (BWk) نیز کاهش بارندگی را در بیشتر ایستگاه‌ها از جمله بیرجند و مشهد را نشان می‌دهد و روند کلی آن با نتایج تحلیل‌های آماری دوره اول همخوانی دارد. با این حال، ایستگاه‌هایی مانند شاهرود و اصفهان، گرچه از الگوی منفی شدیدی تبعیت نمی‌کنند، اما ثبات نسبی در مقادیر بارندگی آن‌ها، با نتایج آزمون‌های آماری مطابقت دارد. در اقلیم مدیترانه‌ای (Csa)، با وجود آنکه میانگین شیب سن در دوره دوم نسبت به دوره اول بهبود یافته است، اما نمودارها حاکی از کاهش میانگین بارش در اغلب ایستگاه‌ها هستند. در ایستگاه‌هایی مانند بندر انزلی و کرمانشاه، کاهش معنادار بین دو دوره مشاهده می‌شود، در حالی که در رامسر و رشت، نوسانات ملایمی مشاهده می‌شود. این وضعیت، الگوی بارش ناپایدارتر و متاثر از عوامل محلی در این اقلیم را منعکس می‌سازد.

در اقلیم کوهستانی (Dsa)، تغییرات بارش وضوح بیشتری دارد. به‌ویژه در ایستگاه‌هایی مانند سنندج، سقز و خرم‌آباد، کاهش محسوس بارش بهاری از دوره اول به دوره دوم مشاهده می‌شود. این نتایج با تعداد بالای ایستگاه‌های دارای روند معنادار در جدول آماری و شیب‌های منفی قابل توجه در دوره اول مطابقت دارد، که نشان‌دهنده کاهش بارندگی بهاری در این اقلیم است.

تحلیل نوسانات بارش در فصل تابستان:

تحلیل روند بارش تابستان طی دو دوره زمانی نشان می‌دهد برخلاف برخی فصول دیگر، تابستان در بیشتر مناطق ایران فاقد روندهای معنادار آماری بوده و پایداری نسبی در مقادیر بارش دارد.

باتوجه به نتایج جدول (۷) در دوره اول ($1961-1990$)، روند تغییرات بارش تابستانی در اکثر اقلیم‌ها ضعیف و غیرمعنادار گزارش شده است. در اقلیم نیمه‌خشک سرد (BSk)، با وجود یک ایستگاه با روند کاهش غیرمعنادار (با شیب $-0/118$ میلی‌متر در سال و مقدار P-value برابر $0/368$)، میانگین کلی شیب سن منفی و در حد $-0/150$ میلی‌متر بر سال بوده است. در سایر اقلیم‌ها مانند BWh، BWk، Dsa و BSh نیز تغییرات شیب نزدیک به صفر بوده و هیچ روند معناداری در آن‌ها ثبت نشده است.

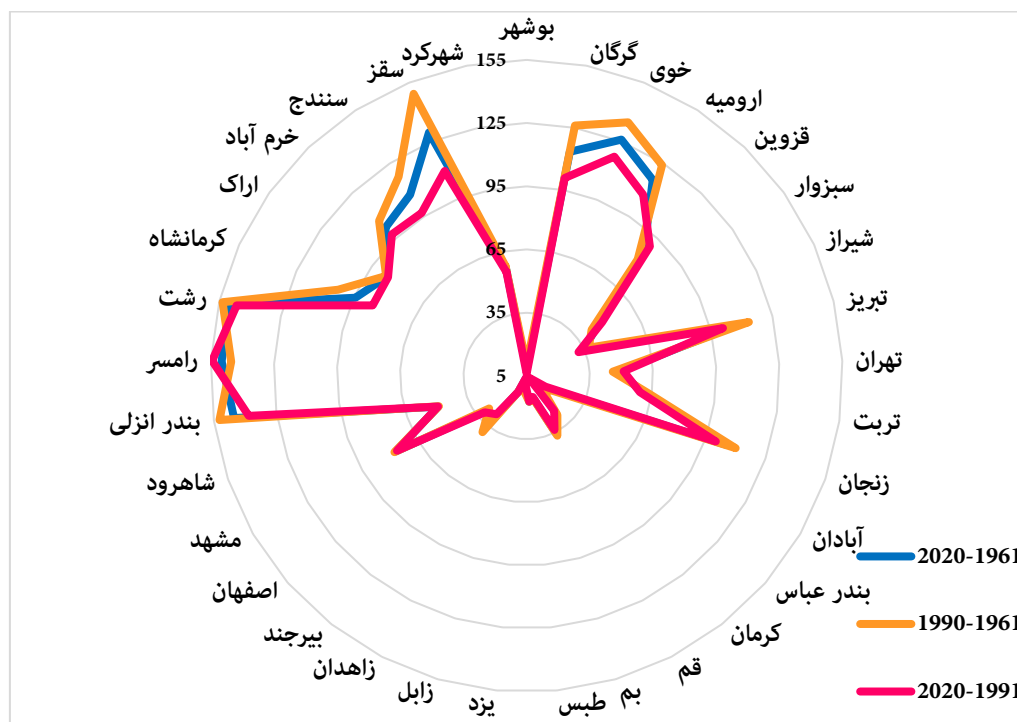
بیشترین کاهش متوسط بارش در این دوره به اقلیم مدیترانه‌ای گرم (Csa) مربوط است که میانگین شیب آن برابر با $-1/019$ میلی‌متر در سال بوده است، اما مقدار P-value برابر

با ۶۷۸٪ مانع از معناداری آماری آن شده است. در مجموع، این دوره نمایانگر یک بازه زمانی بدون تغییرات بارشی

محسوس در فصل تابستان برای کشور بوده است.

جدول ۶- نتایج آزمون من-کندال و شیب سن بارش فصل بهار در دوره‌های مختلف آماری

نوع اقلیم	تعداد ایستگاه‌ها	دوره اول (۱۹۶۱-۱۹۹۰)			دوره دوم (۱۹۹۱-۲۰۲۰)			تمامی دوره (۱۹۶۱-۲۰۲۰)		
		تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	متوسط شیب سن	تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	متوسط شیب سن	تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	متوسط شیب سن
BSk	۹	۲	۰/۲۰۴	-۱/۳۵۸	۰	۰/۷۴۹	۰/۰۰۱	۰	۰/۴۲۵	-۰/۲۸۶
BWh	۹	۰	۰/۲۳۸	-۰/۳۸۶	۰	۰/۶۰۰	۰/۰۷۲	۰	۰/۴۹۸	-۰/۰۶۳
BWk	۴	۱	۰/۲۵۰	-۰/۷۰۳	۰	۰/۵۲۷	۰/۰۸۷	۱	۰/۴۳۷	-۰/۱۱۹
BSh	۲	۱	۰/۰۹۷	-۱/۳۵۱	۱	۰/۱۶۴	-۱/۱۱۵	۱	۰/۰۲۵	-۰/۵۶۵
Dsa	۵	۳	۰/۰۸۳	-۲/۳۵۱	۰	۰/۴۲۶	۰/۰۵۸	۲	۰/۴۶۰	-۰/۵۲۲
Csa	۴	۲	۰/۰۶۶	-۲/۶۴۸	۰	۰/۵۰۴	-۰/۷۶۷	۰	۰/۲۱۵	-۰/۶۶۳
تمامی اقلیم‌ها	۳۳	۹	۰/۱۷۷	-۱/۳۲۰	۱	۰/۵۶۷	-۰/۱۲۱	۴	۰/۴۰۲	-۰/۳۰۳



شکل ۴- مقادیر متوسط بارش فصل بهار (mm) برای ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره‌های مختلف

در دوره دوم (۱۹۹۱-۲۰۲۰)، تغییر چندانی در وضعیت بارش تابستانه مشاهده نمی‌شود. تقریباً در هیچ‌یک از اقلیم‌ها روند معناداری ثبت نشده و مقادیر شیب سن نیز همچنان در محدوده‌ای بسیار کم (و نزدیک به صفر) قرار دارد. در برخی مناطق مانند BSk و BSh، روند کاهشی بارزتری نسبت به دوره اول مشاهده می‌شود که به ترتیب برابر با ۰/۱۱ و ۰/۱۹۱- میلی‌متر در سال است، با این حال مقادیر P-value بزرگ (حدود ۰/۶ یا بیشتر) نشان می‌دهد که این کاهش‌ها از لحاظ آماری معنادار نیستند. حتی در اقلیم Csa که شیب مثبت اندکی معادل ۰/۵۹ میلی‌متر در سال به‌دست آمده‌است، هیچ ایستگاهی دارای روند معنادار نبوده است. این نتایج حاکی از آن است که تابستان در این دوره نیز فاقد الگوی تغییرات بارشی مشخص می‌باشد.

در بررسی دوره کلی (۱۹۶۱-۲۰۲۰)، برخلاف آنکه تعداد ایستگاه‌های دارای روند معنادار نسبت به دو دوره قبل اندکی بیشتر شده‌اند (۴ ایستگاه از مجموع ۳۳)، اما روند کلی همچنان غیرمعنادار باقی مانده است. در اقلیم BWh، دو ایستگاه دارای روند معنادار شناسایی شده‌اند، اگرچه شیب میانگین برای این اقلیم برابر صفر است. در اقلیم‌های BSk و Dsa نیز تنها یک ایستگاه با روند معنادار دارند. در این میان، بیشترین مقدار شیب مثبت در اقلیم Csa دیده می‌شود که برابر با ۰/۲۶۵ میلی‌متر بر سال است، اما با توجه به مقدار P-value بالا (۰/۷۵۱) این روند معنادار نمی‌باشد. بنابراین، حتی در دوره طولانی‌تر نیز بارش تابستانی در سطح کشور دستخوش روند قابل توجهی نشده است.

در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت برخلاف فصل‌هایی مانند پاییز یا زمستان، مقدار بارش تابستانی در اغلب نقاط ایران فاقد تغییرات معنادار آماری بوده و روندهای مشاهده شده نیز اغلب موضعی، ضعیف و غیرقابل تعمیم مکانی هستند.

همچنین باتوجه به شکل (۵) در دوره اول (۱۹۹۰-۱۹۶۱)، مقادیر بارش تابستانی در بیشتر ایستگاه‌ها کم و بسیار ناچیز بوده است. در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک (BWk, BWH)، اکثر ایستگاه‌ها بارش‌هایی کمتر از ۵ میلی‌متر در فصل تابستان ثبت کرده‌اند. برای نمونه، ایستگاه‌هایی مانند زابل، یزد، طبس و آبادان در اقلیم BWh همگی میانگین بارشی کمتر از ۱ میلی‌متر در این دوره داشته‌اند. در اقلیم BSk نیز ایستگاه‌هایی مانند تربت حیدریه (۰/۶۶۷ میلی‌متر)، شیراز (۱/۱۴۹ میلی‌متر) و سبزوار (۳/۱۴۹ میلی‌متر) بارش بسیار اندکی ثبت کرده‌اند.

در این میان، تنها اقلیم Csa با ایستگاه‌های خزری مانند بندر انزلی، رامسر و رشت استثنا هستند. این مناطق در دوره اول به ترتیب دارای میانگین‌های بارشی تابستانی ۳۸۳، ۲۶۶ و ۲۵۶ میلی‌متر بوده‌اند که بارزترین مقادیر در کل کشور محسوب می‌شوند و نقش قابل توجهی در شکل‌دهی به میانگین کل کشور دارند. گرگان در اقلیم BSh نیز با مقدار ۹۱/۳۶۴ میلی‌متر، در میان ایستگاه‌های غیرخزری از نظر بارش تابستانی جایگاه بالایی دارد.

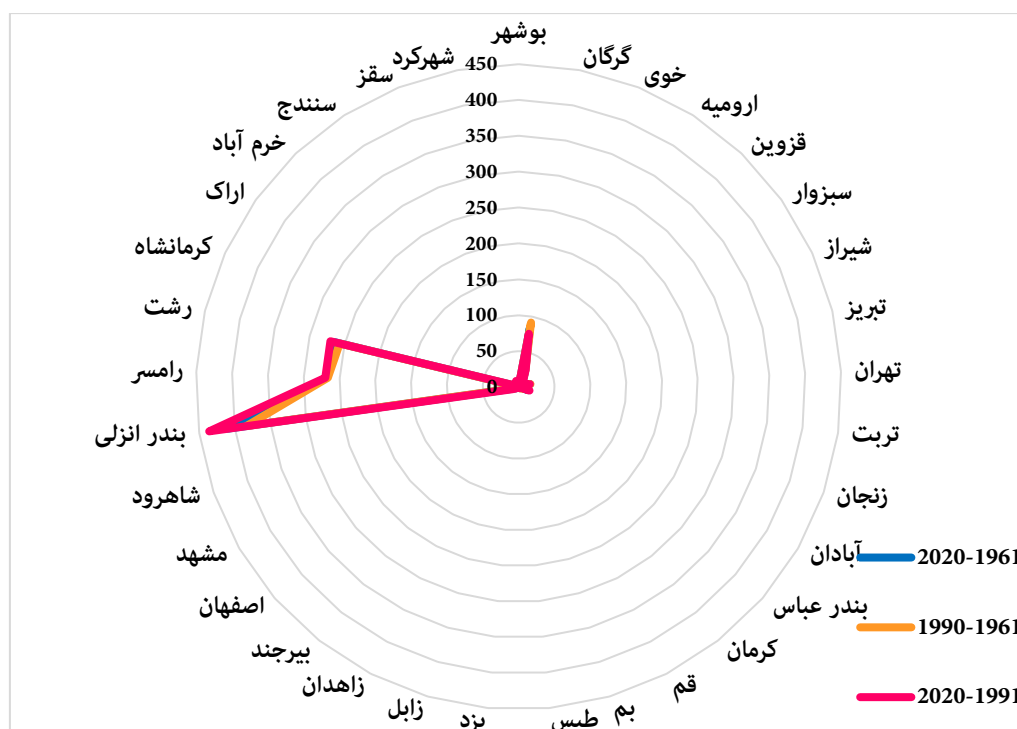
در دوره دوم (۱۹۹۱-۲۰۲۰)، برخلاف ثبات نسبی روندها در تحلیل آماری، برخی نوسانات در مقادیر بارش مشاهده می‌شود. در برخی ایستگاه‌ها بارش تابستانی نسبت به دوره اول افزایش یافته است، مانند تربت حیدریه در اقلیم BSk که از ۰/۶۶۷ به ۲/۹۶۷ میلی‌متر رسیده است، یا بیرجند در اقلیم BWk که از ۰/۳۵۰ به ۱/۴۷۳ میلی‌متر افزایش داشته است. همچنین در اقلیم Csa نیز رشد مقادیر مشاهده می‌شود، بندر

انزلی از ۳۸۳ به ۴۳۵ میلی‌متر و رشت از ۲۵۶ به ۲۷۰ میلی‌متر افزایش داشته‌اند. در مقابل در برخی نقاط بارش کاهش یافته، به عنوان نمونه، گرگان از ۹۱/۴ به ۷۵/۴ و بندرعباس از ۳/۶ به ۱/۸ میلی‌متر کاهش نشان داده‌اند. با این حال، این نوسانات عمدتاً محدود و غیرمنسجم بوده‌اند و از نظر آماری در بر اساس آزمون من-کندال روندهای معنادار نشده‌اند، که این مسئله نشان دهنده تأثیرپذیری بالای بارش تابستانی از عوامل محلی، رخدادهای کوتاه‌مدت همدیدی یا نوسانات سالانه است.

در بررسی کل دوره (۲۰۲۰-۱۹۶۱)، بارش تابستانی همچنان در بخش عمده‌ای از کشور در سطحی پایین باقی‌مانده است. مقادیر بارندگی تابستانه در ایستگاه‌های بسیاری در اقلیم‌های خشک مانند زابل (۰/۱۱ میلی‌متر)، یزد (۰/۱۲۲) و طبس (۰/۱۵۳) نزدیک به صفر هستند. در مقابل، در سواحل خزری (اقلیم Csa)، بارش تابستانی در سطحی بالا و پایدار باقی‌مانده است، به نحوی که بندر انزلی با میانگین ۴۰۹ میلی‌متر، رشت با ۲۶۳ و رامسر با ۲۶۸ میلی‌متر همچنان الگوی بارشی متفاوتی را نسبت به سایر نقاط کشور دارد. این الگو با نتایج تحلیل آماری نیز هم‌خوانی دارد؛ جایی که در اقلیم Csa با وجود مقادیر بالای بارش، روند معناداری در تابستان مشاهده نمی‌شود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت اقلیم‌های خزری، علاوه بر برخورداری از بارش تابستانی قابل توجه و نسبتاً زیاد، دستخوش تغییرات بلندمدت قابل توجهی نیز در بارش تابستانه خود نبوده‌اند. باتوجه به نتایج به‌دست آمده از بررسی وضعیت بارش در فصل تابستان و تغییرات آن، می‌توان به این نتیجه رسید که جز در ناحیه خزری، در سایر مناطق اقلیمی میزان بارندگی تابستانی اغلب ناچیز و فقط در حد چند میلی‌متر می‌باشد و همین میزان بارندگی فاقد روند معنی‌دار افزایشی و یا کاهشی می‌باشد.

جدول ۷- نتایج آزمون من-کندال و شیب سن بارش فصل تابستان در دوره‌های مختلف آماری

نوع اقلیم	تعداد ایستگاه‌ها	دوره اول (۱۹۹۰-۱۹۶۱)			دوره دوم (۱۹۹۱-۲۰۲۰)			تمامی دوره (۲۰۲۰-۱۹۶۱)		
		تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	شیب سن	تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	شیب سن	تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	شیب سن
BSk	۹	۱	۰/۳۶۸	-۰/۱۱۸	۰	۰/۷۲۳	-۰/۰۱۱	۱	۰/۴۷۱	۰/۰۱۶
BWh	۹	۰	۰/۴۵۰	۰/۰۰۰	۰	۰/۶۱۵	۰/۰۰۰	۲	۰/۳۸۶	۰/۰۰۰
BWk	۴	۰	۰/۶۸۰	۰/۰۰۵	۰	۰/۶۲۱	۰/۰۴۲	۰	۰/۲۷۴	۰/۰۲۱
BSh	۲	۰	۰/۴۹۵	۰/۰۸۹	۰	۰/۶۵۱	-۰/۱۹۱	۰	۰/۳۶۲	-۰/۲۰۴
Dsa	۵	۰	۰/۳۶۴	۰/۰۰۰	۰	۰/۸۹۵	-۰/۰۰۳	۱	۰/۲۲۴	۰/۰۰۵
Csa	۴	۰	۰/۶۷۸	-۱/۰۱۹	۰	۰/۵۷۵	۰/۰۵۹	۰	۰/۷۵۱	۰/۲۶۵
تمامی اقلیم‌ها	۳۳	۱	۰/۴۷۳	-۰/۱۵۰	۰	۰/۶۸۵	-۰/۰۰۳	۴	۰/۴۱۴	۰/۰۲۷



شکل ۵- مقادیر متوسط بارش فصل تابستان (mm) برای ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره‌های مختلف

تحلیل نوسانات بارش در فصل پاییز:

باتوجه به نتایج جدول (۸) در دوره نخست، تحلیل روند بارش پاییزه نشان از افزایش میانگین بارش در اغلب اقلیم‌ها دارد، هرچند این روندها عمدتاً از نظر آماری معنادار نبوده‌اند. چشمگیرترین افزایش بارش به اقلیم Csa تعلق دارد، جایی که شیب سن به‌طور میانگین برابر با $3/6$ میلی‌متر در سال برآورد شده است. با وجود عدم معناداری آماری، چنین شیبی بیانگر افزایش نسبی بارش پاییزی در نواحی خزری طی این بازه زمانی است. همچنین در اقلیم Dsa نیز افزایش قابل توجهی با شیب $1/3$ میلی‌متر در سال مشاهده می‌شود که در یک ایستگاه به آستانه معناداری آماری نیز رسیده است.

در اقلیم‌های خشک‌تر مانند BWh و BWk، با وجود ثبت شیب‌های مثبت (به‌ترتیب $0/426$ و $0/578$ میلی‌متر در سال)، روندها غالباً غیرمعنادار (در سطح 95%) باقی مانده‌اند و تنها در یک ایستگاه از BWk روندی معنادار شناسایی شده است. از سوی دیگر، اقلیم BSh در این دوره برخلاف سایر نواحی با شیب منفی مواجه بوده است ($-0/347$ میلی‌متر در سال) که اگرچه معنادار نبوده، اما می‌تواند نشانگر کاهش نسبی بارش‌های پاییزی در مناطق نیمه‌خشک جنوبی کشور در این بازه باشد.

دوره دوم با افت محسوس در شدت روندهای بارشی نسبت به دوره اول همراه بوده است. به جز اقلیم Csa که همچنان بیشترین شیب مثبت (2 میلی‌متر در سال) را نشان می‌دهد، سایر اقلیم‌ها عمدتاً با روندهایی ضعیف‌تر و پراکنده مواجه بوده‌اند. در این دوره، نه تنها هیچ ایستگاهی دارای روند معنادار نبوده است، بلکه در برخی اقلیم‌ها مانند BWh و BSh

حتی شیب‌های منفی ثبت شده‌اند (به‌ترتیب $-0/085$ و $-0/127$ میلی‌متر در سال). این افت در شدت روند به خصوص در اقلیم‌های معتدل تا خشک قابل توجه است، به‌گونه‌ای که در اقلیم‌های BSk و Dsa، شیب سن نسبت به دوره اول تقریباً به نصف کاهش یافته است. چنین تغییراتی می‌تواند حاکی از کاهش نوسانات بارشی پاییزه یا ثبات نسبی بارش پاییزه طی دهه‌های اخیر باشد.

نتایج حاصل از کل دوره بررسی شده نیز تاییدی بر فقدان روندهای معنادار در بارش پاییزی ایران است. با وجود میانگین شیب مثبت در اغلب اقلیم‌ها، تنها یک ایستگاه در اقلیم BSh با روند کاهشی معنادار شناسایی شده است ($-0/257$ میلی‌متر در سال). به‌طور کلی مقدار شیب سن برای کل ایستگاه‌ها برابر با $0/115$ میلی‌متر در سال و متوسط مقدار P-value برابر با $0/584$ بوده که نشان‌دهنده نبود روند بارشی معنادار در این فصل است.

از نکات قابل تأمل، کاهش محسوس شیب روند در اقلیم‌هایی است که در دوره اول مقادیر بالاتری داشتند؛ برای نمونه در Csa، باوجود شیب‌های بالا در دو دوره گذشته، در کل دوره، میانگین شیب به حدود $0/124$ میلی‌متر محدود شده است. این کاهش در کنار مقادیر بالای P-value، بار دیگر تأکید می‌کند نوسانات بارشی پاییزی در ایران بیش از آنکه نشانگر یک روند بلندمدت باشند، بازتابی از نوسانات کوتاه‌مدت و ناپایدار هستند.

باتوجه به شکل (۶) بررسی تغییرات بارش فصل پاییز طی سه بازه زمانی نشان می‌دهد تغییرات بارش در بسیاری از ایستگاه‌ها ناچیز است، هرچند در برخی مناطق تغییرات

نسبی قابل توجهی مشاهده می‌شود (جدول ۸ و شکل ۶). در اقلیم نیمه‌خشک گرم (BSH)، داده‌های ایستگاهی نشان می‌دهد ایستگاه بوشهر طی دوره دوم روند افزایشی داشته است، به‌طوری‌که بارش از ۹۷/۷ میلی‌متر در دوره اول به ۱۲۱/۹ میلی‌متر در دوره دوم افزایش یافته است. در مقابل، ایستگاه گرگان با کاهش بارش از ۲۰۱/۶ میلی‌متر به ۱۶۳/۹ میلی‌متر روبه‌رو شده است. این تغییرات متضاد باعث شده که با وجود میانگین شیب منفی در دوره اول و مثبت در دوره دوم، در کل دوره فقط یک ایستگاه دارای روند معنادار (در سطح ۹۵٪) تشخیص داده شود. در نتیجه، رفتار بارشی این اقلیم از نظر آماری به‌عنوان روندی ناپایدار و محلی ارزیابی می‌شود.

در اقلیم نیمه‌خشک سرد (BSK)، تغییرات بارش در طول سه دوره تقریباً نوسانی اما محدود بوده است. به‌طورمثال، بارش در خوی از ۷۴ میلی‌متر در دوره اول به ۶۴ میلی‌متر در دوره دوم کاهش یافته است درحالی‌که مقدار میانگین در کل دوره ۶۹ میلی‌متر است. در زنجان نیز میانگین بارش تقریباً در هر دو دوره ثابت باقی‌مانده است (۸۴/۱ میلی‌متر در دوره اول و ۸۵/۳ میلی‌متر در دوره دوم). با وجود شیب مثبت متوسط در دوره دوم، آزمون آماری تنها در دوره اول یک ایستگاه با روند معنادار را مشخص کرده و در دو دوره دیگر روندی معنادار یافت نشده است. این مسئله بیانگر نبود جهت‌گیری مشخص در روند بارش پاییزی در این اقلیم در بازه بلندمدت است. در اقلیم بیابانی گرم (BWH)، به‌طور معمول مقادیر بارش پاییزی کم می‌باشد. در برخی ایستگاه‌ها مانند بندرعباس و زاهدان افزایش نسبی در مقادیر بارش پاییزه در دوره دوم در مقایسه با دوره اول مشاهده می‌شود، اما در ایستگاه‌هایی مانند طبس و زابل، این مقادیر کاهش داده‌اند. تحلیل آماری، اگرچه میانگین شیب را در دوره اول مثبت و در دوره دوم اندکی منفی نشان می‌دهد، اما هیچ روند معناداری شناسایی نشده است، نتیجه‌ای که به‌خوبی با رفتار نوسانی بارش در این ایستگاه‌ها مطابقت دارد.

در اقلیم بیابانی سرد (BWk)، نیز رفتار مشابهی مشاهده می‌شود. داده‌های ایستگاهی مانند مشهد و بیرجند نوساناتی از دوره اول به دوم نشان می‌دهند. به‌عنوان مثال در ایستگاه مشهد مقدار بارندگی پاییزه از ۵۴ میلی‌متر در دوره اول به ۴۵/۵ میلی‌متر در دوره دوم کاهش یافته است درحالی‌که میانگین کل دوره ۵۰ میلی‌متر بوده است. با این حال حتی در مواردی مانند شاهرود که افزایش بارش دیده می‌شود، هیچ‌کدام از آزمون‌ها روند معناداری را در هیچ‌یک از سه دوره تایید نکرده‌اند. این وضعیت گویای آن است که اگرچه در این اقلیم تغییرات نسبی وجود دارد، اما جهت‌گیری مشخصی از نظر آماری قابل شناسایی نیست.

در اقلیم کوهستانی سرد (Dsa)، بیشتر ایستگاه‌ها مانند سقز و خرم‌آباد افزایش در بارش پاییزی را در دوره دوم نسبت به دوره اول تجربه کرده‌اند. به‌عنوان مثال بارش پاییزه سقز از ۱۴۰ به ۱۵۵ میلی‌متر افزایش داشته درحالی‌که میانگین ۶۰ ساله آن ۱۴۷ میلی‌متر است. با وجود چنین افزایشی، آزمون من-کندال در هیچ‌یک از دوره‌ها به‌جز دوره اول، روند معناداری شناسایی نکرده و کل دوره نیز بدون روند آماری معنادار ارزیابی شده است.

در اقلیم مدیترانه‌ای (Csa)، بیشترین مقادیر بارش پاییزی در سراسر کشور ثبت شده است. در ایستگاه‌هایی مانند بندر انزلی، رشت و رامسر، بارش در هر سه دوره در سطح بسیار بالایی باقی‌مانده است به‌عنوان مثال در ایستگاه بندرانزلی بارش از ۷۸۳/۵ در دوره اول به ۸۵۴ میلی‌متر در دوره دوم رسیده و میانگین کل دوره نیز برابر با ۸۱۹ میلی‌متر می‌باشد. هرچند در برخی ایستگاه‌ها کاهش نسبی از دوره اول به دوم مشاهده شده است، اما شیب مثبت ضعیف در دوره دوم و منفی در دوره اول، به‌همراه نوسانات بالا، باعث شده است که هیچ روند معناداری در سطح اقلیم شناسایی نشود. در مجموع، تحلیل سه دوره‌ای بارش پاییزی در اقلیم‌های مختلف ایران نشان می‌دهد که باوجود برخی تغییرات در ایستگاه‌ها، اغلب اقلیم‌ها فاقد روند معنادار آماری بارش در کل دوره بوده‌اند.

جدول ۸- نتایج آزمون من-کندال و شیب سن بارش فصل پاییز در دوره‌های مختلف آماری

نوع اقلیم	تعداد ایستگاه‌ها	دوره اول (۱۹۹۰-۱۹۶۱)			دوره دوم (۱۹۹۱-۲۰۲۰)			تمامی دوره (۱۹۶۱-۲۰۲۰)		
		تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	متوسط شیب سن	تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	متوسط شیب سن	تعداد ایستگاه‌های دارای روند	متوسط مقادیر P-value	متوسط شیب سن
BSk	۹	۱	۰/۳۷۶	۰/۷۸۹	۰	۰/۵۰۶	۰/۴۰۶	۰	۰/۶۱۱	۰/۱۷۵
BWh	۹	۰	۰/۲۸۲	۰/۴۲۶	۰	۰/۵۳۳	-۰/۰۸۵	۰	۰/۵۰۶	۰/۰۷۶
BWk	۴	۱	۰/۲۵۰	۰/۵۷۸	۰	۰/۵۷۹	۰/۰۳۰	۰	۰/۶۳۲	-۰/۰۰۴
BSh	۲	۰	۰/۲۳۹	-۰/۳۴۷	۰	۰/۵۳۴	-۰/۱۲۷	۱	۰/۰۷۲	-۰/۲۵۷
Dsa	۵	۱	۰/۳۷۳	۱/۳۰۶	۰	۰/۶۶۲	۰/۷۰۹	۰	۰/۵۷۵	۰/۳۱۳
Csa	۴	۰	۰/۴۰۸	۳/۶۱۸	۰	۰/۶۸۱	۲/۰۰۴	۰	۰/۹۱۶	۰/۱۲۴
تمامی اقلیم‌ها	۳۳	۳	۰/۳۳۰	۱/۰۱۷	۰	۰/۵۶۹	۰/۴۳۴	۱	۰/۵۸۴	۰/۱۱۵

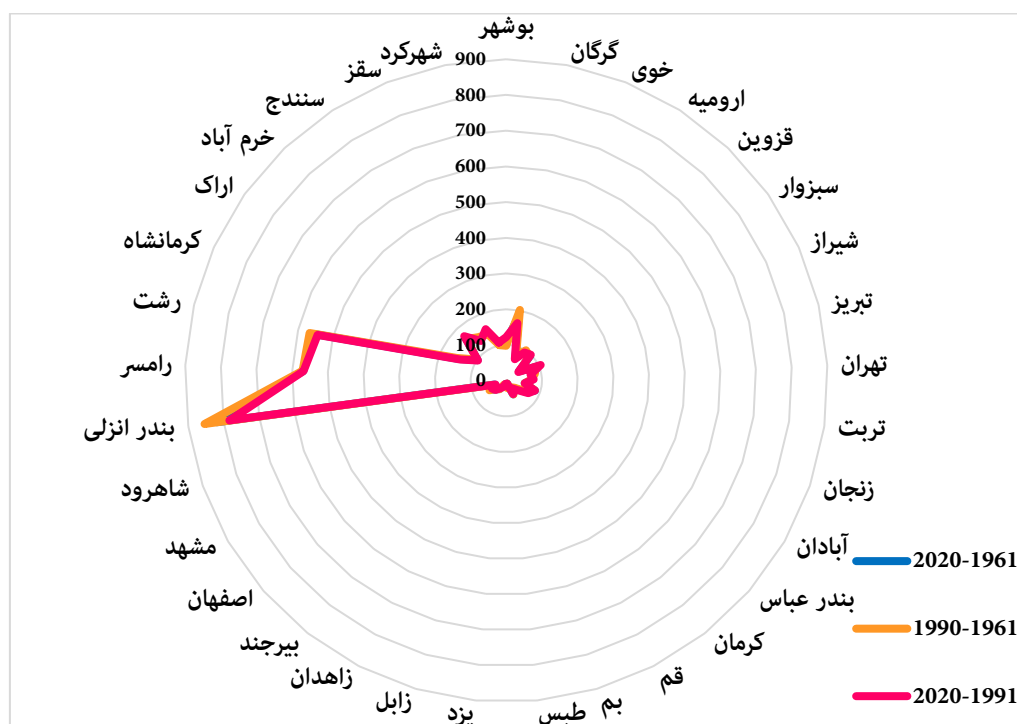
تنها کاهش یافته، بلکه شدت این کاهش در اقلیم‌های خشک و کوهستانی بیشتر بوده است.

تحلیل روند بارش فصل بهار حاکی از آن است که شدیدترین کاهش‌ها در دهه‌های نخست مشاهده شده، درحالی‌که در دهه‌های اخیر، گرایش به سمت ثبات و حتی افزایش خفیف به‌ویژه در اقلیم‌های خشک قابل مشاهده است. برخلاف فصل‌هایی مانند پاییز یا زمستان، بارش تابستانی در اغلب نقاط ایران فاقد تغییرات معنادار آماری بوده و روندهای مشاهده شده نیز اغلب موضعی، ضعیف و غیرقابل تعمیم مکانی‌اند. تحلیل مقادیر بارش پاییزی در اقلیم‌های مختلف کشور، نشان می‌دهد که باوجود برخی تغییرات در ایستگاه‌ها، اغلب اقلیم‌ها فاقد روند معنادار آماری در کل دوره بوده‌اند.

باتوجه‌به یافته‌های این پژوهش (نوسانات و یا تغییرات ناهمگون بارندگی در فصل‌های مختلف و در اقلیم‌های مختلف)، بر ضرورت توجه به کاهش منابع آبی ناشی از بارش‌های زمستانه در اغلب مناطق کشور و تدوین برنامه‌های جامع، پویا و انعطاف‌پذیر در مدیریت منابع آب و سازگاری با تغییر اقلیم تأکید می‌شود. به‌بیان دیگر، مدیران و برنامه‌ریزان، باید مدیریت انعطاف‌پذیر منابع آب و کشاورزی را با توجه به نوسانات و تغییرات ناهمگون بارندگی در اقلیم‌های متفاوت و در فصول مختلف در برنامه کاری خود داشته باشند. باتوجه‌به نتایج این پژوهش، بر ضرورت توجه به ویژگی‌های محلی، فصلی و اقلیمی بارش در برنامه‌ریزی‌های منابع آب و کشاورزی تأکید می‌شود. این رویکرد می‌تواند به پایداری بهتر اکوسیستم‌ها و کاهش آسیب‌پذیری مناطق مختلف کشور در برابر تغییرات اقلیمی کمک کند.

این پژوهش با هدف بررسی تغییرات سالانه و فصلی بارش در مناطق مختلف اقلیمی کشور انجام شد، نتایج آن نشان می‌دهد روند تغییرات بارش سالانه و فصلی در ایران طی بازه ۶۰ ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰) فاقد تغییرات بلندمدت و معنادار است و عمدتاً تحت تأثیر نوسانات کوتاه‌مدت و منطقه‌ای قرار دارد. بررسی داده‌های ایستگاهی و تحلیل آماری در دو دوره ۳۰ ساله و کل دوره، گویای تنوع و پراکندگی روندهای بارشی در اقلیم‌ها و فصول مختلف است، به‌گونه‌ای که هیچ روند پایداری در بارش‌ها برای فصل خاص یا اقلیم خاص شناسایی نشد.

در فصل‌های زمستان و بهار، روندهایی از کاهش بارش در برخی از مناطق مشاهده می‌شود اما به‌طورکلی بارش‌ها به‌ویژه در اقلیم‌های معتدل و کوهستانی سرد نسبتاً پایدارتر بوده‌اند. در فصل تابستان نیز با بارش‌های اندک و پراکنده، نوسانات شدیدتری از نظر مقدار بارندگی مشاهده می‌شود اما در اکثر ایستگاه‌ها بارندگی این فصل فاقد روند معنادار می‌باشد. بارش فصل پاییز نیز در دوره نخست روندهای افزایشی قابل توجهی به‌ویژه در اقلیم‌های مدیترانه‌ای و کوهستانی سرد داشته است، اما این روندها در دوره دوم کاهش چشم‌گیری داشتند و در کل دوره فاقد روند آماری معنادار هستند. درعین‌حال روندهای مشاهده شده نشان می‌دهند اگرچه در دهه‌های نخست وضعیت بارش زمستانی در برخی مناطق نسبتاً مطلوب بوده است، اما در سه دهه اخیر، بارش‌ها نه



شکل ۶- مقادیر متوسط بارش فصل پاییز (mm) برای ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره‌های مختلف

- Caloiero, T., Caroletti, G. N., & Coscarelli, R. (2020). TRMM-based rainfall temporal analysis over Italy. *SN Applied Sciences*, 2, 1270. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3075-7>
- Dinpashoh, Y., Jhajharia, D., Fakheri-Fard, A., Singh, V. P., & Kahya, E. (2011). Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 399(3-4), 422-433. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.021>
- Eini, M. R., Olyaei, M. A., Kamyab, T., Teymoori, J., Brocca, L., & Piniewski, M. (2021). Evaluating three non-gauge-corrected satellite precipitation estimates by a regional gauge interpolated dataset over Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 38, 100942. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100942>
- Fang, G., Li, Z., Chen, Y., Liang, W., Zhang, X., & Zhang, Q. (2023). Projecting the impact of climate change on runoff in the Tarim River simulated by the Soil and Water Assessment Tool Glacier model. *Remote Sensing*, 15(16), 3922. <https://doi.org/10.3390/rs15163922>
- Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(6), 2069-2094. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w>
- Halwani, J., & Halwani, B. (2022). Climate change in Lebanon and the impact to water resources. In A. Negm, M. El-Alfy, & M. Clüsener-Godt (Eds.), *Climate change impacts on water resources in the Arab region* (pp. 395-413). Springer International Publishing. Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78566-6_19
- Huber, M., & Knutti, R. (2012). Anthropogenic and natural warming inferred from changes in Earth's energy balance. *Nature Geoscience*, 5(1), 31-36. <https://doi.org/10.1038/ngeo1327>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley, Eds.). Cambridge University Press. Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Asia* (Chapter 24). In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part B: Regional Aspects* (Working Group II contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change) (pp. 1327-1370). Cambridge University Press. Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.004>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou, Eds.). Cambridge University Press. Cambridge. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Kendall, M.G. (1948). *Rank Correlation Methods*, 4th edn. Griffin: London.
- Li, Q., Ye, A., Wada, Y., Zhang, Y., & Zhou, J. (2024). Climate change leads to an expansion of global drought-sensitive area. *Journal of Hydrology*, 632, 130874. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130874>
- 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 (CMIP6). *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۵(۱)، ۳۵-۵۴. <https://doi.org/10.30499/ijg.2020.249997.1292>
- رضیئی، طیب، و میری، مرتضی. (۱۴۰۱). طبقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر. پژوهش‌های حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. شماره ثبت: ۶۱۷۴۳.
- میرعباسی نجف‌آبادی، رسول، و دین‌پژوه، یعقوب. (۱۳۸۹). تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های شمال غرب ایران در سه دهه اخیر. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۴(۴)، ۷۵۷-۷۶۸.
- میان‌آبادی، آمنه، و داوری، کامران. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات مقدار و توزیع بارش و دما در ایران و اثرات آن‌ها بر رخدادهای حدی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۱۰(۲)، ۱۳-۲۶. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v10i2.2301-1203>
- مساعدی، ابوالفضل، کواکبی، غزاله، و عبداللّه‌زاده، زهرا. (۱۳۹۰). آشکارسازی تغییرات اقلیمی براساس آزمون آماری من ویتنی در شهر مشهد. کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- Ahmed, K., Shahid, S., & Nawaz, N. (2018). Impacts of climate variability and change on seasonal drought characteristics of Pakistan. *Atmospheric Research*, 214, 364-374. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.08.020>
- Ansari Mahabadi, S., Massah Bavani, A. R., & Bagheri, A. (2018). Improving adaptive capacity of social-ecological system of Tashk-Bakhtegan Lake basin to climate change effects - A methodology based on Post-Modern Portfolio Theory. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 18(4), 365-378. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.11.002>
- Araghi, A., Martinez, C. J., Adamowski, J., & Olesen, J. E. (2018). Spatiotemporal variations of aridity in Iran using high-resolution gridded data. *International Journal of Climatology*, 38(6), 2701-2717. <https://doi.org/10.1002/joc.5454>
- Vaghefi, S. A., Abbaspour, N., Kamali, B., & Abbaspour, K. C. (2017). A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions - Case study: California-Baja California Peninsula. *Environmental Modelling & Software*, 96, 181-198. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.033>
- Azadi, F., Ashofteh, P.-S., Shokri, A., & Loáiciga, H. A. (2021). Simulation-optimization of reservoir water quality under climate change. *Journal of Water Resources Planning and Management (ASCE)*, 147(9), 04021068. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001436](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001436)
- Azari, M., Moradi, H. R., Saghaian, B., & Faramarzi, M. (2016). Climate change impacts on streamflow and sediment yield in the North of Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 61(1), 123-133. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.967695>

- Africa based on CMIP5 models. *International Journal of Climatology*, 38(3), 1375-1392. <https://doi.org/10.1002/joc.5252>
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Sharafati, A., Nabaei, S., & Shahid, S. (2020). Spatial assessment of meteorological drought features over different climate regions in Iran. *International Journal of Climatology*, 40(3), 1864-1884. <https://doi.org/10.1002/joc.6307>
- Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 10(1), 13768. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>
- Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis I, II, and III. *Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Sciences*, 53, 386-392, 521-525, 1397-1412.
- World Meteorological Organization. (2020). WMO statement on the state of the global climate in 2019 (WMO-No. 1248). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13705.19046>
- Maghrabi, A. H., & Alotaibi, R. N. (2018). Long-term variations of AOD from an AERONET station in the central Arabian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*, 134(3), 1015-1026. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2328-x>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.
- Mohamed, M. A., El Afandi, G. S., & El-Mahdy, M. E.-S. (2022). Impact of climate change on rainfall variability in the Blue Nile basin. *Alexandria Engineering Journal*, 61(4), 3265-3275. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.08.056>
- Mohammadi, A., Javadi, S., Yousefi, H., Pouraram, H., & Randhir, T. O. (2024). A Framework for Assessing Food Baskets Based on Water and Carbon Footprints. *Water*, 16(9), 1196. <https://doi.org/10.3390/w16091196>
- Nilawar, A. P., & Waikar, M. L. (2019). Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India. *Science of the Total Environment*, 650, 2685-2696. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.334>
- Oliveira, V. A., de Mello, C. R., Beskow, S., Viola, M. R., & Srinivasan, R. (2019). Modeling the effects of climate change on hydrology and sediment load in a headwater basin in the Brazilian Cerrado biome. *Ecological Engineering*, 133, 20-31. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.021>
- Ongoma, V., Chen, H., & Gao, C. (2018). Projected changes in mean rainfall and temperature over East
- پی‌نوشت‌ها**
- 1- IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
- 2- UHI: Urban Heat Island