

اثر نوع اقلیم بر میزان افزایش میانگین دمای سالانه در مناطق مختلف کشور

امیرحسین کریمی خلیل آباد^۱، ابوالفضل مساعدی^{۲*}، سیدمحمدرضا ناقدی فر^۳

چکیده:

در این پژوهش، تغییرات دمای متوسط سالانه ایران در بازه زمانی ۶۰ ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰) با هدف بررسی تاثیر طبقه اقلیمی بر میزان افزایش دما در گستره کشور مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور، داده‌های دمایی ۳۳ ایستگاه سینوپتیک از اقلیم‌های مختلف کشور در دو دوره ۳۰ ساله (۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ۲۰۲۰-۱۹۹۱) و کل دوره ۶۰ ساله مورد بررسی قرار گرفتند. از دو روش آماری من-کندال و تخمینگر شیب سن برای تحلیل روند و نرخ تغییرات دما استفاده شد. نتایج نشان دادند که در دوره دوم، روند افزایش دما در بیشتر ایستگاه‌ها معنادار (در سطح ۹۵٪) و شیب افزایش دما در اقلیم‌های بیابانی گرم، نیمه‌خشک سرد و مدیترانه‌ای بیشتر از سایر مناطق بوده است. در مجموع، میانگین شیب تغییرات در بازه ۶۰ ساله حدود ۰/۰۱۳ درجه سانتی‌گراد در سال برآورد شد که معادل افزایش حدود ۰/۸ درجه سانتی‌گراد در کل دوره است. در میان اقلیم‌های مورد بررسی، اقلیم بیابانی گرم با بیشترین نرخ افزایش دما معادل ۰/۰۵۴ درجه سانتی‌گراد در سال و اقلیم نیمه‌خشک گرم با کمترین میزان گرمایش به میزان ۰/۰۰۸ درجه سانتی‌گراد در سال، به ترتیب بیشترین و کمترین تغییرات حرارتی را تجربه کرده‌اند. گسترش روند گرمایش و تفاوت الگوهای اقلیمی نشان می‌دهد که مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران از آسیب‌پذیرترین نواحی در برابر تغییرات اقلیمی هستند. نتایج به‌دست‌آمده بر لزوم به‌کارگیری رویکردهای مبتنی بر داده‌های بلندمدت، تحلیل‌های دقیق آماری و درک تفاوت‌های اقلیمی در برنامه‌ریزی و مدیریت اکوهیدرولوژیکی کشور تأکید دارند.

واژگان کلیدی: گرمایش جهانی، دما، آزمون من-کندال، شیب سن، ایران.

مقدمه:

پدیده تغییر اقلیم، به‌ویژه روند فزاینده گرمایش جهانی، یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی، اکولوژیکی و اکوهیدرولوژیکی در قرن بیست‌ویکم محسوب می‌شود. شواهد علمی نیز به‌طور گسترده نشان می‌دهند که گرمایش زمین عمده‌تا

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

Email: amirkarimi123789@gmail.com

۲. استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. مسئول مکاتبه. Email: mosaedi@um.ac.ir

۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. Email: mr.naghedifar@um.ac.ir

ناشی از فعالیت‌های انسانی نظیر مصرف سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و رشد شهرنشینی است (۶،۱۲،۲۰). بر اساس گزارش ششم هیئت بین دولتی تغییر اقلیم (۱۶)، از آغاز انقلاب صنعتی تاکنون، میانگین دمای سطح زمین حدود ۱/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود که در صورت تداوم روند فعلی انتشار گازهای گلخانه‌ای، این افزایش تا پایان قرن جاری به بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد برسد. در امتداد این روند، انباشت گازهای گلخانه‌ای در جو و تشدید گرمایش زمین، باعث افزایش چشمگیر دما در بسیاری از نقاط جهان شده و به شکل‌گیری تغییرات محسوس در الگوهای اقلیمی منجر شده است (۱۴). این تغییرات نه تنها پارامترهایی نظیر دما و بارش را تحت تأثیر قرار داده‌اند، بلکه تهدیدی جدی برای امنیت منابع طبیعی، پایداری اکوسیستم‌ها و رفاه جوامع انسانی محسوب می‌شوند (۸).

امروزه تغییرات اقلیمی به عنوان یک واقعیت مستند و غیرقابل انکار شناخته می‌شوند و پیش‌بینی‌ها حاکی از آن هستند که این روند در آینده نیز با شدت بیشتری ادامه خواهد داشت (۲۱). چنین تحولاتی می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای بر منابع طبیعی، به ویژه منابع آب و خاک و وضعیت اکولوژیکی و اکوهیدرولوژیکی داشته باشند. این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشکی مانند ایران که با چالش‌های شدید آبی رو به رو می‌باشد، اهمیتی دوچندان پیدا می‌کند (۴،۱۳). به عنوان مثال، گزارش پنجم IPCC^۱ نشان می‌دهد که میانگین دمای جهانی از سال ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ به میزان ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و ممکن است تا سال ۲۱۰۰ به ۰/۳ تا ۴/۸ درجه برسد (۱۵).

گرمایش جهانی نه تنها باعث تغییر در مقدار و الگوی بارش و دما شده، بلکه تأثیرات گسترده‌ای بر محیط‌زیست و جوامع بشری نیز گذاشته است (۲۵). مطالعات انجام‌شده در ایران نیز حاکی از کاهش بارش، افزایش دما و افت منابع آبی طی دهه‌های اخیر هستند (۱،۷،۲۴). این شرایط موجب شده است که مدیریت منابع آب در مناطق خشک از حساسیت و اهمیت بیشتری برخوردار شود، چرا که این منابع به طور مستقیم تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرند (۴).

افزون بر آن، تحقیقات علمی نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی می‌تواند نوسانات شدیدتری در دما و بارش ایجاد کنند و منجر به افزایش رخداد پدیده‌های حدی مانند خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها شوند (۲۲). همچنین افزایش دما و تغییرات الگوهای بارش، می‌تواند باعث نوسانات قابل توجهی در رواناب، ذوب یخچال‌ها و تغییر در تعادل هیدرولوژیکی در مناطق کوهستانی شود، که مدیریت منابع آب را با چالش‌های جدیدی مواجه می‌سازد (۱۱). بنابراین، تحلیل دقیق روند تغییرات پارامترهای اقلیمی نظیر دما و بارش، ابزاری کلیدی برای آشکارسازی تأثیرات تغییر اقلیم در هر منطقه به شمار می‌رود. که استفاده از روش‌های آماری پارامتریک و ناپارامتریک یکی از رویکردهای علمی مؤثر در این زمینه است (۵).

داده‌های بلندمدت ایستگاه‌های سینوپتیک، به ویژه در بازه‌های زمانی قابل اعتماد، تصویری روشن از وضعیت اقلیم گذشته و حال ارائه داده و امکان پیش‌بینی دقیق‌تر آینده را فراهم می‌کنند. این امر در ایران به دلیل شرایط اقلیمی خاص و وابستگی به منابع آب سطحی و زیرزمینی اهمیت ویژه‌ای دارد. در ایران، با در اختیار داشتن داده‌های بلندمدت از ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی، امکان بررسی دقیق تغییرات اقلیمی و ارزیابی آثار آن بر منابع آب فراهم شده است (۴).

در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف تحلیل تغییرات اقلیمی و تأثیر نوع اقلیم بر میزان افزایش دما به بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه طی یک دوره آماری ۶۰ ساله (۱۹۶۱-۲۰۲۰) و دو دوره ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۲۰-۱۹۹۱) در محدوده ۳۳ ایستگاه سینوپتیک منتخب ایران که در شرایط آب و هوایی مختلفی قرار دارند، پرداخته است.

¹ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

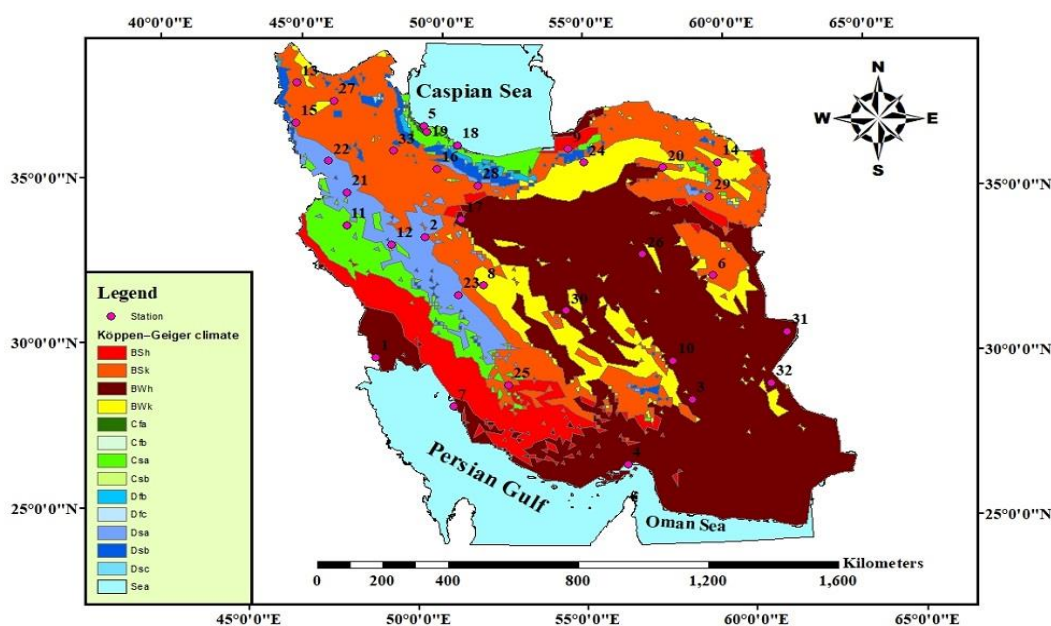
مواد و روش‌ها:

۱. منطقه مورد مطالعه:

کشور ایران با مساحتی بالغ بر ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومترمربع به عنوان هجدهمین کشور پهناور جهان شناخته می‌شود که در جنوب غربی قاره آسیا واقع شده است (۹). این کشور از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳ دقیقه شمالی تا ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۴ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی تا ۶۳ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی قرار گرفته است. میانگین بارش سالانه این کشور حدود ۲۵۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه نیز ۱۷/۴ درجه سانتی‌گراد است که به دلیل وجود نواحی مختلف اقلیمی از کوهستانی تا بیابانی، این مقادارها در مناطق مختلف کشور متفاوت است (۱۰) و شرایط اقلیمی متفاوتی را مناطق مختلف کشور بوجود آورده است.

۲. داده‌های مورد استفاده:

در این پژوهش، مقادیر متوسط دمای سالانه ۳۳ ایستگاه سینوپتیک کشور طی بازه زمانی ۶۰ ساله (۱۹۶۱-۲۰۲۰) مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به طول دوره آماری مناسب در ایستگاه‌های مذکور، شرایط لازم برای بررسی تغییرات دما، بطور مطلوبی فراهم گردیده است. اسامی و همچنین مشخصات آب و هوایی و وضعیت اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ و موقعیت آن‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین، در جدول ۲، طبقه‌بندی اقلیم ایران بر اساس روش کوپن-گایگر ارائه شده است (۲). بر مبنای این طبقه‌بندی، بیش از نیمی (۵۵٪) از ایستگاه‌ها مورد استفاده در این پژوهش در اقلیم‌های نیمه‌خشک سرد (BSk) و بیابانی گرم (BWh) 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 (BSH) واقع شده‌اند. این توزیع اقلیمی گویای تنوع قابل توجه شرایط آب‌وهوایی در سطح کشور می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه (طبقه‌بندی اقلیم ایران بر اساس روش کوپن-گایگر)

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

ردیف	نام ایستگاه	متوسط دما (°C)	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	ارتفاع (m)	نوع اقلیم	ردیف	نام ایستگاه	متوسط دما (°C)	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	ارتفاع (m)	نوع اقلیم
۱	آبادان	۲۵/۷۳	۴۸°۱۸'	۳۰°۲۰'	۳	BWh	۱۸	رامسر	۱۶/۲۰	۵۰°۴۰'	۳۶°۵۳'	۲۱	Csa
۲	اراک	۱۳/۹۳	۴۹°۴۲'	۳۴°۴۰'	۱۷۱۸	Dsa	۱۹	رشت	۱۶/۲۶	۴۹°۳۶'	۳۷°۱۶'	۷	Csa
۳	بم	۲۳/۵۰	۵۸°۲۰'	۲۹°۰۶'	۱۰۶۱	BWh	۲۰	سبزوار	۱۷/۸۱	۵۷°۴۰'	۳۶°۱۲'	۹۷۸	BSk
۴	بندر عباس	۲۷/۱۲	۵۶°۱۶'	۲۷°۱۱'	۹	BWh	۲۱	سنندج	۱۴/۳۲	۴۶°۵۹'	۳۵°۱۹'	۱۵۳۸	Dsa
۵	بندر انزلی	۱۶/۳۷	۴۹°۲۸'	۳۷°۲۸'	-۲۶	Csa	۲۲	سقز	۱۲/۱۰	۴۶°۱۶'	۳۶°۱۴'	۱۴۷۶	Dsa
۶	بیرجند	۱۶/۸۲	۵۹°۱۳'	۳۲°۵۲'	۱۴۹۱	BWk	۲۳	شهرکرد	۱۲/۲۹	۵۰°۵۱'	۳۲°۱۹'	۲۰۷۰	Dsa
۷	بوشهر	۲۴/۸۸	۵۰°۵۰'	۲۸°۵۵'	۱۸	BSh	۲۴	شاهرود	۱۴/۸۱	۵۵°۰۱'	۳۶°۲۵'	۱۳۴۵	BWk
۸	اصفهان	۱۶/۶۴	۵۱°۴۰'	۳۲°۳۸'	۱۵۷۵	BWk	۲۵	شیراز	۱۸/۲۱	۵۲°۳۲'	۲۹°۳۷'	۱۵۰۰	BSk
۹	گرگان	۱۷/۷۰	۵۴°۲۸'	۳۶°۴۹'	۱۵۵	BSh	۲۶	طیس	۲۲/۷۱	۵۶°۵۵'	۳۳°۳۵'	۶۹۰	BWh
۱۰	کرمان	۱۷/۱۳	۵۷°۴۷'	۳۰°۱۷'	۱۷۵۶	BWh	۲۷	تبریز	۱۲/۵۰	۴۶°۱۸'	۳۸°۴۰'	۱۳۵۱	BSk
۱۱	کرمانشاه	۱۵/۰۰	۴۷°۳۰'	۳۴°۱۸'	۱۳۵۰	Csa	۲۸	تهران	۱۷/۶۳	۵۱°۲۳'	۳۵°۴۱'	۹۰۰	BSk
۱۲	خرم‌آباد	۱۷/۳۳	۴۸°۳۵'	۳۳°۴۸'	۱۱۴۷	Dsa	۲۹	تربت حیدریه	۱۴/۸۰	۵۹°۱۳'	۳۵°۱۶'	۱۴۵۰	BSk
۱۳	خوی	۱۲/۷۴	۴۴°۵۶'	۳۸°۳۳'	۱۱۴۹	BSk	۳۰	یزد	۱۹/۷۵	۵۴°۲۲'	۳۱°۵۳'	۱۲۱۶	BWh
۱۴	مشهد	۱۴/۵۴	۵۹°۳۴'	۳۶°۱۸'	۹۹۵	BWk	۳۱	زابل	۲۲/۷۲	۶۱°۲۹'	۳۱°۰۱'	۴۸۰	BWh
۱۵	ارومیه	۱۱/۲۴	۴۵°۰۲'	۳۷°۱۹'	۱۳۳۲	BSk	۳۲	زاهدان	۱۸/۸۴	۶۰°۵۱'	۲۹°۳۰'	۱۳۵۲	BWh
۱۶	قزوین	۱۴/۲۸	۵۰°۰۰'	۳۶°۰۹'	۱۲۷۸	BSk	۳۳	زنجان	۱۱/۵۶	۴۸°۲۹'	۳۶°۳۹'	۱۶۳۸	BSk
۱۷	قم	۱۸/۶۰	۵۰°۵۲'	۳۴°۳۸'	۹۳۶	BWh							

جدول ۲- 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

۳. بررسی روند داده‌ها:

به منظور بررسی روند مقادیر متوسط دمای سالانه 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. در حالی که در روش تخمینگر شیب سن، مقدار شیب خط روند تعیین می‌شود. هر یک از این دو روش به شرح زیر هستند.

۳/۱ آزمون من-کندال:

آزمون ناپارامتری من-کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) معرفی و سپس توسط کندال (۱۹۴۸) توسعه یافت و به عنوان یک آزمون قوی برای بررسی روند در سری‌های زمانی شناخته می‌شود (۱۷، ۱۹).

این آزمون نیازی به فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها ندارد و می‌تواند کاربرد گسترده‌ای در بررسی روند داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی داشته باشد. در این آزمون، هر مقدار از سری زمانی با مقادیر بعد از خود مقایسه می‌شود و آماره‌ای به نام S را ایجاد می‌کند که به صورت معادله (۱) محاسبه می‌شود.

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

در معادله (۱)، n تعداد مشاهدات، X_i و X_j به ترتیب مقدار داده مشاهده شده در زمان i (زمان قبل) و مقدار داده مشاهده شده در زمان j (زمان بعد) است و تابع علامت نیز بر اساس معادله (۲) محاسبه می‌شود.

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

من و کندال نشان دادند که وقتی $n \geq 10$ باشد، آماره S تقریباً به طور نرمال توزیع شده و دارای میانگین صفر است که انحراف معیار آن بر اساس معادله (۳) می‌تواند برآورد شود.

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1) * (2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (3)$$

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}) مطابق معادله (۴) محاسبه می‌شود.

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}; & \text{if } S > 0 \\ 0; & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}; & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

در این رابطه Z_{MK} مقدار آماره آزمون من-کندال می‌باشد و مثبت یا منفی بودن Z_{MK} نشان‌دهنده تمایل داده‌ها به افزایش یا کاهش در طول زمان می‌باشد (۱۸). مقدار صفر این آماره نشان می‌دهد که داده‌ها در طول زمان فاقد روند می‌باشند. در این پژوهش آزمون من-کندال در سطح اطمینان ۹۵٪ مورد استفاده قرار گرفته است.

۳/۲ بررسی شیب تغییرات با استفاده از روش تخمینگر شیب سن:

این آزمون توسط سن (۱۹۶۸) به منظور بررسی شیب تغییرات در سری‌های زمانی ارائه شده است (۲۳) که مقدار آن مطابق معادله (۵) به دست می‌آید.

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{X_j - X_i}{j - i}\right), \forall j > i \quad (5)$$

در این رابطه β برآوردگر شیب خط روند، X_i و X_j به ترتیب مقادیر سری زمانی i ام و j ام می‌باشند. مقادیر مثبت β نشان‌دهنده شیب مثبت تغییرات (روند افزایشی در سری داده‌ها) و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده شیب منفی تغییرات (روند کاهشی در سری داده‌ها) است (۳).

نتایج و بحث:

جدول ۳ مقادیر P-value آزمون من-کندال و مقادیر شیب سن، برای متغیر دمای متوسط سالانه در ۳۳ ایستگاه منتخب در دوره‌های آماری مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در دوره اول (۱۹۹۰-۱۹۶۱)، علیرغم وجود روند افزایشی دما در برخی ایستگاه‌ها، تنها حدود نیمی از ایستگاه‌ها (۴۸٪) روند معنادار (در سطح ۹۵٪) در افزایش میانگین دمای سالانه را نشان می‌دهند. این امر حاکی از آن است که در این بازه زمانی، گرمایش هنوز به‌صورت یکنواخت در سراسر کشور گسترش نیافته و بیشتر محدود به مناطق خاصی مانند اقلیم‌های بیابانی (BWh) و نیمه‌بیابانی (BSk) بوده است. همچنین، شیب‌های برآوردشده در این دوره اغلب پایین و حتی در برخی موارد منفی بوده‌اند، که می‌تواند نشانه‌ای از پایداری نسبی شرایط دمایی در آن زمان باشد.

اما در دوره دوم (۲۰۲۰-۱۹۹۱)، نشانه‌های گرمایش اقلیمی به‌طور محسوسی تشدید یافته است. تعداد ایستگاه‌های با روند معنادار تقریباً دو برابر شده و به ۲۹ ایستگاه رسیده است، که نشان از گسترش و شدت پدیده گرمایش دارد. علاوه بر این، نرخ تغییرات سالانه دما براساس شیب سن نیز در تمامی اقلیم‌ها افزایش یافته است، به‌گونه‌ای که بیشترین شیب مثبت متعلق به اقلیم‌های BWh و Gsa به ترتیب با نرخ ۰/۰۵۴ و ۰/۰۴۶ درجه سانتی‌گراد در سال است. به عبارت دیگر در این اقلیم‌ها تقریباً در هر ۱۰ سال دما در حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در حال افزایش است و در یک دوره ۳۰ ساله میانگین دمای سالانه حدود ۱/۵ درجه سانتی‌گراد در این اقلیم‌ها افزایش یافته است این افزایش قابل توجه در نرخ گرمایش، گواهی روشن بر تغییر رژیم حرارتی کشور در دهه‌های اخیر می‌باشد و با روندهای جهانی گزارش‌شده توسط IPCC نیز سازگار است.

در تحلیل کلی یعنی دوره‌ی ۶۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۶۱) نیز، روند افزایشی دما همچنان قابل مشاهده است، اما با شدت کمتری نسبت به دوره دوم. در این بازه، ۶۱٪ ایستگاه‌ها (۲۰ مورد از ۳۳ ایستگاه) روند افزایشی معنادار (در سطح ۹۵٪) را نشان داده‌اند و در همین ۲۰ ایستگاه، مقدار شیب سن مثبت و قابل توجه بوده است. مقدار متوسط شیب سن برای کل ایستگاه‌ها در این دوره، ۰/۰۱۳ درجه سانتی‌گراد در سال برآورد شده که گرچه به‌ظاهر کوچک است، اما در مقیاس ۶۰ ساله، افزایش دمایی حدود ۰/۸ درجه سانتی‌گراد را به دنبال داشته است. این افزایش دما برای کشوری مانند ایران با اقلیم‌های عمدتاً خشک و نیمه‌خشک، پیامدهای قابل توجهی در زمینه منابع آب، کشاورزی، سلامت انسانی و پایداری زیستی به همراه خواهد داشت.

نکته مهم دیگر، تفاوت رفتاری اقلیم‌های مختلف کشور در مواجهه با گرمایش و افزایش دما است. اقلیم‌های بیابانی (BWh) و (BWk) و نیمه‌بیابانی (BSk) با بیشترین شیب دمایی و معناداری آماری، از آسیب‌پذیرترین مناطق در برابر تغییرات اقلیمی در کشور

محسوب می‌شوند. همچنین، اقلیم مدیترانه‌ای (Csa) با وجود وسعت محدود، روندهای شدید و معناداری را در افزایش دما تجربه کرده است، که نشان‌دهنده حساسیت بالای این ناحیه به تغییرات اقلیمی است. در مقابل، اقلیم‌های محدودتری مانند BSh و Dsa گرچه از نظر آماری نیز گرمایش را تجربه کرده‌اند، اما این شدت و پراکندگی نسبت به سایر اقلیم‌ها کمتر بوده و نوسانات بیشتری در تغییرات دمایی آن‌ها مشاهده می‌شود.

شکل (۲) نیز به‌خوبی روندهای مشاهده‌شده در جدول (۳) را تایید می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که در اقلیم‌های بیابانی (BWh) و (BWk) و نیمه‌بیابانی (BSk)، افزایش تدریجی در مقادیر دمای سالانه از دوره اول به دوره دوم وجود دارد؛ به‌گونه‌ای که مقادیر متوسط دما در دوره دوم، به‌وضوح بیشتر از دوره اول و حتی کل دوره است. این الگو، سازگاری قابل توجهی با شیب‌های مثبت و معنادار گزارش‌شده در جدول (۳) دارد. در اقلیم Csa نیز، روند افزایش دما کاملاً مشهود و هماهنگ با اقلیم‌های گرم و خشک است. از سوی دیگر، اقلیم‌های BSh و Dsa با وجود بروز گرمایش، نوسانات بیشتری را در تغییرات دما تجربه کرده‌اند و افزایش دما در آن‌ها از یک الگوی یکنواخت پیروی نمی‌کند. نمودار راداری نیز، تغییرات نسبی تمامی ایستگاه‌ها را به صورت هم‌زمان نشان می‌دهد که بیانگر گسترش روند افزایش دما در سطحی فراتر از مناطق محلی و در مقیاس کل کشور است.

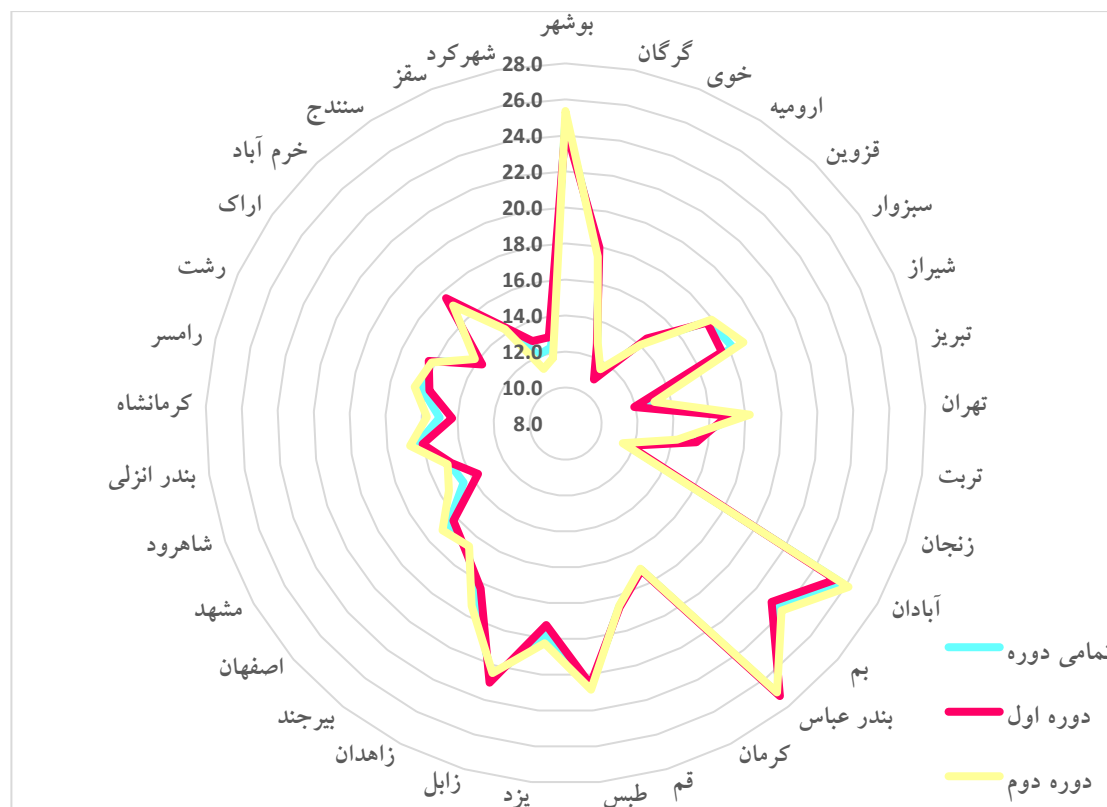
جدول ۳- نتایج آزمون من-کندال و شیب سن برای متغیر دما

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	۵	۰/۲۶۶	-۰/۰۳۰	۸	۰/۰۱۴	۰/۰۴۶	۵	۰/۰۹۱	۰/۰۱۳
BWh	۹	۶	۰/۱۶۷	-۰/۰۱۵	۹	۰/۰۰۲	۰/۰۵۴	۵	۰/۲۱۳	۰/۰۱۸
BWk	۴	۱	۰/۱۲۹	-۰/۰۱۱	۳	۰/۰۴۰	۰/۰۴۵	۲	۰/۲۰۳	۰/۰۲۲
BSh	۲	۱	۰/۰۳۸	-۰/۰۳۳	۱	۰/۰۴۴	۰/۰۳۹	۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸
Dsa	۵	۲	۰/۱۶۰	-۰/۰۶۱	۴	۰/۱۳۵	۰/۰۴۲	۳	۰/۲۴۵	-۰/۰۱۳
Csa	۴	۱	۰/۲۴۶	-۰/۰۲۲	۴	۰/۰۰۱	۰/۰۴۶	۳	۰/۲۴۱	۰/۰۲۵
تمامی اقلیم‌ها	۳۳	۱۶	۰/۱۹۰	-۰/۰۲۷	۲۹	۰/۰۳۳	۰/۰۴۷	۲۰	۰/۱۷۴	۰/۰۱۳

نتیجه‌گیری:

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ایران طی دهه‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای تحت تاثیر پدیده گرمایش جهانی قرار گرفته است. بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ۳۳ ایستگاه سینوپتیک منتخب طی بازه زمانی ۶۰ ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰) و تحلیل در دو بازه ۳۰ ساله، بیانگر افزایش معنادار دما در بیشتر ایستگاه‌ها، به‌ویژه در سه دهه اخیر است. در دوره دوم (۲۰۲۰-۱۹۹۱)، نسبت ایستگاه‌هایی که روند افزایشی دما در آن‌ها معنادار بوده، به حدود ۸۸٪ رسید، در حالی که این عدد در دوره اول تنها حدود ۴۸٪ بود. همچنین، اقلیم‌های بیابانی گرم (BWh)، نیمه‌خشک سرد (BSk) و مدیترانه‌ای با تابستان گرم (Csa) بیشترین نرخ افزایش دما را تجربه کرده‌اند.

میانگین شیب تغییرات دمای سالانه در کل دوره ۰/۱۳ درجه سانتی گراد برآورد شد که در مقیاس ۶۰ ساله معادل افزایش حدود ۰/۸ درجه سانتی گراد است. این روند، هم‌راستا با گزارش‌های جهانی نظیر IPCC بوده و حاکی از آن است که تغییرات اقلیمی نه تنها واقعیتهای انکارناپذیر، بلکه تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌ها، منابع آب، امنیت غذایی و سلامت جمعیت در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است.



شکل ۲- مقادیر میانگین دمای سالانه (°C) برای ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره‌های مختلف

منابع:

۱. زرین، آ.، داداشی رودباری، ع.، و صالح‌آبادی، ن. (۱۴۰۰). بررسی بی‌هنجاری و روند دمای ایران در پهنه‌های مختلف اقلیمی با استفاده از مدل‌های جفت‌شده پروژه مقایسه متقابل مرحله ششم (CMIP6). مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۵(۱)، ۳۵-۵۴. <https://doi.org/10.30499/ijg.2020.249997.1292>
۲. رضیعی، ط.، و میری، م. (۱۴۰۱). طبقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن - گایگر. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
۳. میرعباسی نجف‌آبادی، ر.، و دین‌پژوه، ی. (۱۳۸۹). تحلیل روند تغییرات آبدی رودخانه‌های شمال غرب ایران در سه دهه اخیر. نشریه آب و خاک، ۲۴(۴)، ۷۵۷-۷۶۸.
۴. میان‌آبادی، ع.، و داوری، ک. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات در میزان و توزیع بارش و دما در ایران و اثرات آن‌ها بر رویدادهای حدی. مجله آب و توسعه پایدار، ۱۰(۲)، ۱۳-۲۶.
۵. مساعدی، ا.، کواکبی، غ.، و عبدالله‌زاده، ز. (۱۳۹۰). آشکارسازی تغییرات اقلیمی براساس آزمون آماری من ویتنی در شهر مشهد. مجموعه مقالات کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، ۱ و ۲ آذر، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

6. Ahmed, K., Shahid, S., & Nawaz, N. (2018). Impacts of climate variability and change on seasonal drought characteristics of Pakistan. *Atmospheric Research*, 212, 208–221. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.08.020>
7. 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*.
8. Azari, M., Moradi, H. R., Saghafian, 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>
9. 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.2011.01.019>
10. 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>
11. 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>
12. Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 2069–2094.
13. Hijioka, Y., Lin, E., Pereira, J. J., Corlett, R. T., Cui, X., Insarov, G. E., ... & Surjan, A. (2014). Asia. In: Barros, V.R. et al. (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B*. Cambridge University Press, 1327–1370. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.004>
14. Huber, M., & Knutti, R. (2011). Anthropogenic and natural warming inferred from changes in Earth's energy balance. *Nature Geoscience*, 4(12), 830–834. <http://www.nature.com/doi/10.1038/ngeo1327>
15. IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
16. IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
17. Kendall, M. G. (1948). Rank correlation methods. Charles Griffin.
18. Maghrabi, A. H., & Alotaibi, R. N. (2017). Long-term variations of AOD from an AERONET station in the central Arabian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2328-x>
19. Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259.
20. 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>
21. 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>
22. Ongoma, V., Chen, H., & Gao, C. (2017). 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>
23. 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>
24. Sharafati, A., Kisi, O., & Ghorbani, M. A. (2019). Spatial assessment of meteorological drought features over different climate regions in Iran. *International Journal of Climatology*, 39(4), 2299–2314. <https://doi.org/10.1002/joc.6307>
25. Touma, D., Ashfaq, M., Nayak, M. A., Kao, S.-C., & Diffenbaugh, N. S. (2015). A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century. *Journal of Hydrology*, 526, 196–207. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.011>



The Effect of Climate Type on the Rate of Annual Mean Temperature Increase in Different Regions of Iran

AmirHossein Karimi Khalil Abad¹, Abolfazl Mosaedi^{*2}, Syyed MohammadReza Naghedifar³

Abstract:

This study investigates changes in the annual mean temperature of Iran over a 60-year period (1961–2020) with the aim of assessing the impact of climate classification on temperature rise across the country. For this purpose, temperature data from 33 synoptic stations representing different climatic zones were analyzed over two 30-year sub-periods (1961–1990 and 1991–2020) as well as the entire 60-year period. Two statistical methods, Mann-Kendall and Sen's slope estimator, were used to analyze the trend and rate of temperature change. The results revealed that in the second period, the temperature increase was statistically significant (at the 95% confidence level) in most stations, and the warming trend was more pronounced in hot desert, cold semi-arid, and Mediterranean climates compared to other climates. Overall, the average rate of change during the 60-year period was estimated at approximately 0.013°C per year, equivalent to about 0.8°C total warming during 60 years. Among the studied climate types, the hot desert climate experienced the highest warming rate of 0.054°C/year, while the warm semi-arid climate showed the lowest rate at 0.008°C/year. The widespread warming trend and variations across climate zones indicate that Iran's arid and semi-arid regions are among the most vulnerable to climate change. The findings underscore the need for long-term data-driven approaches, robust statistical analysis, and regional climate understanding in ecohydrological planning and resource management.

Keywords: Global warming, Temperature, Mann-Kendall test, Sen's slope, Iran

¹ Master's student, Water Science and Engineering, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: amirkarimi123789@gmail.com

² Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Correspondence. Email: mosaedi@um.ac.ir

³ Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: mr.naghedifar@um.ac.ir