



بررسی روند تغییرات دمایی ایران

پویا اللهویردی پور^{1*}، محمدعلی قربانی² اسماعیل اسدی³

1- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

2- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

3- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

*نویسنده مسئول: a.pouya1400@ms.tabrizu.ac.ir

خلاصه

تحقیق درباره موضوعی مانند گرمایش جهانی با توجه به تأثیرات اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و سایر جنبه‌های آن اهمیت بسیار زیادی دارد. هدف این تحقیق بررسی روند بلندمدت دمای متوسط سالانه 120 ایستگاه سینوپتیک ایران طی دوره 30 ساله (1993-2022) با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و تخمین گر شیب سن است. با توجه به نتایج آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن، روند افزایشی معنی‌دار با شیب سن 0/053 در دمای میانگین سالانه ایران مشاهده می‌شود ($P>0/05$)، به طوری که از 16 درجه سانتی‌گراد در سال 1993 با افزایش معنی‌دار 15/6 درصدی، به 18/5 درجه سانتی‌گراد در سال 2022 رسیده است.

کلمات کلیدی: ایران، تخمین گر شیب سن، تغییر اقلیم، دما، روند، من-کندال

مقدمه

متوسط وضعیت آب و هوایی در یک منطقه مشخص به عنوان اقلیم و تغییر در متوسط دمای زمین و روند افزایشی آن، با توجه به متوسط آب و هوای سراسر جهان، به عنوان تغییر اقلیم توصیف می‌شود. گرمایش جهانی به عنوان عامل اصلی تعیین کننده برای افزایش تأثیرات تغییر اقلیم در سراسر جهان شناخته شده [1] و به همین دلیل تحقیق درباره موضوعی مانند گرمایش جهانی با توجه به تأثیرات اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و سایر جنبه‌های آن اهمیت بسیار زیادی دارد. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم¹ (IPCC) در گزارش ارزیابی پنجم² (AR5) نشان داد که میانگین دمای جهانی طی دوره 1880-2012 حدود 0/85 درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است [2]. افزایش دمای متاثر از تغییر اقلیم می‌تواند بر تمام جوامع زیستی و غیرزیستی، آثار ناگوار متعددی همچون کاهش عملکرد محصولات کشاورزی، افزایش تبخیر از خاک و تفرق از گیاهان [3]، افزایش رخداد های فرین اقلیمی [4]، افزایش و بالآمدگی سطح آب اقیانوس‌ها و دریاها [5]، تغییر الگوی بارش و افزایش خطر سیل [6، 7]، زودرسی بهار در نیم کره شمالی، کاهش برف و پوشش یخی، دراز شدن

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

² Fifth Assessment Report

مدت فصل رشد گیاهان و آثار زیان‌بار دیگر در شاخص‌های زیستی و فیزیکی مرتبط با گرمایش جهانی به همراه داشته باشد [8].

در سال‌های اخیر، کاربرد نتایج تحقیقات مربوط به تحلیل دما باعث شده است تا مطالعه‌ی روند تغییرات و افت و خیزهای آن در بلندمدت به خصوص در مقیاس جهانی بسیار مورد توجه باشد. یکی از موارد پرکاربرد جهت تحلیل سری‌های زمانی به ویژه در مباحث هیدرومتئورولوژی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آنها است. روش‌های آماری زیادی برای تشخیص و ارزیابی روند در سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی پیشنهاد شده است که به طور کلی به دو دسته روش‌های پارامتری و ناپارامتری تقسیم می‌شوند. تفاوت اصلی این دو دسته در این است که در روش‌های ناپارامتری، نیاز به پیروی داده‌های مورد بررسی از یک توزیع آماری معین نیست. از جمله پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری، آزمون من-کندال¹ است که یک آزمون توصیه شده برای تعیین روند در مجموعه داده‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. با وجود اینکه روش‌های ناپارامتری این قابلیت را دارند که وجود روند در سری‌های زمانی را شناسایی کنند، اما این توانایی را ندارند که مقدار روند موجود را بصورت کمی بیان کنند (مقدار تغییرات دما و شدت افزایش دما در هر سال). با هدف کمی سازی روند و تعیین میزان روند در سری‌های زمانی، روش تخمین گر شیب سن² بکار گرفته می‌شود [9].

قهرمان [10] در تحقیقی که به منظور بررسی روند تغییرات متوسط دمای سالانه 34 ایستگاه سینوپتیک ایران به روش من-کندال و کمترین مربعات خطا در دوره 1968-1998 انجام یافت، نشان داد که در سطح معنی‌داری 5 درصد، 44 درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند صعودی، 15 درصد روند نزولی و 41 درصد بدون روند معنی‌دار می‌باشند. دل ریو و همکاران [11] در کشور اسپانیا روند دما را با استفاده از آزمون من-کندال و آمار 473 ایستگاه هواشناسی در دوره زمانی 46 سال (1961-2006) مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که درجه حرارت سالانه در تمام ایستگاه‌ها حدود 0/1 تا 0/2 درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. دلجو و همکاران [9] در حوضه دریاچه ارومیه روند تغییرات چند پارامتر هواشناسی را در مقیاس سالانه مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که در چهار دهه مورد مطالعه، بارش 9/2 درصد کاهش و متوسط بیشینه دما به میزان 0/8 درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. امیررضاییه و همکاران [12] به بررسی روند تغییرات دما و بارش شمال غرب ایران در دوره 1961-2010 با استفاده از آمار 10 ایستگاه سینوپتیک و روش ناپارامتری من-کندال پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که در مقیاس سالانه 60 درصد ایستگاه‌ها روند افزایشی معنی‌دار دما را تجربه کرده‌اند و به طور کلی در 50 سال گذشته دما 1/2 درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش 88/9 میلی‌متر کاهش یافته است. شرفی و میرکریم [13] در بررسی روند دمای متوسط و بارش سالانه ایران که با استفاده از آمار هواشناسی 47 ایستگاه سینوپتیک در دوره زمانی 66 سال (1951-2017) انجام شد، نشان دادند که پارامتر دما در 89 درصد از ایستگاه‌ها (42 ایستگاه) دارای روند صعودی و در 11 درصد ایستگاه‌ها (5 ایستگاه) دارای روند نزولی بوده است.

با توجه به متفاوت بودن روند درجه حرارت در نقاط مختلف جهان و به جهت نیاز به مطالعه جامع تغییرات روند دمای ایران، هدف این تحقیق بررسی روند دراز مدت درجه حرارت میانگین سالانه با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و تخمین گر شیب سن در ایستگاه‌های سینوپتیک ایران است.

¹ Mann-Kendall

² Sen's Estimator

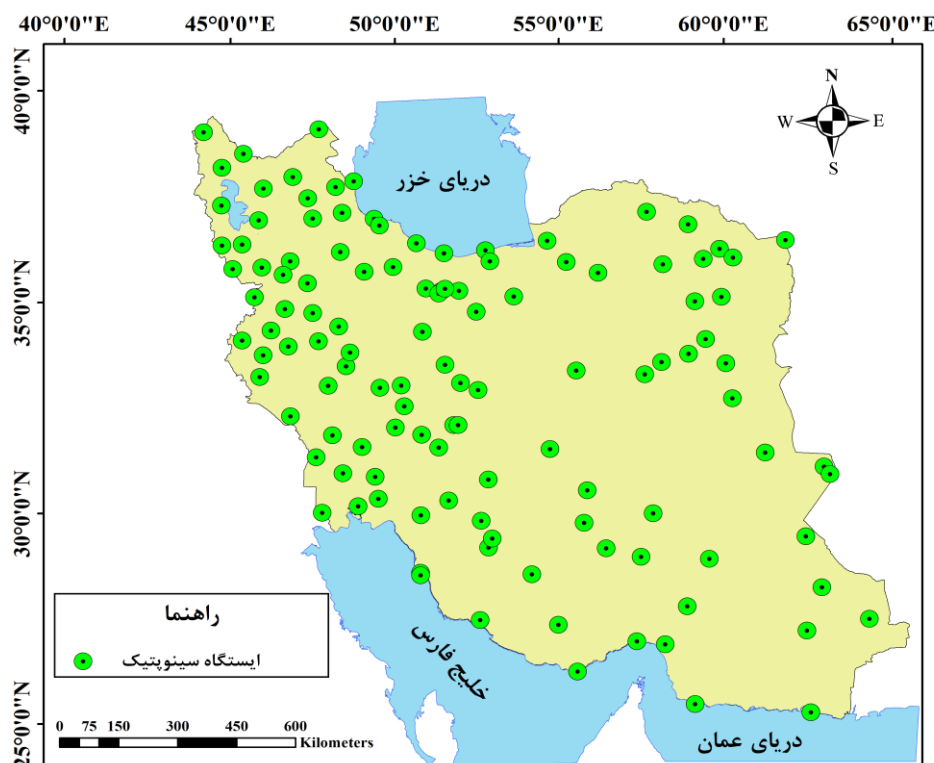
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

ایران با مساحت 1/648 میلیون کیلومترمربع در موقعیت 25 تا 40 درجه عرض شمالی و 45 تا 63 درجه طول شرقی قرار دارد. اختلاف زیاد در عرض جغرافیایی، که بین شمالی‌ترین و جنوبی‌ترین نقطه آن وجود دارد و همچنین وجود پستی و بلندی‌ها و رشته کوه‌ها و دشت‌های زیاد در گستره ایران، سبب وجود اختلاف زیاد در میزان دما و بارش در نقاط مختلف و پراکندگی نامتوازن آن‌ها شده است. متوسط دمای میانگین سالانه ایستگاهی در ایران 17/58 درجه سانتی‌گراد، متوسط کمینه و بیشینه دمای سالانه ایستگاهی نیز به ترتیب 10/97 و 24/20 درجه سانتی‌گراد است. همچنین متوسط بارش بلندمدت سالانه ایستگاهی در ایران 329 میلی‌متر می‌باشد.

در این تحقیق از آمار دمای روزانه 120 ایستگاه سینوپتیک در گستره جغرافیایی کشور ایران در دوره زمانی 30 سال (1993-2022) استفاده شده است.

شکل 1 موقعیت و پراکندگی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در ایران را نشان می‌دهد.



شکل 1- موقعیت و پراکندگی ایستگاه‌های سینوپتیک در ایران

تحلیل روند با آزمون من-کندال

هدف از آزمون روند این است که وجود یا عدم وجود سیر صعودی یا نزولی در سری داده‌ها مشخص گردد. با توجه به اینکه در روش‌های پارامتری فرضیات اولیه‌ای مانند نرمال بودن، ایستایی و مستقل بودن متغیرها وجود دارد و این فرضیات اغلب برای متغیرهای هیدرولوژیکی معتبر نیستند، روش ناپارامتری من-کندال که کاربرد بیشتری در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی دارد، را میتوان بکار برد. همچنین روش‌های ناپارامتری نسبت به روش‌های پارامتری جهت بررسی روند،

حساسیت کمتری به مقادیر حدی دارند و نیز آزمون ناپارامتری را می‌توان برای سری‌های زمانی، بدون در نظر گرفتن خطی یا غیرخطی بودن روند داده‌ها استفاده کرد [12]. در آزمون روند من-کندال که یک روش ناپارامتریک است، روند تغییرات داده‌ها ارزیابی می‌شود. قابل ذکر است فرض صفر به معنی عدم وجود روند و فرض یک دارای روند بودن داده‌ها هستند [14].

اگر تعداد داده‌های سری زمانی در دوره مورد بررسی را n در نظر بگیریم، آماره S طبق رابطه 1 قابل محاسبه است:

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

که در آن، x_j و x_k مقدار داده j ام و k ام و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت است که به صورت رابطه 2 تعریف می‌شود:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

در ادامه $\text{Var}(s)$ (واریانس) آن طبق رابطه 3 محاسبه می‌شود:

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^P t_i(t_i-1)(2t_i-5)}{18} \quad (3)$$

در این رابطه، t_i تعداد داده‌های دسته i ام و P تعداد گروه‌های یکسان است.

در نهایت آماره آزمون من-کندال یا Z_S به صورت رابطه 4 محاسبه می‌شود:

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

مقدار مثبت Z_S به معنی روند صعودی و مقدار منفی آن نشان‌دهنده روند نزولی در داده‌ها است. همچنین α سطح معنی‌داری است که برای این آزمون در نظر گرفته می‌شود. فرض صفر (H_0) یعنی عدم وجود روند به شرط $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{1-\alpha/2}$ پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، H_0 رد و فرض مخالف آن یعنی وجود روند تایید می‌شود [15].

شیب خط روند با روش تخمین گر سن

روش تخمین گر سن که یک روش ناپارامتری برای محاسبه شیب روند است، از رابطه 5 محاسبه می‌شود:

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{x_j - x_i}{j - i} \right] \quad (j > i) \quad (5)$$

در این رابطه پارامتر β برآوردگر شیب خط روند و x_i و x_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام می‌باشند. مقدار

مثبت β نشان‌دهنده روند افزایشی و مقدار منفی آن نشان‌دهنده روند کاهشی در سری داده‌ها است [15].

نتایج و بحث

در جدول 1 نتایج آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن مربوط به پارامتر دمای میانگین سالانه ایران در دوره زمانی 30 ساله (1993-2022) آمده است.

با استفاده از روش من-کندال، وجود روند در سری‌های زمانی هیدروکلیماتولوژی در منطقه مورد مطالعه تعیین گردید اما این روش قادر به کمی‌سازی مقدار روند نمی باشد (مقدار تغییرات دما و شدت آن). برای این منظور میتوان از روش ناپارامتری شیب سن استفاده نمود. نتایج تحلیل و تایید روند با استفاده از روش تخمین گر شیب سن برای ایران انجام شد. با استفاده از روش تخمین گر سن، تحلیل کاهشی و افزایش بودن روند تغییرات مشخص و نتایج در جدول 1 ارائه شده است.

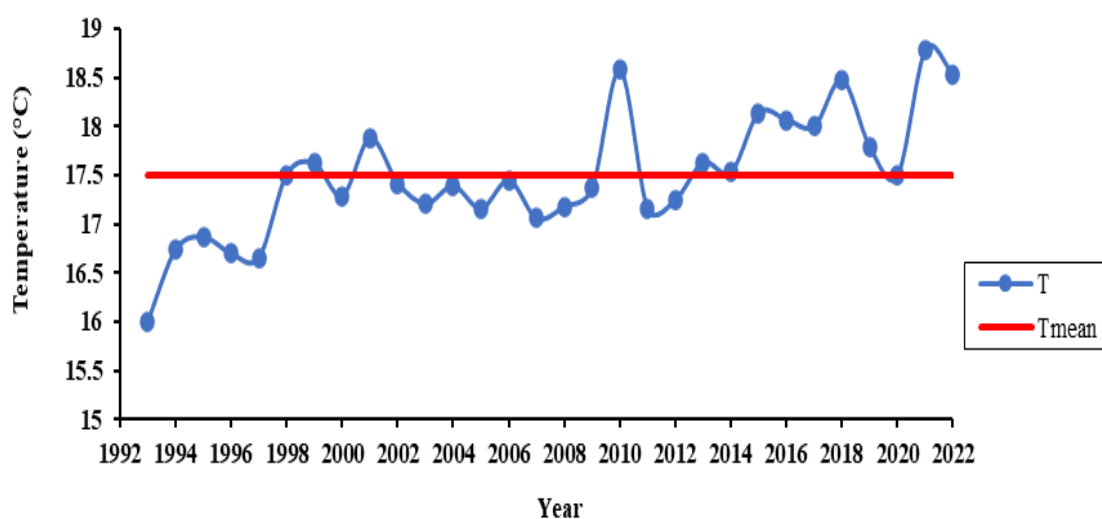
طبق جدول 1 مشاهده میشود که دمای میانگین سالانه ایران دارای روند صعودی با آماره Z من-کندال 4/01 است. همچنین مطابق این جدول مشاهده میشود که دمای میانگین سالانه ایران دارای روند صعودی با شیب سن 0/053 می باشد. این امر نشان از افزایش قابل توجه دمای ایران است که با توجه به چالش‌های زیست محیطی آن، لزوم توجه به پدیده تغییر اقلیم را بیش از پیش نمایان می سازد.

جدول 1- مقدار Z من-کندال مربوط به پارامتر دمای میانگین سالانه ایران در دوره 1993-2022

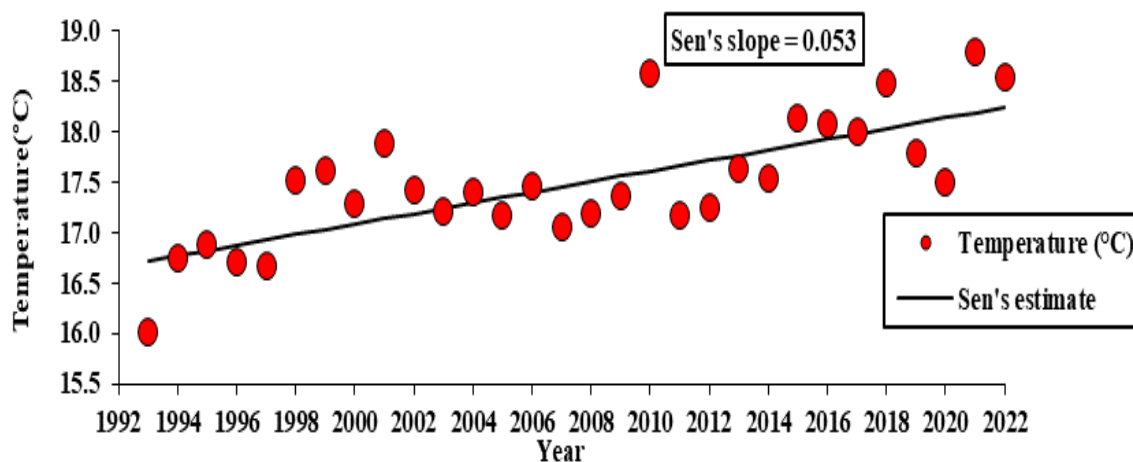
آماره Z	سطح معنی داری	شیب سن
4/01	*	0/053

علامت * نشان دهنده سطح معنی داری 5 درصد است.

در شکل 2 سری زمانی دمای میانگین سالانه ایران در دوره 1993-2022 در مقایسه با متوسط دمای میانگین 30 ساله رسم شده است. شکل 3 نیز نمودار شیب سن دمای میانگین سالانه ایران در این دوره را نشان می دهد. همان طور که در شکل 2 مشاهده می شود، متوسط دمای میانگین سالانه ایران طی دوره 30 ساله گذشته، 17/5 درجه سانتی گراد بوده است. مطابق این شکل دمای میانگین سالانه ایران از 16 درجه سانتی گراد در سال 1993 به حدود 18/5 درجه سانتی گراد در سال 2022 افزایش یافته است، که این امر اثر تغییر اقلیم را به وضوح نشان می دهد. همچنین با توجه به نمودار شیب سن در شکل 3، روند صعودی معنی دار با شیب سن 0/053 در دمای میانگین سالانه ایران مشاهده می شود.

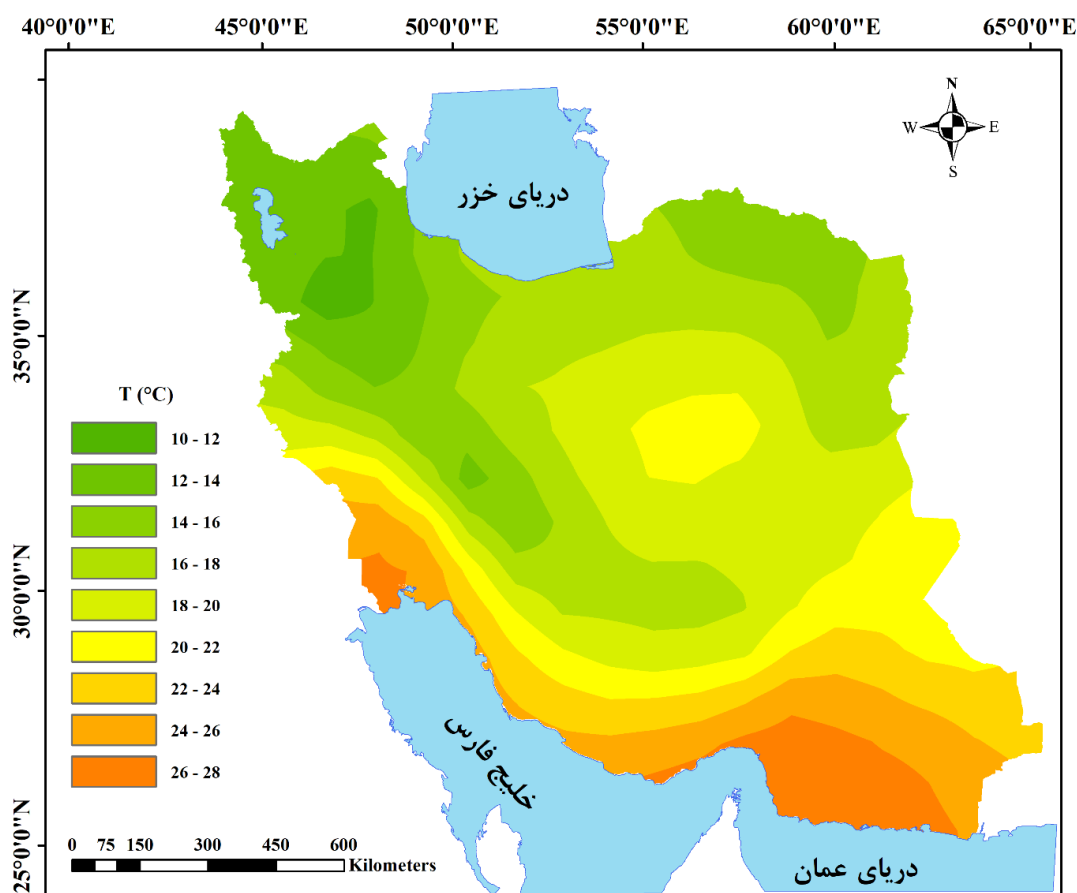


شکل 2- سری زمانی دمای میانگین سالانه ایران در دوره 1993-2022 در مقایسه با متوسط 30 سال



شکل 3- نمودار شیب سن دمای میانگین سالانه ایران در دوره 1993-2022

شکل 4 پهنه‌بندی دمای میانگین سالانه ایران در دوره آماری 1993-2022 را نشان می‌دهد.



شکل 4- پهنه‌بندی دمای میانگین سالانه ایران در دوره 1993 تا 2022



با توجه به شکل 4 مشاهده می‌شود که مناطق مختلف ایران در دوره آماری 1993 تا 2022 محدوده‌های دمایی بسیار متفاوتی داشته‌اند. در میزان دمای شمالی‌ترین نواحی ایران تا جنوبی‌ترین نواحی، اختلاف بسیار زیادی مشاهده می‌شود و این امر نشان از تنوع شرایط آب و هوایی ایران است. کمینه میانگین دما با حدود 10-12 درجه سانتی‌گراد در مناطقی از شمال غرب کشور و همچنین نواحی اطراف رشته کوه‌های زاگرس در غرب مشاهده می‌شود و بیشینه دما مربوط به مناطق جنوبی و سواحل دریای عمان و خلیج فارس است که محدوده دمایی 26-28 درجه سانتی‌گراد داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

با توجه به این که دما یکی از اصلی‌ترین و محسوس‌ترین پارامترهای اقلیمی است و ارتباط بسیار تنگاتنگی با سایر عناصر اقلیمی دارد و تغییرات آن تحت هر شرایطی، عامل سلسله واکنش‌های پشت سر هم و زنجیروار زیست‌محیطی است، فلذا یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در بحث تغییر اقلیم، بررسی روند تغییرات دما می‌باشد. در این پژوهش ابتدا با استفاده از روش ناپارامتری آزمون من-کندال، وجود یا عدم وجود روند و تغییرات دمای میانگین سالانه ایران بررسی شده و سپس با استفاده از تخمین‌گر شیب سن، میزان روند تغییرات محاسبه شد. مطابق نتایج به دست آمده از آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن، روند افزایشی معنی‌دار با شیب سن 0/053 در دمای میانگین سالانه ایران مشاهده می‌شود. نتایج این تحقیق حاکی از روند افزایشی معنی‌داری در دمای میانگین سالانه ایران است. بنابراین با توجه به تأثیرات پارامتر دما بر شرایط زیست محیطی، اجتماعی، اقتصادی و همه جوانب زندگی انسانی، ضروری است به این موضوع توجه لازم صورت گیرد تا مدیریت ریسک و اتخاذ تصمیمات آینده‌نگرانه با دقت و برنامه‌ریزی آگاهانه انجام شود.

منابع

1. Su, B. Huang, J. Mondal, S.K. Zhai, J. Wang, Y. Wen, S. Gao, M. Lv, Y. Jiang, S. Jiang, T. and Li, A. (2021), "Insight from CMIP6 SSP-RCP scenarios for future drought characteristics in China", Atmospheric Research, 250, p.105375.
2. Hoegh-Guldberg, O. Jacob, D. Bindi, M. Brown, S. Camilloni, I. Diedhiou, A. Djalante, R. Ebi, K. Engelbrecht, F. Guiot, J. and Hijioka, Y. (2018), "Impacts of 1.5 C global warming on natural and human systems", Global warming of 1.5° C.
3. Cline, W. R. (2008). "Global warming and agriculture", Finance and Development, 45(1), pp. 23.
4. Reidmiller, D.R. Avery, C.W. Easterling, D.R. Kunkel, K.E. Lewis, K.L.M. Maycock, T.K. and Stewart, B.C. (2018). Fourth national climate assessment, Volume II: Impacts, risks, and adaptation in the United States. Washington, DC, US Global Change Research Program.
5. Nerem, R.S. Beckley, B.D. Fasullo, J.T. Hamlington, B.D. Masters, D. and Mitchum, G.T. (2018). "Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era", Proceedings of the national academy of sciences, 115(9), pp. 2022-2025.
6. Salzmann, M. (2016). "Global warming without global mean precipitation increases?", Science Advances, 2(6), e1501572.
7. Tabari, H. (2020). "Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability", Scientific Reports, 10(1), pp. 13768.



8. Rosenzweig, C. Karoly, D. Vicarelli, M. Neofotis, P. Wu, Q. Casassa, G. Menzel, A. Root, T.L. Estrella, N. Seguin, B. and Tryjanowski, P. (2008). "Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change", *Nature*, 453(7193), pp. 353-357.
9. Delju, A.H. Ceylan, A. Piguet, E. and Rebetez, M. (2013). "Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran", *Theoretical and applied climatology*, 111, pp. 285-296.
10. Ghahraman, B. (2006). "Time trend in the mean annual temperature of Iran", *Turkish journal of agriculture and forestry*, 30(6), pp. 439-448.
11. Del Río, S. Herrero, L. Pinto-Gomes, C. and Penas, A. (2011). "Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961–2006", *Global and Planetary change*, 78(1-2), pp. 65-75.
12. امیررضاییه، ع. پرهت، ج. و احمدی، ف. (1395)، "بررسی روند تغییرات بارش و دمای شمال غرب کشور در نیم قرن اخیر"، *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، 10(6)، 797-809.
13. Sharafi, S. and Mir Karim, N. (2020). "Investigating trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran", *Arabian Journal of Geosciences*, 13(6), pp. 1-11.
14. اللهویردی پور، پ. و ستاری، م.ت. (1402)، "مقایسه عملکرد روش کلاسیک رگرسیون خطی چندگانه و روش‌های داده‌کاوی نوین در مدل‌سازی بارش سالانه (مطالعه موردی: شهر اهواز)" *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، 3(2)، 142-125.
15. Singla, C. Aggarwal, R. Kaur, S. and SHARMA, R. (2023). "Analysis of meteorological parameter changes using Mann-Kendall statistical tests in Indian Punjab", *MAUSAM*, 74(1), pp. 207-213.