

بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای دمای در پهنه ایران

مرتضی میری^{۱*} مجتبی رحیمی^۲

^۱ دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر

^۲ دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

چکیده

هدف این تحقیق بررسی روند دمای ایران در مقیاس‌های زمانی سال، فصل و ماه است. بدین منظور داده‌های میانگین حداقل، متوسط و حداکثر دما، برای ۳۸ ایستگاه همدید کشور با پراکنش مناسب طی دوره ۵۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۶۰)، از سازمان هواشناسی کشور دریافت و روند پارامترهای دمایی توسط آزمون ناپارمتریک من کندال بررسی گردید. نتایج تحقیق نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها روند کلی دما در مقیاس‌های مختلف زمانی افزایشی است که شدت آن از حداقل دما به حداکثر دما کاهش می‌یابد. در مقیاس ماهانه، ژوئن و جولای و در مقیاس فصلی تابستان افزایش دمای بیشتری دارند. هرچند برای پارامترهای حداکثر و متوسط دما، فراوانی ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی در زمستان بیشتر است اما برای تعداد کمی از ایستگاه‌ها معناداری مشاهده گردید. در حالیکه در فصول گرم سال بویژه تابستان، فراوانی ایستگاه‌های داری روند مثبت معنادار بیشتر است. از نظر مکانی نیز ایستگاه‌های واقع در دامنه‌های رشته کوه البرز، جنوب غرب و جنوب شرق ایران افزایش دمای بیشتری را نسبت به سایر نواحی کشور تجربه کرده‌اند و در ایستگاه‌هایی نظیر شهر کرد، ارومیه، خرم‌آباد و بندر عباس روند پارامترهای دما در مقیاس‌های مختلف زمانی عمدتاً کاهشی است.

کلید واژه‌ها: دمای کمینه، دمای بیشینه، متوسط دما، تغییر پذیری، معناداری

مقدمه

اقلیم کره زمین به طور قابل توجهی در صد سال اخیر تغییر کرده است (Zarenistanak et al., 2014, 281). با توجه به افزایش سرعت تغییر اقلیم جهانی و اثرات فراوان آن، مقالات متعددی به شناسایی و آشکارسازی روند داده‌های آب و هوایی پرداخته‌اند و گرمایش جهانی در مطالعات متعددی در مقیاس ناحیه‌ای، قاره‌ای و جهانی تأیید شده است (Horton 1995, Jones et al., 1999 and 2003). میانگین دمای جهان طی قرن بیستم حدود ۰,۷۴ درجه

* نویسنده عهده دار مکاتبات:

سانتی‌گراد افزایش داشته است و بدون اقدامات بیشتر برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، متوسط دمای سطح جهانی احتمالاً ۱٫۸-۴ درجه سانتی‌گراد در طول این قرن افزایش می‌یابد و می‌تواند در بدترین حالت به ۶٫۴ درجه سانتی‌گراد نیز برسد (IPCC, 2007). بیشترین گرمایش طی دو دوره ۱۹۲۰-۱۹۴۰ و ۱۹۷۵ تا کنون رخ داده است و طی دوره دوم، گرمایش نمیکره شمالی بیش از دو برابر نیمکره جنوبی بوده است (croitoru et al., 2012, 393). با این وجود توزیع زمانی و مکانی گرم شدن کره زمین یکنواخت نیست و نرخ گرم شدن برخی مناطق بیش از سایر مناطق است در حالیکه برخی مناطق حتی سرد شده یا شواهدی از تغییر را نشان نمی‌دهند (siddik and rahman, 2014, 721). تغییرپذیری دما به شدت فرآیندهای هیدرولوژیکی و محیط زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهد. درک و توانایی پیش‌بینی تغییرپذیری مکانی و زمانی دما در مقیاس جهانی و محلی کاری چالش برانگیز است (Sayemuzzaman et al., 2014, 1). در طی چند دهه گذشته مطالعات تغییر پذیری و روند درجه حرارت هوا افزایش قابل توجهی داشته است. (Degaetano and Allen, 2002) روند حدی دما در ایالات متحده را بررسی کردند و افزایش قابل توجهی را در دماهای حدی حداکثر و حداقل بویژه در مکان‌های شهری طی دوره ۱۹۵۰-۱۹۶۰ بدست آوردند. (wang et al., 2009) روندهای فصلی و ناحیه‌ای اقلیم در ایالات متحده طی دوره ۱۹۵۰-۲۰۰۰ را بررسی و نتیجه گرفتند میانگین دمای سطح زمین در فصل‌های زمستان، بهار و اوایل تابستان گرم و در اواخر تابستان و پاییز سرد شده است. (Yan et al., 2002) به بررسی روند دماهای حدی در اروپا و چین پرداختند و موفق به شناسایی سه دوره تغییر در روند دما شدند: کاهش دماهای حدی گرم قبل از اواخر قرن ۱۹، کاهش دماهای حدی سرد بعد از آن و افزایش دماهای حدی گرم از دهه ۱۹۶۰. (subash and sikka, 2014) نشان دادند حداکثر دما در هند ۰٫۷۸ درجه سانتی‌گراد در ۱۰۰ سال افزایش یافته است و روند حداکثر دما در همه ماه‌ها و فصل‌ها بویژه در فوریه و ژولای تا دسامبر افزایشی بوده است در حالی که حداقل دما ۰٫۲۶ درجه سانتی‌گراد در ۱۰۰ سال افزایش یافته و روند حداقل دما در همه ماه‌ها و فصل‌ها به جز فصل موسمی (ژوئن و ژولای) افزایشی بوده است.

تحلیل‌های اقلیمی در سطح جهانی و قاره‌ای برای درک تغییر پدیده‌های بزرگ مقیاس بسیار مفید می‌باشند، اما برای برنامه‌ریزی در مقیاس محلی و ناحیه‌ای سودمندی کمتری دارند. ممکن است در مقیاس جهانی تغییری در اقلیم رخ دهد که بازتاب آن در مقیاس ناحیه‌ای و محلی متفاوت باشد (Sayemuzzaman et al., 2014, 1). تغییرپذیری اقلیم در مقیاس منطقه‌ای می‌تواند بسیار بزرگ‌تر باشد و ممکن است تغییرپذیری مکانی و زمانی قابل ملاحظه‌ای بین نواحی مختلف اقلیمی وجود داشته باشد (Zarenistanak et al., 2014, 281). بنابراین تحلیل تغییرپذیری اقلیم در مقیاس محلی بویژه در نواحی‌ای که الگوهای هوا پیچیده و شرایط اقلیمی متنوع می‌باشد مثل ایران ضروری است. تحلیل روند بلند مدت دما در مقیاس کوچک‌تر با استفاده از روش‌های مختلف آماری در بسیاری از مناطق جهان انجام شده است. (EINaser et al., 2010) با استفاده از روش من کندانال و سن استیمیتور روند دمای عربستان را مطالعه کردند. نتایج نشان داد روند دما در ۹ ماه از سال به جز نوامبر تا ژانویه افزایشی است و قابل توجه‌ترین روند افزایشی دما در تابستان و در نواحی مرکزی عربستان مشاهده می‌شود. (Kenawy et al., 2012) به بررسی تغییرپذیری و روند دمای شمال اسپانیا با استفاده از آزمون ناپارامتریک اسپیرمن پرداختند و نشان دادند روند پارامترهای دما از ۱۹۶۰ افزایش معناداری دارند. در مقیاس فصلی ضعیف‌ترین روندها در پاییز و بیشترین روند

افزایشی در تابستان و بهار مشاهده شده است. (Guo and Xia, 2014) روند میانگین دمای سالانه حوضه بالخاش قزاقستان را با استفاده از روش‌های من کندال و سن بررسی کردند. نتایج نشان داد میانگین سالانه دما از دهه ۱۹۷۰ روند افزایشی پیدا کرده و دامنه تغییرات آن ۰,۰۱۹ تا ۰,۰۲۹ درجه در سال است. همچنین می‌توان به (Sansigolo and Kayano, 2010 در برزیل)، (Turkes and sumer, 2004 در ترکیه)، (Mohsin and Gough, 2010 در تورنتو)، (Feidas et al., 2004 در یونان) اشاره کرد. در ایران نیز تحقیقاتی در ارتباط با روند و تغییر پذیری دما صورت گرفته است از جمله: (Marofi and et al., 2012) روند پارامترهای دما در حوضه آبریز کارون- دز را با روش‌های رگرسیون خطی و من کندال مطالعه کردند. نتایج بیانگر روند افزایشی میانگین و حداقل دما و روند کاهشی حداکثر دما در اکثر ایستگاه‌ها بود. (Tabari and Talaei, 2011) روند دمای حداکثر و حداقل نیمه غربی ایران طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۰۵ را با روش‌های رگرسیون خطی، من کندال و سن استیمیتور بررسی کردند. نتایج نشان داد روند حداقل و حداکثر دمای سالانه در ۸۵ درصد ایستگاه‌ها افزایشی و در ۱۵ درصد کاهشی است. بیشترین افزایش دمای حداکثر و حداقل به ترتیب متعلق به کرمانشاه و اهواز می‌باشد. بیشترین روند معناداری دما در فصل تابستان بویژه ماه آگوست مشاهده شده است. کوثری و همکاران (۱۳۸۷) تغییر پذیری عناصر اقلیمی ایران طی دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۵ را بررسی نمودند. نتایج نشان دهنده تغییرات دمایی در اکثر ایستگاه‌های واقع در مرکز، شرق و شمال کشور است و روند افزایشی دمای کمینه بیش از دمای بیشینه است. عزیزی و همکاران (۱۳۸۳) روند میانگین دمای سالانه کشور را در ارتباط با تغییرات دی اکسید کربن جو با روش من کندال بررسی و نتیجه گرفتند که دمای سالانه در اکثر ایستگاه‌های کشور به جز سواحل جنوب غربی خزر روند افزایشی دارد. سبزی پرور و همکاران (۱۳۹۲) روند دمای ایستگاه‌های نواحی خشک و نیمه خشک کشور را بررسی کردند. نتایج گویای افزایش روند پارامترهای دما بویژه کمینه دما می‌باشد. بنفشه و همکاران (۱۳۹۰) روند روزانه دمای حدی در حوضه دریاچه ارومیه مطالعه و بیان کردند تعداد روزهای تابستان و شب‌های گرم به طور معنا داری افزایش و تعداد روزهای سرد و شب‌های سرد به طور معنا داری کاهش یافته است.

تحت گرمایش جهانی، تغییر اقلیم به طور قابل توجهی بر محیط زیست، منابع آب، تولیدات صنعتی، فعالیت‌های کشاورزی و زندگی انسان اثر می‌گذارد و این اثرات به ویژه در مناطق خشک مثل ایران شدیدتر می‌باشد. همچنین تنوع و پیچیدگی اقلیم ایران، ضرورت بررسی دقیق تغییرات پارامترهای دمایی کشور در مقیاس‌های زمانی مختلف را برای برنامه‌ریزی مناسب محیطی دو چندان کرده است.

مواد و روش‌ها

برای انجام تحقیق حاضر ابتدا پارامترهای دمایی ایستگاه‌های سینوپتیک ۳۸ ایستگاه از آرشیو سازمان هواشناسی تهیه دریافت شد (شکل ۱). انتخاب این تعداد ایستگاه با هدف طول دوره آماری مشترک و طولانی مدت است. پارامترهای دمایی مورد استفاده شامل: حداقل دما، متوسط و حداکثر دما می‌باشد. در ادامه با استفاده از نرم افزارهای آماری داده‌هایی دمایی در در مقیاس‌های زمانی سال، فصل و ماه پردازش شد. قبل از محاسبه روند تغییرات داده‌ها،

همگنی آنها طی دوره مورد مطالعه با استفاده از آزمون ناپارامتری ران تست بررسی گردید. در نهایت برای محاسبه روند پارامترهای دما از آماره من کندال (Mann-kendall) استفاده شد.

روش من کندال

آزمون من کندال آزمون ناپارامتری غیر رتبه‌ای است که توسط من و کندال ارائه شده و برای تعیین معنی داری روندهای خطی و غیر خطی مناسب می‌باشد (mann, 1945 and kendall, 1975) نقل از سبزی پور و شادمانی (۱۳۹۰، ۸۲۶). این روش به طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند و اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند، اشاره نمود (طالبی و همکاران ۱۳۹۰). در این آزمون اگر X_1, x_2, \dots, x_n مشاهدات مورد نظر باشند، آنگاه داریم:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_i - x_k) \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. با فرض اینکه داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند، میانگین و واریانس S از روابط (۳) و (۴) بدست می‌آید:

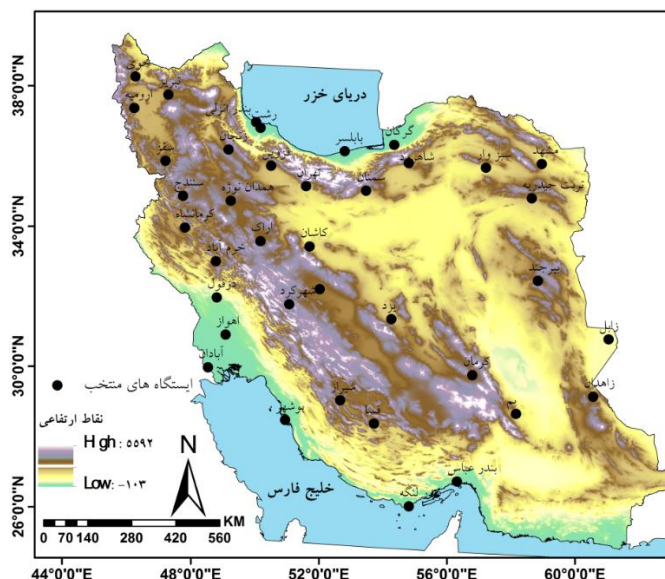
$$E(S) = 0 \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad \text{رابطه ۴:}$$

در رابطه بالا n : تعداد داده‌ها، m : تعداد گره‌ها و t : تعداد داده‌ها در هر گره می‌باشد. آماره این آزمون (Z) دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه (۵) بدست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۵:}$$

این آزمون، یک آزمون دو طرفه است. بنابراین در صورتی که $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر اینصورت فرض صفر رد خواهد شد. در صورتی که $S > 0$ باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی)، و در صورتی که $S < 0$ باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود (مدرسی و همکاران، ۱۳۸۹، ۴۷۸).



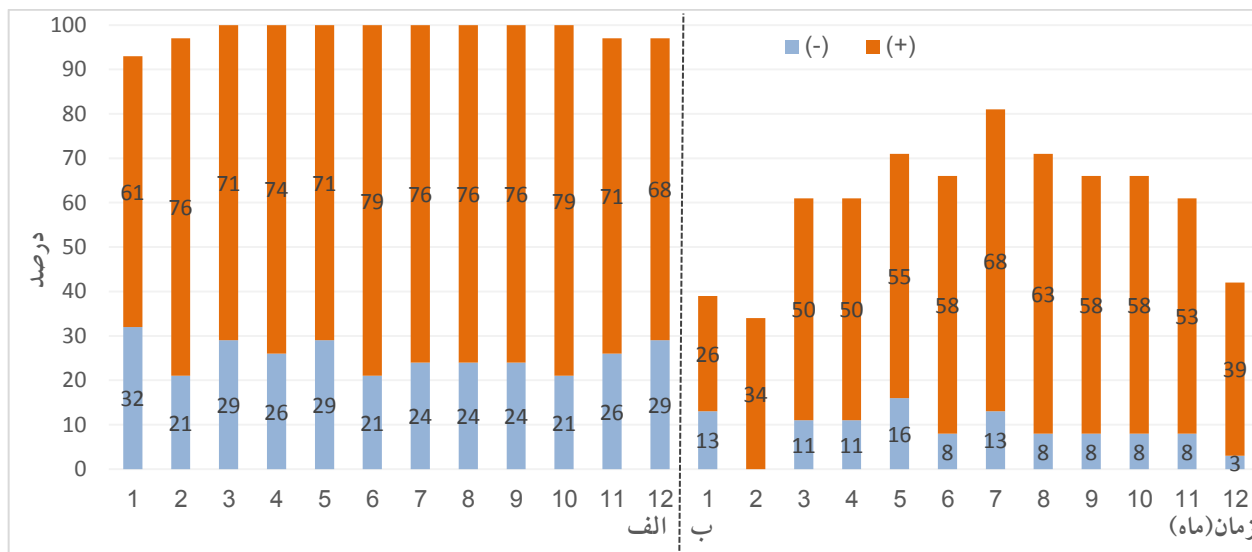
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

بحث و یافته‌ها

روند پارامترهای مختلف دمایی (حداکثر، حداقل، میانگین) در سه بازه زمانی (ماهانه، فصلی، سالانه) با استفاده از آزمون ناپارامتریک من کندال برای ۳۸ ایستگاه سینوپتیک در ایران بررسی گردید که نتایج به دست آمده در ادامه ذکر می‌گردد.

حداقل دما

شکل (۲) نتایج آزمون من کندال را برای میانگین ماهانه حداقل دما نشان می‌دهد. در یک دید کلی روند حداقل دما در اکثر ایستگاه‌ها و ماه‌ها افزایشی (مثبت) است. میانگین نمرات آزمون Z در جولای به بیشترین مقدار (۲,۵۵) و در ژانویه به کمترین مقدار (۵۹) می‌رسد. بیشترین فراوانی روند کاهشی در ژانویه اکتبر و افزایشی در ژوئن مشاهده می‌شود. با این حال فراوانی موارد مثبت معنادار در جولای و آگوست و موارد منفی معنادار در می بیش از سایر ماه‌ها است. کمترین روندهای منفی معنا دار نیز متعلق به ماه‌های فوریه و دسامبر می‌باشد. بالاترین و پایین‌ترین نمره Z در اهواز و ماه ژوئن با نمره ۷ و ارومیه در ماه سپتامبر با نمره ۴,۳- به دست آمد. از نظر مکانی، روند دما در ایستگاه‌های ارومیه، فسا و خرم‌آباد در تمامی ماه‌ها منفی است، که این روند کاهشی در ارومیه و فسا در ماه‌های گرم سال و در خرم‌آباد در ماه‌های سرد سال چشمگیرتر است. همچنین در بندر عباس (به جز می)، سقز (به جز فوریه)، بیرجند (به جز ژوئن) و شهر کرد (به جز ژانویه و فوریه) روند منفی دما در بیشتر ماه‌ها مشاهده می‌شود. در سایر ایستگاه‌ها روند حداقل دما در بیشتر ماه‌های سال افزایشی است که این وضعیت برای ایستگاه‌های بندر لنگه، تهران، بوشهر و اهواز چشمگیرتر است.

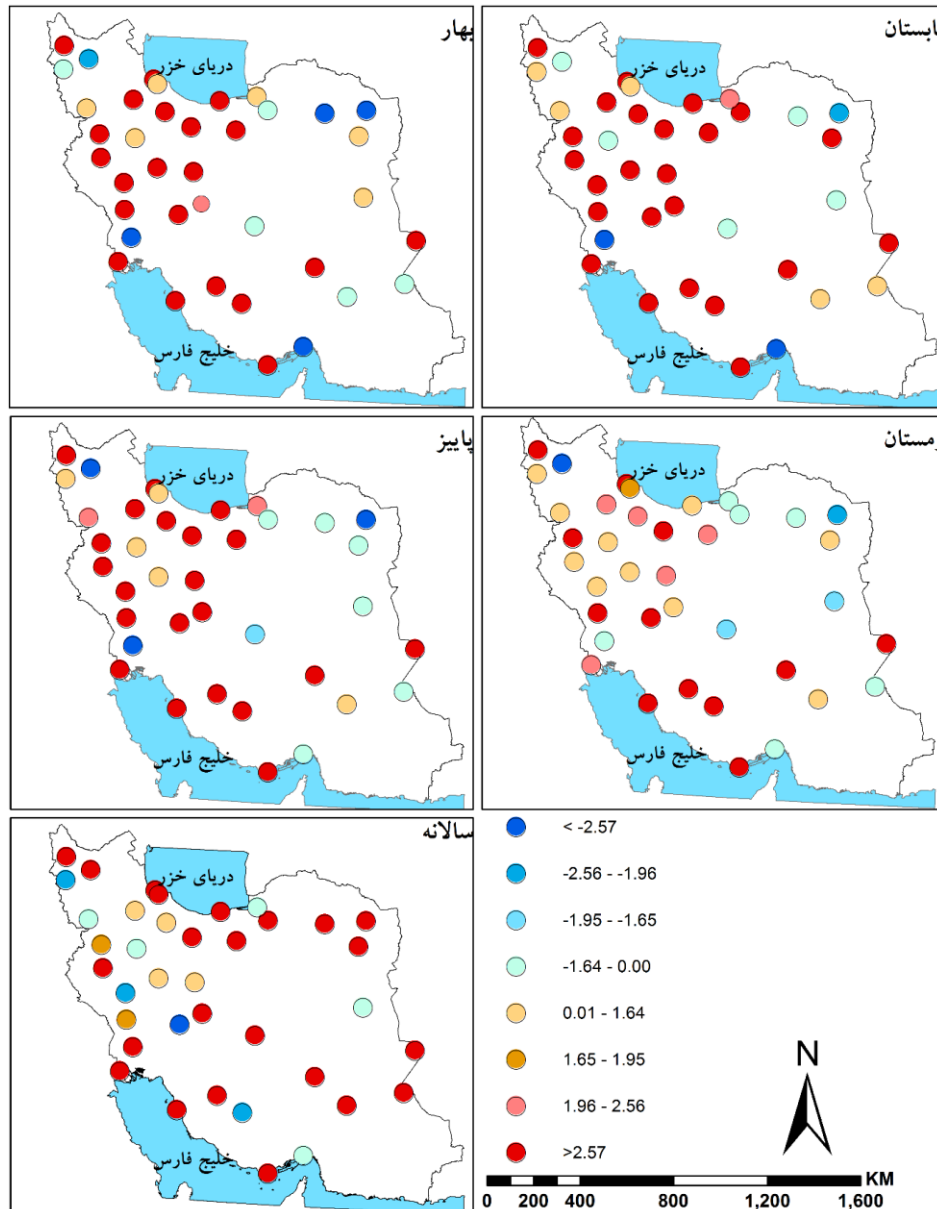


شکل ۲: الف؛ درصد فراوانی ایستگاه‌ها با روند منفی (تن آبی) و مثبت (قرمز) ب؛ درصد فراوانی معناداری (سطح ۹۰ درصد و بیشتر) روند مثبت (قرمز) و منفی (آبی) حاصل از آزمون من کندال برای حداقل دما طی دوره ۱۹۶۰-۲۰۱۰

شکل (۳) روند تغییرات مکانی و زمانی حداقل دما را در مقیاس‌های فصل و سال طی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. روند این پارامتر در فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب برای ۷۴، ۷۹، ۷۴ و ۷۴ درصد ایستگاه‌ها و در مقیاس سالانه برای ۷۷ درصد ایستگاه‌ها مثبت است. بیشترین روند کاهشی حداقل دما با ۲۶ درصد در بهار و سپس در زمستان و پاییز مشاهده می‌شود. درصد ایستگاه‌های با روند مثبت معنی‌دار طی زمستان، بهار، تابستان، پاییز و در دوره سالانه به ترتیب ۴۵، ۵۸، ۶۶، ۶۱ و ۶۱ درصد است. به همین ترتیب درصد ایستگاه‌های با روند منفی معنادار ۵، ۱۳، ۸، ۸ و ۱۱ درصد است. مقایسه وضعیت ایستگاه‌های دارای روند مثبت با ایستگاه‌های دارای روند مثبت معنی‌دار نشان می‌دهد گذشته از افزایش دمای قابل توجه در فصل تابستان، افزایش دمای حداقل در پاییز نسبت به زمستان، بهار و دوره سالانه نگران کننده تر است زیرا افزایش دما در این فصل فقط در ۱۳ درصد ایستگاه‌ها معنی‌دار نمی‌باشد در حالیکه این وضعیت در زمستان ۲۹ و در بهار و سالانه ۱۶ درصد می‌باشد. روندهای معنی‌دار (مثبت و منفی) در فصل زمستان کمتر از سایر زمان‌ها می‌باشد و وضعیت دما حداقل در این فصل از تغییرات کمتری برخوردار است. بالاترین و پایین‌ترین نمره Z برای زمستان در ایستگاه بندر لنگه (۵،۶) و خرم آباد (۲،۸-)، بهار در بوشهر (۷،۳) و شهر کرد (۴،۲-)، تابستان در بوشهر (۷،۴) و ارومیه (۳،۸-)، پاییز در بندر لنگه (۶،۸) و ارومیه (۳،۲-) و در مقیاس سالانه در تهران (۸) و شهرکرد (۲،۸-) به دست آمد.

بررسی روند تغییرات مکانی حداقل دما در مقیاس سالانه نشان‌دهنده روند افزایشی دما در بیشتر ایستگاه‌های انتخابی می‌باشد. این افزایش در بیشتر ایستگاه‌های نیمه شرقی ایران در سطح ۹۹ درصد معنادار است، در حالیکه در نیمه غربی روند افزایشی با بیشترین سطح معناداری از نظم خاصی پیروی نمی‌کند و در قسمت‌های مختلف آن روند مثبت و منفی در سطوح مختلف معناداری قابل مشاهده است. افزایش قابل توجه دما در دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز نیز قابل توجه است، در حالیکه در دامنه‌های غربی و شرقی زاگرس روند افزایشی و کاهشی شرایط متفاوتی

دارد. در مقیاس فصلی نیز روند حداقل دمایی ایران در بیشتر قسمت‌های آن افزایشی است. با وجود این بیشترین افزایش دمای حداقل در دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز، شرق و جنوب غرب کشور قابل مشاهده می‌باشد.

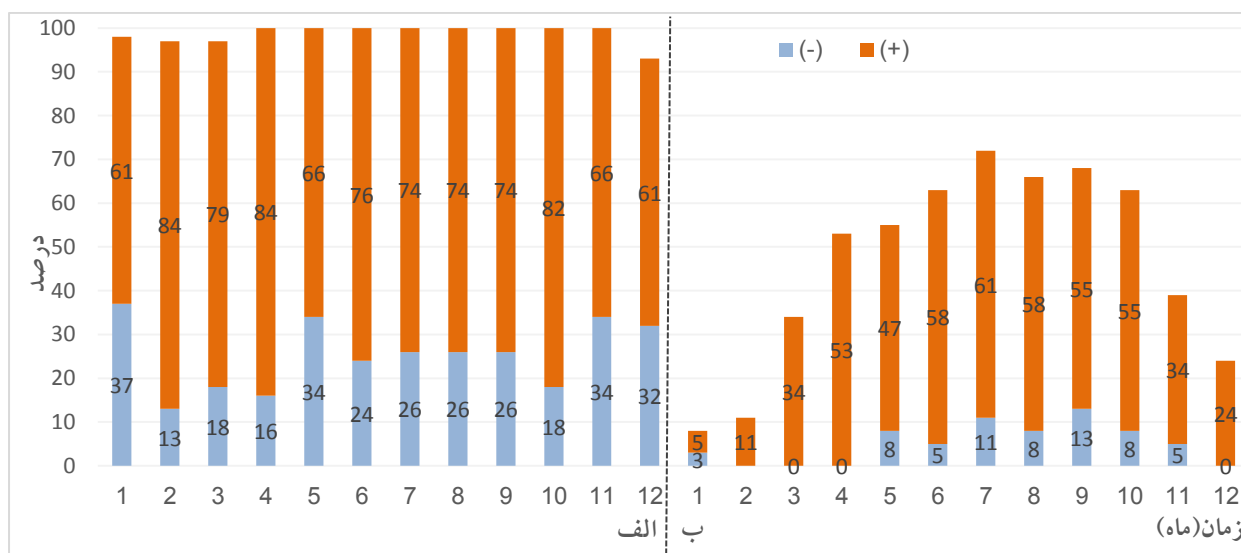


شکل ۳: روند تغییرات مکانی و زمانی حداقل دما برای ایستگاه‌های منتخب در سطح ایران، در این شکل سطوح معناداری در سطح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد نشان داده شده است. تن رنگی قرمز بیانگر روند افزایشی و تن رنگی آبی بیانگر روند منفی دمای حداقل است. مقادیر مربوط به هر رنگ بر اساس سطوح معناداری شاخص Z می‌باشد. ۹۰ درصد (حد فاصل بین ۱،۹۶-۱،۶۵±)، ۹۵ درصد (۲،۵۷-۱،۹۶±) و ۹۹ درصد (بیش از ۲،۵۷±).

دمای میانگین

شکل (۴) نتایج آزمون من کندال برای میانگین ماهانه متوسط دما را نشان می‌دهد. در یک دید کلی روند ماهانه متوسط دما همچون حداقل دما در اکثر ایستگاه‌ها و ماه‌ها افزایشی است، اما میزان افزایش متوسط دما نسبت به

حداقل کمتر است. میانگین نمرات آزمون Z در ژوئن به بیشترین مقدار (۱,۹۹) و در ژانویه به کمترین مقدار (۰,۶۹) می‌رسد. بیشترین فراوانی روند کاهشی در ژانویه، می و نوامبر و بیشترین فراوانی روند افزایشی در فوریه و آوریل مشاهده می‌شود. با این حال فراوانی موارد مثبت معنادار در جولای، ژوئن و آگوست و موارد منفی معنادار در سپتامبر بیش از سایر ماه‌ها است. کمترین روندهای منفی معنادار نیز متعلق به ماه‌های فوریه، مارس، آوریل و دسامبر می‌باشد که در هیچ ایستگاهی روند کاهشی معنادار نیست. بالاترین و پایین‌ترین نمره Z برای ایستگاه مشهد و در ماه جولای با نمره ۵,۷ و ایستگاه شهرکرد در ماه سپتامبر با نمره -۳,۷ به دست آمد. از نظر مکانی، روند دما در ایستگاه‌ها خرم‌آباد در تمامی ماه‌ها منفی است و در ایستگاه‌هایی نظیر ارومیه، شهرکرد، بندرعباس، سقز، فسا، زنجان و بیرجند در اکثر ماه‌ها روند دمایی متوسط کاهشی است. در سایر ایستگاه‌ها روند متوسط ماهانه دما در غالب ماه‌های سال افزایشی است که این وضعیت برای ایستگاه‌های اهواز، مشهد، تهران، بندر لنگه و شیراز چشمگیرتر است.

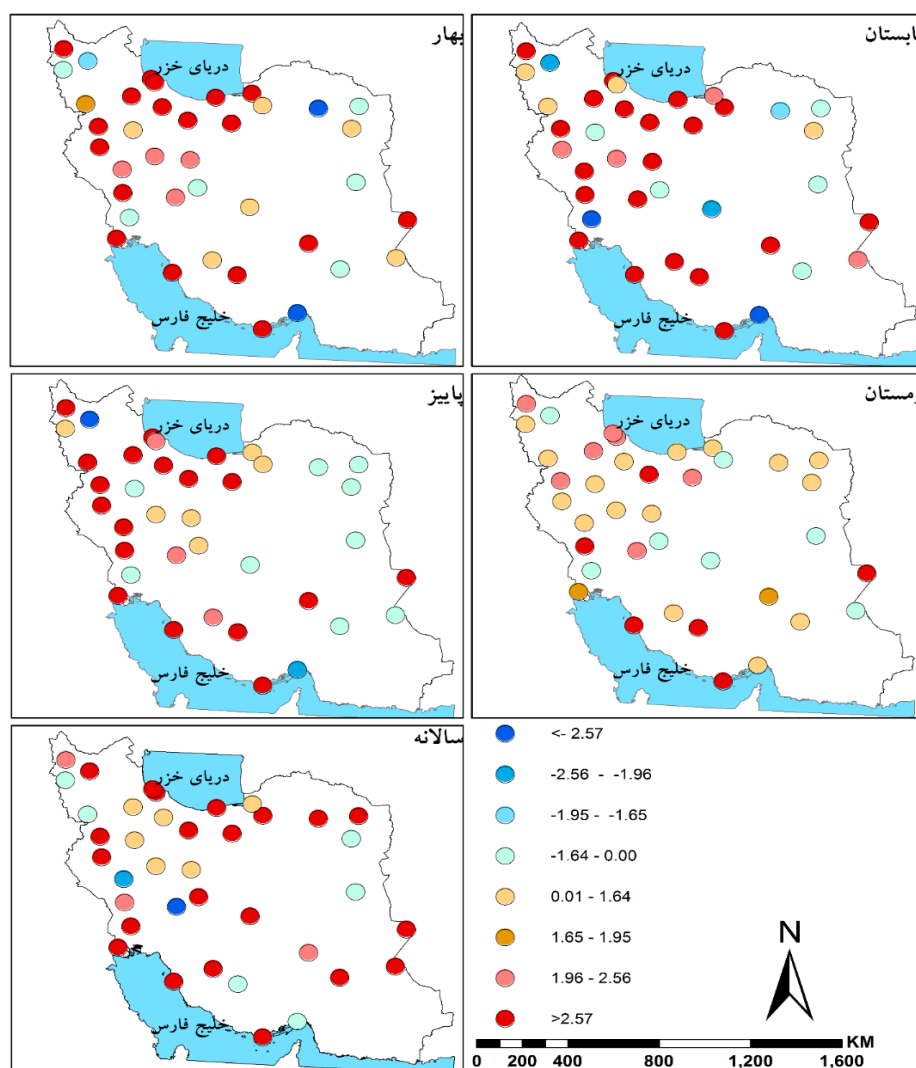


شکل ۴: الف؛ درصد فراوانی ایستگاه‌ها با روند منفی (تن آبی) و مثبت (قرمز) ب؛ درصد فراوانی معناداری (سطح ۹۰ درصد و بیشتر) روند مثبت (قرمز) و منفی (آبی) حاصل از آزمون من کندال برای متوسط دما طی دوره ۱۹۶۰-۲۰۱۰

شکل (۵) روند تغییرات مکانی و زمانی متوسط دما در مقیاس‌های سال و فصل طی دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهد. روند این پارامتر در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب برای ۸۲، ۷۴، ۷۴ و ۶۹ درصد ایستگاه‌ها و در مقیاس سالانه برای ۷۹ درصد ایستگاه‌ها مثبت است. بیشترین روند کاهشی دما با ۲۹ و ۲۶ درصد به ترتیب در پاییز و تابستان مشاهده می‌شود. درصد ایستگاه‌های با روند مثبت معنی دار طی زمستان، بهار، تابستان، پاییز و در دوره سالانه به ترتیب ۳۴، ۵۸، ۶۳، ۵۵ و ۶۳ درصد است. به همین ترتیب درصد ایستگاه‌های با روند منفی معنی دار ۰، ۵، ۱۰، ۵ و ۵ درصد است. وضعیت سالانه دما نیز نشان دهنده افزایش قابل توجه در پارامتر متوسط دما می‌باشد که این افزایش در ۶۳ درصد ایستگاه‌ها معنادار می‌باشد و فقط در ۱۶ درصد ایستگاه‌ها معنادار نیست. روندهای معنی دار (مثبت و منفی) در فصل زمستان کمتر از سایر فصول می‌باشد و وضعیت دما در این فصل از تغییرات

کمتری برخوردار است. در حالیکه در تابستان تغییر پذیری دما کشور بیشتر است. بالاترین و پایین ترین نمره Z برای زمستان در ایستگاه بندر لنگه (۳,۶) و خرم آباد (-۱,۶)، بهار در اهواز (۵,۷) و شهرکرد (-۲,۸)، تابستان در اهواز (۶,۵) و ارومیه (-۳,۵)، پاییز در یزد (۵,۶) و خرم آباد (-۲,۹) و در مقیاس سالانه در تهران (۶,۵) و شهرکرد (-۲,۶) به دست آمد.

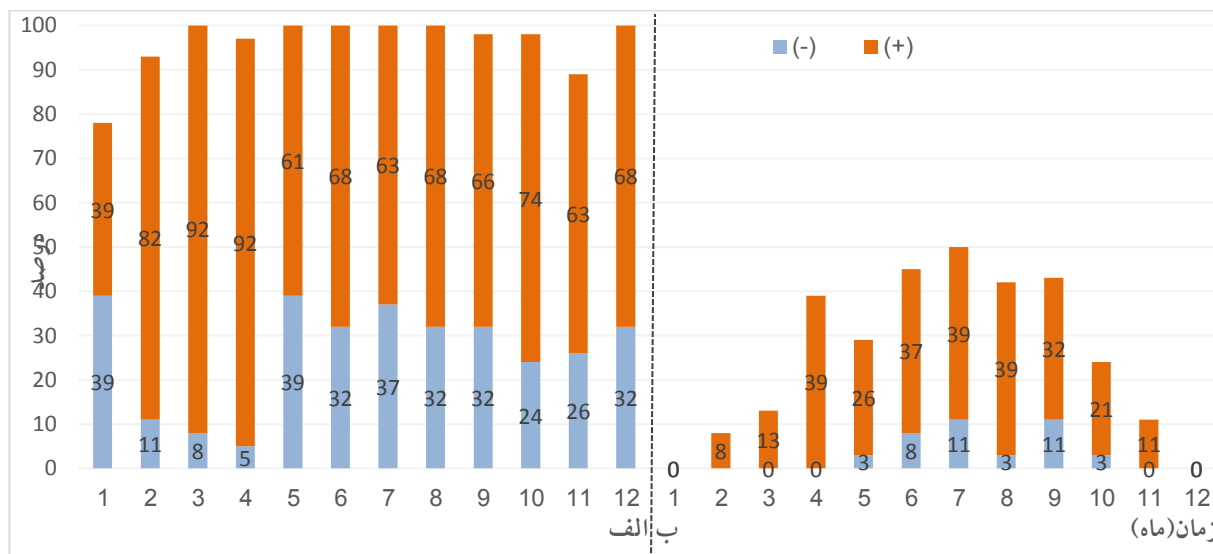
بررسی تغییرات مکانی متوسط دما بیانگر روند افزایشی دما در بیشتر قسمت‌های کشور است. روند افزایشی این پارامتر در مقایسه با حداقل دما در غرب کشور منظم‌تر است. با وجود این همانند حداقل دما بیشترین افزایش دما البرز، جنوب غرب و جنوب شرق مشاهده می‌شود. در مقیاس فصلی نیز تغییرات مکانی شرایط مشابه‌ای با مقیاس سالانه دارد. چراکه بیشترین افزایش همراه با بیشترین سطح معناداری در نواحی نام برده شده قابل مشاهده است.



شکل ۵: روند تغییرات مکانی و زمانی حداقل دما برای ایستگاه‌های منتخب در سطح ایران، در این شکل سطوح معناداری در سطح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد نشان داده شده است. تن رنگی قرمز بیانگر روند افزایشی و تن رنگی آبی بیانگر روند منفی دمای حداقل است. مقادیر مربوط به هر رنگ بر اساس سطوح معناداری شاخص Z می باشد. ۹۰ درصد (حد فاصل بین ۱,۹۶-۱,۶۵±)، ۹۵ درصد (۲,۵۷-۱,۹۶±) و ۹۹ درصد (بیش از ۲,۵۷±).

دمای حداکثر

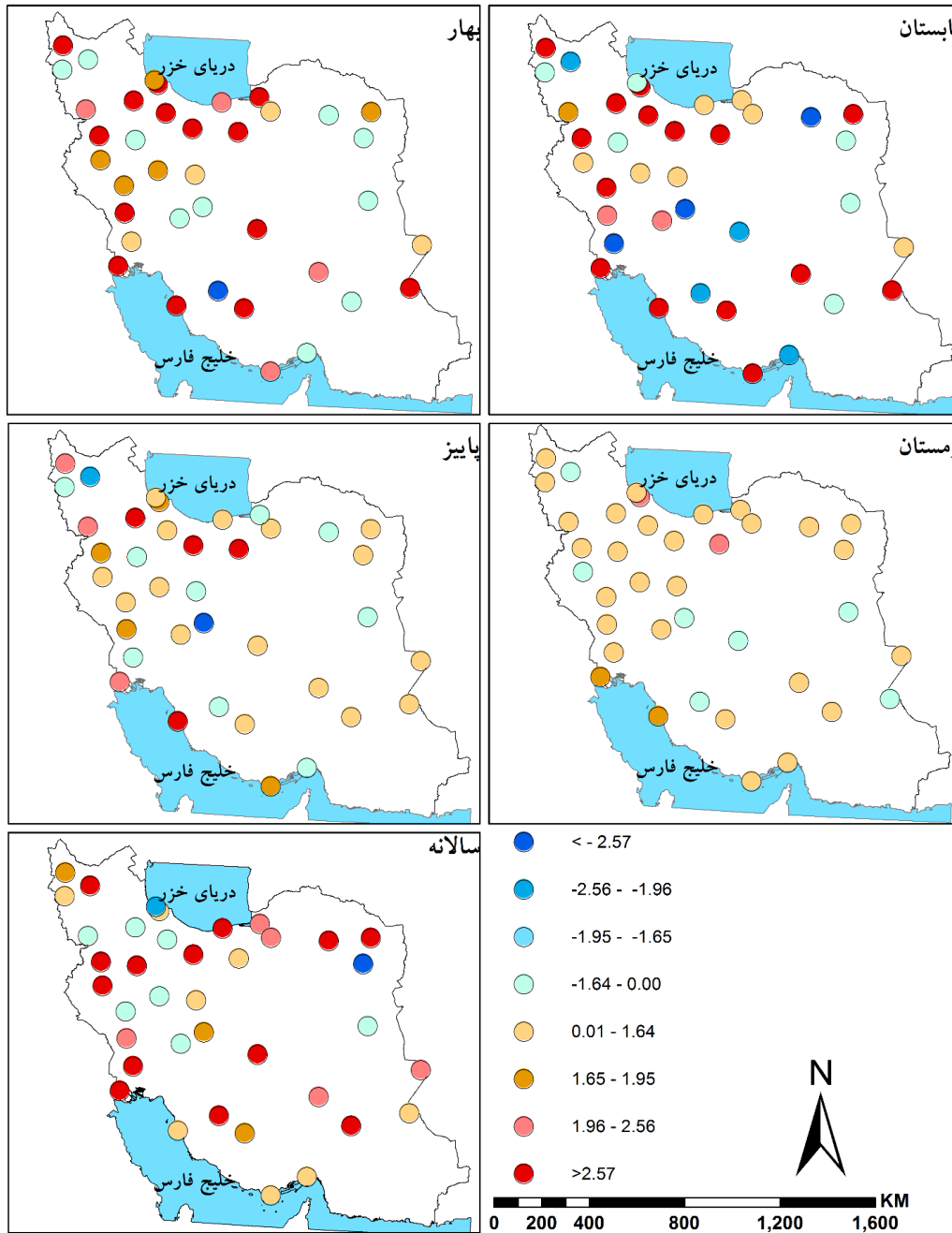
شکل (۶) نشان‌دهنده نتایج حاصل آزمون من کندال برای میانگین ماهانه حداکثر دما است. بطور کلی روند این پارامتر نیز همچون حداقل و متوسط دما در اکثر ایستگاه‌ها و ماه‌ها افزایشی است، ولی نرخ تغییرات آن به مراتب کمتر از دو پارامتر دیگر می‌باشد که درصد ایستگاه‌های دارای روند معنادار نیز کمتر است. میانگین نمرات آزمون Z در آوریل به بیشترین مقدار (۱,۶) و در ژانویه به کمترین مقدار (-۰,۲) می‌رسد. بر خلاف دمای حداقل و متوسط که میانگین نمرات Z در همه ماه‌ها مثبت است، روند کاهشی در متوسط نمرات Z نیز مشاهده می‌شود. بیشترین فراوانی روند کاهشی در ژانویه و می و روند افزایشی در ماه‌های مارس و آوریل مشاهده می‌شود. با این حال فراوانی موارد مثبت معنا دار در جولای و آگوست و موارد منفی معنا دار در جولای و سپتامبر بیش از سایر ماه‌ها است. روندهای منفی دمای حداکثر در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر یا به عبارتی در دوره سرد سال در هیچ یک از ایستگاه‌ها معنادار نمی‌باشد. روندهای مثبت پارامتر پیش گفته در ژانویه و دسامبر که در بیشتر نواحی کشور سردترین ماه‌های سال می‌باشند، در هیچ ایستگاهی معنا دار نمی‌باشد. همچنین در ژانویه ۸ ایستگاه اصفهان، اهواز، دزفول، شیراز، شاهرود، سمنان، اراک و بندر لنگه و در نوامبر ۴ ایستگاه اصفهان، فسا، سنندج و اراک هیچ روندی در دمای حداکثر خود ندارند. بالاترین و پایین ترین نمره Z برای ایستگاه آبادان در ماه ژوئن و ایستگاه شیراز در ماه جولای با نمره ۴,۹ و ایستگاه بندرانزلی در ماه می با نمره ۴- به دست آمد. از نظر مکانی، روند کاهشی دمای حداکثر در ایستگاه‌های بندر انزلی، خرم آباد و بویژه تربت حیدریه قابل توجه است و در اکثر ماه‌ها روند منفی مشاهده می‌شود که در تربت حیدریه در ماه‌های فصل تابستان، در بندر انزلی در ماه‌های فصل بهار و در خرم آباد در ماه‌های فصل پاییز روند کاهشی دما چشمگیرتر است. همچنین در ایستگاه‌هایی نظیر ارومیه، کاشان، بیرجند، شهرکرد، سقز و اراک روند کاهشی در بیش از نیمی از ماه‌های سال مشاهده می‌شود که در ماه‌های دوره گرم سال این روند شدت بیشتری دارد. همچنین در بندر عباس (به جز می)، سقز (به جز فوریه)، بیرجند (به جز ژوئن) و شهر کرد (به جز ژانویه و فوریه) روند منفی دما در بیشتر ماه‌ها مشاهده می‌شود. در سایر ایستگاه‌ها روند حداکثر دما در بیشتر ماه‌های سال افزایشی است که این وضعیت برای ایستگاه‌های مشهد، شیراز، کرمانشاه، سنندج و بم و اهواز چشمگیرتر است.



شکل ۶: الف؛ درصد فراوانی ایستگاه‌ها با روند منفی (تن آبی) و مثبت (قرمز) ب؛ درصد فراوانی معناداری (سطح ۹۰ درصد و بیشتر) روند مثبت (قرمز) و منفی (آبی) حاصل از آزمون من کندال برای حداکثر دما طی دوره ۱۹۶۰-۲۰۱۰

شکل (۷) روند تغییرات زمانی و مکانی حداکثر دما را در مقیاس زمانی فصلی و سال طی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. روند این پارامتر در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به ترتیب برای ۸۱، ۶۸، ۶۶، و ۷۱ درصد ایستگاه‌ها و در مقیاس سالانه برای ۷۶ درصد ایستگاه‌ها مثبت است. این وضعیت نشان دهنده افزایش دمای روزانه در اکثر مناطق ایران می‌باشد. در زمستان ۱۶ درصد، بهار ۲۹ درصد، تابستان ۳۴ درصد، پاییز ۲۹ درصد و در مقیاس سالانه ۲۱ درصد ایستگاه‌ها طی دوره مورد مطالعه روند دمای حداکثر آنها منفی است. همچنین در این شکل درصد ایستگاه‌های دارای روند معنی دار (برزگتر مساوی ۹۰ درصد) نشان داده شده است. درصد ایستگاه‌های با روند مثبت معنی دار طی زمستان، بهار، تابستان، پاییز و در دوره سالانه به ترتیب ۵، ۴۷، ۴۵، ۱۸ و ۴۷ درصد است. به همین ترتیب درصد ایستگاه‌های با روند منفی معنی دار ۰، ۳، ۱۸، ۵ و ۵ درصد است. مقایسه وضعیت ایستگاه‌های دارای روند مثبت با ایستگاه‌های دارای روند مثبت معنی دار نشان می‌دهد گرچه دمای فصل زمستان در بیشتر ایستگاه‌ها افزایشی اما شدت افزایش دما کم است و فقط در ۵ درصد ایستگاه‌ها معناداری مشاهده می‌شود. در فصل تابستان و بویژه بهار شدت افزایش دما بسیار شدید و نگران کننده است زیرا اکثر ایستگاه‌هایی که روند دمای آنها در این فصل مثبت است معنا دار نیز می‌باشد. مقایسه روندهای معنی دار (مثبت و منفی) نشان می‌دهد که تغییرپذیری دمای حداکثر ایران در فصل زمستان ناچیز است و کمترین فراوانی درصد‌های معنا دار در این فصل مشاهده می‌شود در حالی که در فصل تابستان دمای حداکثر به نسبت سایر فصل‌ها تغییرپذیری بیشتری دارد. بالاترین و پایین‌ترین نمره Z برای زمستان در ایستگاه سنندج (۲،۳) و تربت حیدریه (۱،۱-)، بهار در آبادان (۴) و بندر انزلی (۵،-۳)، تابستان در شیراز (۶،۴) و تربت حیدریه (۳،-۳)، پاییز در یزد (۳،۳) و تربت حیدریه (۸،-۲) و در مقیاس سالانه در سنندج (۳،۴) و تربت حیدریه (۲،-۳) به دست آمد.

از نظر توزیع مکانی نیز همانند سایر پارامترها برای بیشتر مناطق کشور روند حداکثر دما افزایشی است با این تفاوت که از شدت کمتر برخوردار است. با این وجود بیشترین افزایش و سطح معناداری در دامنه‌های البرز، جنوب شرق و غرب میانی قابل مشاهده می باشد.



شکل ۷: روند تغییرات مکانی و زمانی حداقل دما برای ایستگاه‌های منتخب در سطح ایران، در این شکل سطوح معناداری در سطح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد نشان داده شده است. تن رنگی قرمز بیانگر روند افزایشی و تن رنگی آبی بیانگر روند منفی دمای حداقل است. مقادیر مربوط به هر رنگ بر اساس سطوح معناداری شاخص Z می باشد. ۹۰ درصد (حد فاصل بین ۱٫۹۶-۱٫۶۵±)، ۹۵ درصد (۲٫۵۷-۱٫۹۶±) و ۹۹ درصد (بیش از ۲٫۵۷±).

نتیجه گیری

هدف پژوهش حاضر بررسی روند دما در ایران می‌باشد. برای این منظور از داده‌های ۳۸ ایستگاه‌های دما با پراکنش مناسب و کیفیت و کمیت داده‌ها در ایران استفاده شد. پس از پردازش پارامترهای دمای کمینه، متوسط دما و دمای بیشینه در مقیاس‌های سال، فصل و ماه، روند آنها با استفاده از آزمون آماری من کندال مورد بررسی قرار گرفت. بنابر نتایج بدست آمده از بررسی روند دما می‌توان گفت که روند کلی دمای ایران در اکثر ایستگاه‌ها در مقیاس‌های مختلف زمانی افزایشی است که شدت افزایش دمای کمینه بیشتر و دمای بیشینه کمتر است. به طوری که درصد ایستگاه‌های دارای روند افزایشی معنا دار نیز برای پارامتر دمای کمینه بیشتر و پارامتر دمای متوسط و دمای حداکثر در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در مقیاس ماهانه، میانگین نمرات آزمون من کندال برای حداقل دما در جولای به بیشترین مقدار و در ژانویه به کمترین مقدار می‌رسد، که میانگین هر دو نیز مثبت است. فراوانی موارد مثبت معنا دار در جولای و آگوست (۲۶ و ۲۴ ایستگاه) و موارد منفی معنا دار در می (۶ ایستگاه) بیش از سایر ماه‌ها است. برای متوسط دما میانگین نمرات آزمون Z در ژوئن به بیشترین مقدار (۱,۹۹) و در ژانویه به کمترین مقدار (۰,۶۹) می‌رسد. فراوانی موارد مثبت معنا دار در جولای (۲۳ ایستگاه) و موارد منفی معنا دار در سپتامبر (۵ ایستگاه) بیش از سایر ماه‌ها است. برای بیشینه دمایی میانگین نمرات آزمون در آوریل به بیشترین مقدار (۱,۶) و در ژانویه به کمترین مقدار (۰,۰۲-) می‌رسد. فراوانی موارد مثبت معنا دار در جولای و آگوست (۱۵ ایستگاه) و موارد منفی معنا دار در جولای و سپتامبر (۴ ایستگاه) بیش از سایر ماه‌ها است. در مقیاس فصلی نیز دمای شبانه (دمای کمینه) در اکثر مناطق ایران افزایشی می‌باشد که روند آن در فصل تابستان بیشتر و در فصل زمستان کمتر از سایر فصول می‌باشد. در ارتباط با متوسط دما، هر چند بیشترین درصد روند مثبت در زمستان مشاهده می‌شود اما به دلیل درصد کمتر معناداری، نگرانی‌ها در این فصل کمتر است، در حالیکه در فصول گرم سال بویژه تابستان، درصد معناداری مثبت بالاتر است و روند افزایش شدت نگران کننده‌ای دارد. مشابه این وضعیت برای دمای بیشینه نیز مشاهده می‌شود یعنی گرچه دمای فصل زمستان در بیشتر ایستگاه‌ها افزایشی است اما شدت افزایش دما کم است و فقط در ۵ درصد ایستگاه‌ها معنا دار می‌باشد، در حالیکه در فصل تابستان و بویژه بهار شدت افزایش دما بسیار شدید و نگران کننده است زیرا اکثر ایستگاه‌هایی که روند دمای آنها در این فصل‌ها مثبت است معنا دار نیز می‌باشد. این شرایط می‌تواند از طرفی خطر رخداد سیلاب ناشی از ذوب برف را افزایش دهد و از طرف دیگر سبب افزایش تبخیر و مصرف بیشتر انرژی در سطح کشور شود.

منابع و مأخذ:

- ۱- بنفشه، مجید، سرافروزه، قاطمه، جلالی، طاهره، ۱۳۹۰، بررسی روند دما و بارش‌های روزانه حدی در حوضه دریاچه ارومیه، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳۸ صص ۴۳-۷۴.
- ۲- سبزی پرور، علی اکبر، سیف، زهرا، قیامی، فرشته، ۱۳۹۲، تحلیل روند دما در برخی ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک کشور، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۳۰ صص ۱۱۷-۱۳۸.

- ۳- سبزی پرور، علی اکبر، شادمانی، مجتبی، ۱۳۹۰، تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران، نشریه آب و خاک، سال بیست و پنجم، شماره ۴، صص ۸۳۴-۸۲۳.
- ۴- عزیزی، قاسم، کریمی احمدآباد، مصطفی، سبک خیز، زهرا، ۱۳۸۳، روند دمایی چند دهه اخیر ایران و افزایش CO₂ جو، فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۵ صص ۲۷-۴۵.
- ۵- کوثری، محمدرضا، اختصاصی، محمدرضا، تازه، مهدی، صارمی، محمدعلی، ۱۳۸۷، بررسی روند تغییرات بارش، دما و رطوبت نسبی در ۲۶ ایستگاه سینوپتیک کشور، مجله پژوهش و سازندگی، صص ۱۹۶-۲۰۷.
- ۶- مدرسی، فرشته، عراقی نژاد، شهاب، ابراهیمی، کیومرث، خلقی، مجید، ۱۳۸۹، بررسی منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمونهای آماری مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود-قره سو، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۳، صص ۴۸۹-۳۷۸.
- 7- Croitoru. A.E, Holobace. I.H, Lazar.C, Moldovan.F, Imbroavce. A (2012) Air temperature trend and the impact on winter wheat phenology in Romania, *Climatic Change*, 111:393-410.
- 8- Degaetano. A.T and Allen. R.J (2002) Trends in Twentieth-Century Temperature Extremes across the United States, *JOURNAL OF CLIMATE*, 15: 3188-3205.
- 9- ElNesr. M, Abu-Zreig. M, Alazab. A (2010) Temperature Trends and Distribution in the Arabian Peninsula, *American Journal of Environmental Sciences*, 6 (2): 191-203.
- 10- Feidas.H, Makrogiannis. T, Senta. E.B (2004) Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955-2001, *Theor. Appl. Climatol*, 79: 185-208.
- 11- Guo. L and Xia. Z (2014) Temperature and precipitation long-term trends and variations in the Ili-Balkhash Basin, *Theor Appl Climatol* , 115:219-229.
- 12- Horton. B (1995) Geographical distribution of changes in maximum and minimum temperatures, *Atmospheric Research*, 37: 101-117.
- 13- IPCC (2007) Summary for policymakers; In: *Climate change 2007: The physical science basis* (eds) Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M and Miller H L, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press.
- 14- Jones. P.D, Moberg. A (2003) Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001, *J. Clim*, 16: 206-223.
- 15- Jones. P.D., New. M, Parker. D.E, Martin. S, Rigor. I.G (1999) Surface air temperature and its changes over the past 150 years, *Rev. Geophys*, 37: 173-199.
- 16- Kenawy. A, Moreno.J, Serrano. S.M (2012) Trend and variability of surface air temperature in northeastern Spain (1920-2006): Linkage to atmospheric circulation, *Atmospheric Research*, 106 : 159-180.
- 17- Marofi.S, Soleymani. S, Salarijazi. M, Marofi. H (2012) Watershed-wide trend analysis of temperature characteristics in Karun-Dez watershed, southwestern Iran, *Theor Appl Climatol* , 110:311-320.
- 18- Mohsin.T and Gough.W.A (2010) Trend analysis of long-term temperature time series in the Greater Toronto Area (GTA), *Theor Appl Climatol* , 101:311-327.
- 19- Sansigolo. C.A and Kayano.M.T (2010) Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period, *Theor Appl Climatol* , 101:209-216.
- 20- Sayemuzzaman. M, Jha. M, Mekonnen. A (2014) Spatio-temporal long-term (1950-2009) temperature trend analysis in North Carolina, United States, *Theor Appl Climatol* , 116:1-13.
- 21- Siddik. M and Rahman. M (2014) Trend analysis of maximum, minimum, and average temperatures in Bangladesh: 1961-2008, *Theor Appl Climatol* , 116:721-730.
- 22- Subash.N and Sikka. A.K (2014) Trend analysis of rainfall and temperature and its relationship over India, *Theor Appl Climatol*, 117:449-462.

- 23- Tabari.H and Talaee. P (2011) Recent trends of mean maximum and minimum air temperatures in the western half of Iran, Meteorol Atmos Phys , 111:121–131.
- 24- Turkes. M and Sumer. U.M (2004) Spatial and temporal patterns of trends and variability in diurnal temperature ranges of Turkey, Theor. Appl. Climatol, 77: 195–227.
- 25- Wang. H.S, Schubert. M.S, Junye. C, Martin. H, Arun. K, Pegion. P (2009) Attribution of the seasonality and regionality in climate trends over the United States during 1950–2000. J Climate 22:2571–2590.
- 26- Yan. Z, Jones. P.D, Davies. T.D, Moberg. A (2002) TRENDS OF EXTREME TEMPERATURES IN EUROPE AND CHINA BASED ON DAILY OBSERVATIONS, Climatic Change 53: 355–392.
- 27- Zarenistanak. M, Dhorde. A.G, Kripalani. R.H (2014) Trend analysis and change point detection of annual and seasonal precipitation and temperature series over southwest Iran, J. Earth Syst. Sci, 123: 281–295.