

## تحلیل روند متوسط درجه حرارت نیمه جنوبی ایران در چهار دهه اخیر

فرشاد احمدی<sup>۱\*</sup>، فریدون رادمش<sup>۲</sup>، رسول میرعباسی نجف آبادی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۸/۱۴

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Farshad.paper@yahoo.com

### چکیده

تغییر اقلیم و افزایش متوسط درجه حرارت هوا یکی از مسائل مهم زیست‌محیطی بشر به حساب می‌آید که در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در مورد آن انجام شده است. در این مطالعه روند متوسط درجه حرارت هوای منطقه نیمه جنوبی ایران در مقیاس ماهانه و سالانه با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد استفاده اطلاعات دمای ۱۴ ایستگاه سینوپتیک، در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۷۱ می‌باشند. به منظور تخمین شیب خط روند، از روش تخمین‌گر شیب سن استفاده شد. نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه، یازده ایستگاه (۷۹ درصد ایستگاه‌های منتخب) از ۱۴ ایستگاه مورد بررسی، روند افزایشی معنی‌دار را تجربه کرده‌اند و فقط دو ایستگاه (بیرجند و چابهار) افزایش معنی‌دار در سری‌های درجه حرارت هوا نداشتند. ایستگاه شهرکرد روند کاهشی (غیر معنی‌دار) نشان داد. بیشترین نرخ افزایش دما در مقیاس سالانه مربوط به ایستگاه کرمان با شیب  $0.61$  (°C/Year) بود. در مقیاس ماهانه، تعداد ماه‌ها با روند افزایشی ۱۳ برابر تعداد ماه‌ها با روند کاهشی بود. به جز ایستگاه‌های بیرجند، چابهار و شهرکرد که تلفیقی از روندهای مثبت و منفی را تجربه کرده بودند، سایر ایستگاه‌ها فقط روند افزایشی را نشان دادند. ماه‌های فوریه و نوامبر نیز به ترتیب بیشترین (تمامی ایستگاه‌ها) و کمترین (۷ ایستگاه) تعداد ایستگاه با روند افزایشی معنی‌دار را داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: آزمون من-کندال، ایران، خودهمبستگی، درجه حرارت هوا، روند، شیب سن

## Trend Analysis of the Average Temperature in Southern Half of Iran During the Recent Four Decades

F Ahmadi<sup>1</sup>, F Radmanesh<sup>2\*</sup>, R Mirabbasi Najaf Abadi<sup>3</sup>

Received: 12 April 2014 Accepted: 5 November 2014

<sup>1</sup>- Ph.D Student, Water Resources Eng. Dept., Faculty of Water Sciences Eng., Univ. of Ahvaz, Iran

<sup>2</sup>- Assist. Prof., Water Resources Eng. Dept., Faculty of Water Sciences Eng., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz, Iran

<sup>3</sup>- Assist. Prof., Water Eng. Dept. Faculty of Agric. Univ. of Shahrkord, Iran

\*Corresponding Author, Email: Farshad.paper@yahoo.com

### Abstract

Average temperature increase because of climate change is considered as an important environmental problem of human for which many studies have been conducted in the recent years. In this study, trends of the average air temperature of the Southern half of Iran in monthly and annual time scales were analyzed using the non-parametric Mann-Kendall method. Data used were the average air temperature data of 14 synoptic stations, covering the period of 1971-2010. The Sen's slope estimator was used for estimation of the slope of the trend line. Results showed that in annual time scale, 11 stations (79% of the selected stations) experienced a significant increasing trend and only two stations (Birjand and Chabahar) did not show significant positive trend in air temperature series. The Shahrekord station showed negative (insignificant) trend. The most strong positive trend slope in the case of annual temperature belonged to the Kerman station, which was equal to 0.061 °C /yr. In monthly time scale, the numbers of months having positive trends were 13 times greater than those with negative trends. Except the Birjand, Chabahar and Shahrekord stations which experienced both negative and positive trends, the other stations only showed a positive trend. February and November had the most (all of the stations) and less (7 stations) numbers of stations with significant positive trends, respectively.

**Keywords:** Air temperature, Autocorrelation, Iran, Mann-Kendall test, Sen's slope, Trend

به‌طور معنی‌داری تغییر دهد. درجه حرارت احتمالاً یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مورد استفاده در تغییرات اقلیمی هم در مقیاس جهانی و هم مقیاس منطقه‌ای است. به‌عنوان یک نتیجه، تغییرات اقلیمی ممکن است تأثیر معنی‌دار روی برخی از فرآیندهای هیدرولوژیکی مثل رواناب، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، بارش و آب زیرزمینی داشته باشد. تبخیر و تعرق مهم‌ترین بخش

### مقدمه

یکی از موضوعات مهم جوامع بشری در قرن حاضر گرم شدن جهانی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای و بحران منابع آب است. گرم شدن جهانی ممکن است باعث تغییرات مهمی در فرآیندهای مختلف شده و میانگین و واریانس مقادیر متغیرهایی نظیر رطوبت نسبی، بارش، تشعشع خورشیدی و غیره را

مورد مطالعه فاقد روند معنی‌دار بودند. صبحی و سلطانی (۲۰۰۸) برای تحلیل روند تغییرات عوامل بارش، دما، رطوبت نسبی و باد در برخی از شهرهای بزرگ ایران از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده کردند. آنان روند افزایش دما را در ۶۲ درصد از ایستگاه‌ها و روند کاهش بارش را در ۲۳ درصد از ایستگاه‌ها گزارش نمودند. کوثری و اسدی زارچ (۲۰۱۰) به بررسی روند تغییرات دمای کمینه و بیشینه و رطوبت نسبی در ۱۳ ایستگاه سینوپتیک ایران در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۵۰ پرداختند و بیان داشتند دمای کمینه و بیشینه روندی افزایشی و رطوبت نسبی روند کاهشی داشتند. طبری و حسین‌زاده طلایی (۲۰۱۱ا) روند داده‌های ماهانه، فصلی و سالانه کمینه و بیشینه درجه حرارت را برای غرب کشور را با استفاده از آزمون من-کندال بررسی کردند. در بیشتر این ایستگاه‌ها روند افزایشی مشاهده گردید. ریو و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های سالانه، فصلی و ماهانه ۴۷۳ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۴۶ ساله روند درجه حرارت را با استفاده از آزمون من-کندال در کشور اسپانیا مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان داد که بیش از ۶۰ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی در فصول بهار و تابستان دارای روند مثبت بوده و درجه حرارت سالانه در تمام ایستگاه‌ها حدود ۰/۱ الی ۰/۲ درجه سلسیوس افزایش داشته است. طبری و حسین‌زاده طلایی (۲۰۱۱ب) روند درجه حرارت بیشینه و کمینه دمای سالانه، فصلی و ماهانه را در ۱۹ ایستگاه سینوپتیک واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در دوره آماری ۳۰ ساله با استفاده از آزمون من-کندال مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که درجه حرارت بیشینه و کمینه سالانه به ترتیب ۰/۰۹۰ و ۰/۴۴۴ درجه سلسیوس در هر دهه افزایش داشته است. کوثری و همکاران (۲۰۱۳) تغییرات درجه حرارت بیشینه را در ۳۲ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۰ با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن است که در ماه‌ها و فصل‌های گرم

تشکیل‌دهنده چرخه هیدرولوژیکی پس از بارش است و نیاز آبی گیاهان را تعیین می‌کند (اسمعیل‌پور و دین‌پژوه ۱۳۹۱). بنابراین هر گونه تغییر در پارامترهای اقلیمی به‌ویژه افزایش دما، می‌تواند پیامدهای بسیار مهمی را به دنبال داشته باشد.

از آنجاکه دما از عناصر اساسی شکل‌گیری اقلیم است و تغییرات آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر منطقه‌ای را دگرگون سازد، لذا بررسی روند دما در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی بخش بزرگی از تحقیقات اقلیم‌شناسی و مهندسی منابع آب را به خود اختصاص داده است. برای اهمیت این پارامتر، دلایل متعددی وجود دارد: نخست اینکه دمای هوا از محدود عناصر اقلیمی است که استمرار زمانی دارد و در همه مکان‌های جغرافیایی می‌توان به‌صورت پیوسته آن را اندازه‌گیری نمود. دوم اینکه این متغیر اقلیمی با سایر عناصر آب و هوایی مانند تشعشع خورشیدی، رطوبت موجود در جو، وزش باد، تبخیر و تعرق و بارندگی در ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم است و فرآیندهای آب و هوایی را کنترل می‌کند (علیجانی و همکاران ۱۳۹۰). از این‌رو اطلاع از روند تغییرات دما برای برنامه‌ریزی دقیق آبیاری محصولات زراعی و باغی و مدیریت منابع آب در هر منطقه یک پیش‌شرط ضروری است. تاکنون مطالعات متعددی در رابطه با تغییرات دما در نقاط مختلف جهان انجام شده است که می‌توان به برخی از موارد زیر اشاره کرد:

لین و همکاران (۱۹۹۹)، بیان داشتند که طبق گزارش هیئت بین‌دول تغییر اقلیم، دمای سطحی زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سلسیوس در طول قرن گذشته افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰ مقدار آن ۱ تا ۳/۵ درجه سلسیوس افزایش یابد. قهرمان (۲۰۰۶) با استفاده از آزمون من-کندال روند تغییرات دمای متوسط ایران در سی‌وچهار ایستگاه سینوپتیک را بررسی کرده و نشان داد که ۳۴ درصد از ایستگاه‌های مورد بررسی دارای روند مثبت، ۱۵ درصد منفی و ۵۱ درصد از ایستگاه‌ها

با توجه به اهمیت متوسط درجه حرارت هوا در تحقیقات منابع آب از جمله تبخیر، تبخیر و تعرق، برنامه‌ریزی‌های آبیاری و تأثیر مستقیم آن بر کشاورزی، مشاهده می‌شود که تاکنون مطالعه جامعی در بررسی روند متوسط دمای نیمه جنوبی کشور در دوره آماری طولانی‌مدت انجام نشده است. بنابراین هدف از مطالعه حاضر، بررسی جامع تغییرات روند این پارامتر اقلیمی در نیمه جنوبی کشور با استفاده از آزمون من-کندال هست. همچنین بیشترین و کمترین مقدار افزایش دما و نیز نرخ تغییرات آن در هر یک از ایستگاه‌ها با استفاده از روش ناپارامتری تخمین‌گر شیب سن محاسبه خواهد شد. در این مطالعه اثر ضرایب خودهمبستگی بین داده‌ها نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### مواد و روش‌ها

در این مطالعه روند تغییرات متوسط دمای هوا در دو مقیاس سالانه و ماهانه در نیمه جنوبی کشور شامل استان‌های اصفهان، خراسان جنوبی، یزد، چهارمحال و بختیاری، خوزستان، کرمان، سیستان و بلوچستان، بوشهر و هرمزگان در دوره آماری ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفت. در هر استان ایستگاه‌های سینوپتیک موجود بررسی شده و ایستگاه‌هایی که طول دوره آماری آن‌ها مناسب بوده و خلأ آماری نداشتند، پس از انجام آزمون همگی، برای تحلیل روند انتخاب شده‌اند. مشخصات ایستگاه‌های منتخب در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

#### تحلیل روند

هدف از آزمون روند این است که وجود و یا عدم وجود سیر صعودی یا نزولی در سری داده‌ها مشخص گردد. با توجه به اینکه در روش‌های پارامتری<sup>۴</sup> فرضیاتی نظیر نرمال بودن، ایستایی و

سال روند افزایشی معنی‌دار در کل کشور وجود دارد و به‌طور کلی در مقیاس سالانه تقریباً پنجاه درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی بودند.

یانگ و همکاران (۲۰۱۲) بر اساس درجه حرارت و بارش میانگین ماهانه ۵۳ ساله در حوضه رودخانه ژانگوانان چین و پنج ایستگاه هواشناسی اطراف آن با استفاده از آزمون من-کندال روند این عوامل را مورد بررسی قرار داده و روند کاهشی معنی‌دار در بارندگی سالانه و روند صعودی دما را در فصول تابستان و بهار گزارش نمودند. مارتینز و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات روند متوسط درجه حرارت ایالت فلوریدای آمریکا را در دو دوره زمانی ۲۰۰۹-۱۸۹۵ و ۲۰۰۹-۱۹۷۰ با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن است که در هر دو دوره مورد مطالعه دما روند صعودی را در این ایالت تجربه کرده است. وانگ و همکاران (۲۰۱۲) روند تغییرات سالانه دما و بارش را در طی پنجاه سال برای منطقه لوئیس پلانیو<sup>۲</sup> در چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میانگین سالانه درجه حرارت منطقه مورد مطالعه  $1/19^{\circ}\text{C}$  در پنجاه سال گذشته افزایش و میزان بارندگی ( $29/11 \text{ mm}/50\text{year}$ ) کاهش یافته است. بوکولاری و ملموسی (۲۰۱۳) روند کمینه، بیشینه و متوسط درجه حرارت را در منطقه مودنا<sup>۳</sup> در ایتالیا بررسی کرده و نشان دادند که درجه حرارت کمینه و بیشینه روند معنی‌داری نداشته و به ترتیب در هر دهه ۰/۱ درجه سلسیوس افزایش یافته است. گوجیک و تراکویچ (۲۰۱۳) روند تغییرات دمای فصلی و سالانه سبیری را با استفاده از آزمون من-کندال مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که درجه حرارت فصلی و سالانه از روند صعودی معنی‌دار برخوردار است.

<sup>1</sup> Zhangweinan

<sup>2</sup> Loess Plateau

<sup>3</sup> Modena

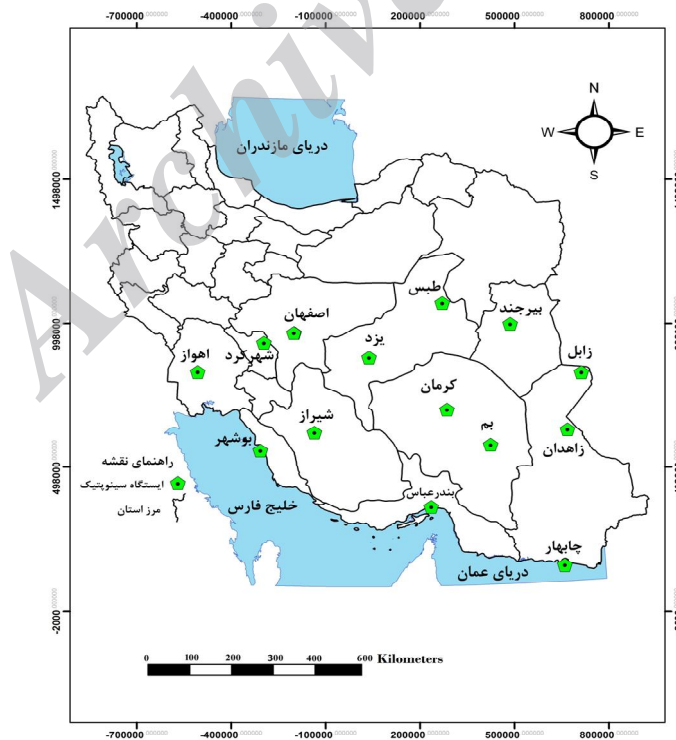
<sup>4</sup> Parametric

توان برای سری زمانی داده‌ها، بدون در نظر گرفتن خطی یا غیرخطی بودن روند به‌کار برد (خلیلی و همکاران ۱۳۹۱). به‌طورکلی آزمون من-کندال دارای چهار ویرایش هست که توسط دین‌پژوه و همکاران (۲۰۱۴) شرح داده‌شده است. در این مطالعه از ویرایش سوم این آزمون استفاده شد که در ادامه شرح داده می‌شود.

مستقل بودن متغیرها وجود داشته و این فرضیات اغلب برای متغیرهای هیدرولوژیکی اعتبار ندارد، از روش ناپارامتری من-کندال که کاربرد بیشتری در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی دارد، می‌توان استفاده کرد. در ضمن روش‌های ناپارامتری جهت بررسی روند نسبت به روش‌های پارامتری حساسیت کمتری به مقادیر حدی دارند. همچنین آزمون ناپارامتری را می-

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در نیمه جنوبی ایران.

ایستگاه	طول جغرافیایی		عرض جغرافیایی		ارتفاع ایستگاه (m)	عرض جغرافیایی		ارتفاع ایستگاه (m)	
	درجه	دقیقه	درجه	دقیقه		درجه	دقیقه	درجه	دقیقه
اصفهان	۵۱	۴۰	۳۲	۳۷	۱۵۵۰/۴	۳۲	۳۷	۳۱	۲
اهواز	۴۸	۳۳	۳۱	۱۵	۱۲/۰	۳۱	۱۵	۲۹	۲۸
بوشهر	۵۰	۴۹	۲۸	۵۸	۹/۰	۲۸	۵۸	۳۲	۱۷
بم	۵۸	۲۱	۲۹	۶	۱۰۶۶/۹	۲۹	۶	۲۹	۳۲
بندرعباس	۵۶	۲۲	۲۷	۱۳	۹/۸	۲۷	۱۳	۳۳	۳۶
بیرجند	۵۹	۱۲	۳۲	۵۲	۱۴۹۱/۰	۳۲	۵۲	۳۰	۱۵
چابهار	۶۰	۳۷	۲۵	۱۷	۸/۰	۲۵	۱۷	۳۱	۵۴



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در نیمه جنوبی ایران.

## آزمون من-کندال مرسوم (MK1)

این روش، که فرم کلاسیک آزمون من-کندال هست، در بسیاری از مطالعات مورداستفاده قرار گرفته است. اگر تعداد داده‌های سری زمانی در دوره موردبررسی  $n$  باشد، ابتدا آماره  $S$  به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad [۱]$$

که در آن  $x_j$  مقدار داده  $j$  ام،  $n$  طول دوره آماره و  $\text{sgn}(\theta)$  تابع علامت هست که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

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

به‌ازای  $n \geq 8$  آماره  $S$  دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن به شرح زیر هست:

$$E(S) = 0 \quad [۳]$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)-C}{18} \quad [۴]$$

که در آن  $C$  عاملی مربوط به تصحیح واریانس است و در صورتی که داده‌های تکراری متوالی در سری داده‌ها وجود داشته باشد، از رابطه زیر محاسبه شده و در واریانس اعمال می‌شود:

$$C = \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i-5) \quad [۵]$$

که در آن  $t_i$  تعداد داده‌های یکسان در دسته  $i$  ام هست. در نهایت آماره آزمون MK یا  $Z$  به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad [۶]$$

فرض صفر (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 پذیرفته می‌شود (اسمعیل‌پور و دین‌پژوه ۱۳۹۱).

## آزمون من-کندال اصلاح شده (MK3)

فرض اصلی بیشتر مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون من-کندال بر این است که داده‌های نمونه خودهمبستگی معنی‌داری ندارند، با این حال ممکن است برخی سری‌های هیدرولوژیکی دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌دار باشند (دین‌پژوه و همکاران ۲۰۱۴). چنانچه یک سری دارای ضرایب خودهمبستگی مثبت باشد، احتمال اینکه آزمون من-کندال وجود روند را در این سری نشان دهد، افزایش می‌یابد. در این صورت فرض صفر، مبنی بر عدم وجود روند، رد می‌شود. درحالی‌که حقیقت این است که فرض صفر نباید رد شود (میرعباسی و دین‌پژوه ۱۳۸۹). آزمون اصلاح شده من-کندال توسط حامد و راثو (۱۹۹۸) ارائه و توسط کومار و همکاران (۲۰۰۹) برای تحلیل روند رودخانه‌های هند به کاررفته است. در این روش اثر همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از داده‌ها حذف می‌شود و برای سری‌هایی مورداستفاده قرار می‌گیرد که ضرایب خودهمبستگی آن‌ها در یک یا چند مورد معنی‌دار باشند. در این روش ابتدا واریانس اصلاح شده  $V(S)^*$ ، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*} \quad [۷]$$

که در آن:

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \times \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad [۸]$$

که در آن  $r_i$  ضریب خودهمبستگی با تأخیر  $i$  بوده و  $V(S)$  از رابطه ۴ تخمین زده می‌شود. برای محاسبه آماره  $Z$  من-کندال اصلاح شده در رابطه ۶،  $V(S)^*$  با جایگزین می‌گردد. مقدار آماره  $Z$

دما در ماه‌های مذکور  $(2/68^{\circ}\text{C})$   $(2/68=2/68 \times 0.67=1.40)$ ،  $(2/20^{\circ}\text{C})$  و  $(2/16^{\circ}\text{C})$  افزایش داشته است. همچنین در ماه گرم (ژوئیه) شیب افزایش دما  $1/7$  برابر ماه سرد (ژانویه) هست. در مقیاس سالانه نیز روند صعودی معنی‌دار دما مشهود بوده و  $(1/24^{\circ}\text{C})$  به میانگین سالانه ایستگاه سینوپتیک اصفهان در چهل سال گذشته افزوده شده است.

**اهواز:** با توجه به جدول ۲، مشاهده می‌شود که در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر، اکتبر و دسامبر روند افزایشی معنی‌دار وجود دارد. به عبارت دیگر، این ایستگاه روند صعودی معنی‌دار دما را در ۱۱ ماه از سال تجربه کرده است. بیشترین نرخ افزایش دما مربوط به ماه اوت با  $(3/24^{\circ}\text{C})$  و کمترین افزایش نیز برای ماه سپتامبر با  $(1/72^{\circ}\text{C})$  در چهار دهه اخیر هست. علاوه بر این در سردترین ماه (ژانویه) شیب افزایش دما با گرم‌ترین ماه سال (ژوئیه) برابری می‌کند. در مقیاس سالانه نیز روند معنی‌دار صعودی دما مشاهده می‌شود که به دلیل افزایش ماهانه درجه حرارت در این ایستگاه بوده است. همچنین در چهل سال گذشته با توجه به شیب سن،  $(2/24^{\circ}\text{C})$  به دمای سالانه اهواز افزوده شده که این رقم  $1/80$  برابر مقدار افزایش درجه حرارت اصفهان هست.

**بوشهر:** با توجه به جدول ۲، می‌توان نتیجه گرفت که ایستگاه بوشهر در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر (۱۱ ماه از سال) روند معنی‌دار افزایشی دما را در دوره مورد مطالعه داشته است. در ماه ژانویه نیز روند صعودی دما وجود دارد، اما این افزایش معنی‌دار نیست. در مقیاس ماهانه بوشهر، بیشترین افزایش دما مربوط به ماه فوریه و برابر با  $(1/92^{\circ}\text{C}/40\text{years})$  است. همچنین ماه ژوئیه با  $(1/20^{\circ}\text{C}/40\text{years})$  افزایش دما، کمترین مقدار افزایش را در این ایستگاه داشته است. در مقیاس سالانه نیز روند معنی‌دار افزایشی دما به دست آمده است و میزان افزایش دمای سالانه با توجه

به دست آمده از رابطه فوق با  $Z$  استاندارد نرمال در سطح معنی‌داری  $\alpha$  مقایسه می‌شود.

### شیب خط روند با روش تخمین‌گر سن

در آزمون من-کندال شیب خط روند سری داده‌ها با روش تخمین‌گر سن از رابطه ناپارامتری زیر محاسبه می‌گردد:

$$\beta = \text{Median} \left[ \frac{X_j - X_i}{j - i} \right] (j > i) \quad [9]$$

که در آن  $\beta$  برآوردگر شیب خط روند و  $X_i, X_j$  به ترتیب مقادیر مشاهداتی  $i$  ام و  $j$  ام می‌باشند. مقادیر مثبت (منفی)  $\beta$  نشان‌دهنده روند افزایشی (کاهش) در سری داده‌هاست (میرعباسی و دین‌پژوه ۱۳۹۱).

### نتایج و بحث

#### روند درجه حرارت هوا در مقیاس سالانه و ماهانه

آزمون روند برای سری‌هایی که فاقد  $r_k: k = 1, 2, \dots, n/4$  معنی‌دار بودند، با  $MK1$  و برای دیگر سری‌ها از روش  $MK3$  انجام شد. مقادیر آماره  $Z$  متوسط دمای ماهانه و سالانه محاسبه شده و نتایج حاصله در جداول ۲، ۳ و ۴ ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که در این جداول ارقام پررنگ نشان‌دهنده معنی‌داری روند بوده و معنی‌دار در سطوح ۱۰، ۵ و ۱ درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره مشخص شده‌اند. در ادامه وضعیت روند درجه حرارت هوای ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب به تفکیک ارائه می‌شود.

**اصفهان:** نتایج آزمون من-کندال ( $MK3$ ) برای اصفهان در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که به‌طور کلی در مقیاس ماهانه روند صعودی در تمامی ماه‌ها وجود دارد. اما در ماه‌های فوریه، مارس، می، ژوئن، ژوئیه، سپتامبر و اکتبر (۷ ماه از سال)، دما در این ایستگاه روند افزایشی معنی‌دار را تجربه کرده و با توجه به شیب سن می‌توان دریافت که در ماه‌های فوریه، مارس و اکتبر بیشترین نرخ افزایش دما رخ داده و در چهل سال گذشته به ترتیب،



معنی‌دار دما رخ نداده است. در ماه‌های ژانویه، نوامبر و دسامبر روند کاهشی غیر معنی‌دار و در سایر ماه‌ها روند افزایشی غیر معنی‌دار در دما مشاهده گردید. در مقیاس سالانه نیز به دلیل عدم وجود روند در مقیاس ماهانه، افزایش معنی‌داری در دمای سالانه اتفاق نیفتاده است. شکل ۲ نمودار تغییرات سالانه دمای این ایستگاه را به همراه خط روند نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲ می‌توان دریافت که وجود یک دوره دمای کاهشی در بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۸ باعث شده که روند کلی موجود در این ایستگاه در مقیاس سالانه معنی‌دار نباشد.

چابهار: نتایج آزمون من- کندال (MK3) در جدول ۳ برای چابهار ارائه شده است. با توجه به این جدول می‌توان روند افزایشی معنی‌دار دما را در ماه‌های فوریه و نوامبر مشاهده کرد. همچنین با توجه به شیب سن، مقدار افزایش دما در ماه‌های فوریه و نوامبر به ترتیب معادل  $(1/56) (^\circ\text{C}/40\text{years})$  و  $(1/80) (^\circ\text{C}/40\text{years})$  محاسبه گردید. در این بین ماه ژوئیه روند کاهشی و سایر ماه‌ها روند افزایشی غیر معنی‌دار دما را نشان می‌دهند. با توجه به اینکه در مقیاس ماهانه روند افزایشی دما چندان زیاد نیست، از این رو دمای سالانه نیز روند افزایشی خفیفی داشته است که معنی‌دار نیست. زابل: جدول ۳ نتایج آزمون من- کندال را برای زابل نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصله، روند افزایشی معنی‌دار دما در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر، اکتبر و نوامبر (۹ ماه از سال) مشهود است. در این بین بیشترین مقدار افزایش دما مربوط به ماه مارس و معادل  $(2/80) (^\circ\text{C}/40\text{years})$  هست. همچنین کمترین مقدار افزایش دما نیز در ماه ژوئن با مقدار  $(1/24) (^\circ\text{C}/40\text{years})$  رخ داده است. همچنین نسبت نرخ تغییرات دما در سردترین ماه سال (ژانویه) به گرم‌ترین ماه (ژوئیه) برابر با  $1/39$  هست. در مقیاس سالانه نیز روند معنی‌دار افزایشی دما مشاهده می‌شود و میزان افزایش دما در ۴۰ سال گذشته با توجه به شیب سن، برابر با  $(1/27) (^\circ\text{C})$  محاسبه شد.

به شیب سن، برابر با  $(1/48) (^\circ\text{C})$  در چهار دهه اخیر محاسبه شد.

بم: در جدول ۲ نتایج آزمون من- کندال برای بم ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر و اکتبر (۱۰ ماه از سال) روند افزایشی معنی‌دار دما وجود دارد و فقط ماه‌های نوامبر و دسامبر از روند غیر معنی‌دار افزایشی برخوردارند. در این ایستگاه نیز با توجه به شیب سن، بیشترین و کمترین افزایش دما مربوط به ماه‌های فوریه و ژوئن هست که به ترتیب  $(3/72) (^\circ\text{C})$  و  $(1/04) (^\circ\text{C})$  افزایش را در ۴۰ سال گذشته تجربه کرده‌اند. نسبت افزایش دما در گرم‌ترین ماه سال به سردترین ماه نیز برابر با  $1/37$  محاسبه شد. در مقیاس سالانه، ایستگاه سینوپتیک بم با آماره Z معادل  $2/51$  و شیب سن  $0/037$  روند معنی‌دار افزایش دما را تجربه کرده و در دوره ۴۰ ساله مورد مطالعه  $(1/48) (^\circ\text{C})$  به دمای سالانه آن افزوده شده است.

بندرعباس: با توجه به نتایج آزمون من- کندال (MK3) ارائه شده در جدول ۲ مشاهده می‌شود که بندرعباس در ماه‌های فوریه، آوریل، می، ژوئن، ژوئیه و اکتبر روند صعودی معنی‌دار دما را داشته و در ماه‌های ژانویه، مارس، اوت، سپتامبر، نوامبر و دسامبر روند افزایشی غیر معنی‌دار را تجربه کرده است. بیشترین و کمترین میزان افزایش دما در ماه‌های فوریه و اکتبر رخ داده و با توجه به شیب سن به ترتیب معادل  $(1/24) (^\circ\text{C})$  و  $(1/04) (^\circ\text{C})$  محاسبه گردید. سری سالانه نیز تحت تأثیر مقیاس ماهانه قرار گرفته و روند افزایشی معنی‌دار را تجربه کرده است. این ایستگاه در ۴۰ سال گذشته افزایش دمایی برابر با  $(1/32) (^\circ\text{C})$  را تجربه کرده است.

بیرجند: نتایج آزمون من- کندال ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که این ایستگاه در مقیاس ماهانه روند معنی‌دار افزایشی دما را فقط در دو ماه فوریه و مارس داشته است و در هیچ‌کدام از ماه‌ها تغییرات



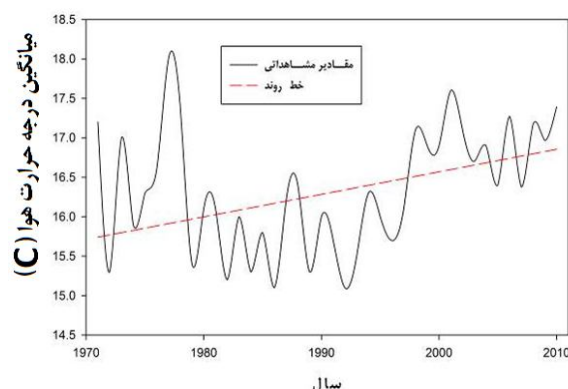
افزایش پیدا کرده است. به طوری که بیشترین مقدار افزایش دما در ماه فوریه بوده و مقدار آن معادل  $(^{\circ}\text{C}/40\text{years})$   $1/16$  است. علاوه بر این نسبت شیب سن در سردترین ماه سال (ژانویه) به گرمترین ماه (ژوئیه) برابر با  $1/72$  به دست آمد. در مقیاس سالانه نیز روند صعودی دما با توجه به آماره Z من- کندال معنی دار بوده و در چهار دهه گذشته به میزان  $(^{\circ}\text{C})$   $1/76$  افزایش یافته است.

شهرکرد: نتایج آزمون من- کندال (MK3) برای شهرکرد در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به این جدول می توان مشاهده کرد که روند تغییرات دما برعکس سایر ایستگاه های مورد مطالعه هست.

در جدول ۴ مورد تأیید قرار می گیرد. همچنین مقدار افزایش دما در مقیاس سالانه معادل  $(^{\circ}\text{C})$   $1/96$  در چهار سال اخیر هست.

طَبَس: نتایج آزمون من- کندال برای طبس در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به این جدول می توان نتیجه گرفت که در ۱۱ ماه از ۱۲ ماه سال، روند تغییرات دما افزایشی معنی دار است و فقط ماه دسامبر از روند صعودی غیر معنی دار برخوردار است. بیشترین مقدار افزایش دما معادل  $(^{\circ}\text{C}/40\text{years})$   $3/56$  است که در ماه اکتبر به وقوع پیوسته است. در ماه نوامبر نیز کمترین افزایش دما  $(^{\circ}\text{C}/40\text{years})$   $1/88$  بر اساس شیب سن ارائه شده در جدول ۴ رخ داده است. همچنین در ماه سرد (ژانویه) شیب افزایش دما  $1/03$  برابر ماه گرم (ژوئیه) هست. در مقیاس سالانه نیز روند افزایشی دما مشهود بوده و افزایشی برابر با  $(^{\circ}\text{C})$   $2/40$  در ایستگاه سینوپتیک طبس در چهار سال گذشته محاسبه شده است.

کرمان: با توجه به جدول ۴ مشاهده می شود که وضعیت در کرمان مشابه با ایستگاه طبس هست. به طوری که در ۱۰ ماه از سال روند تغییرات دما افزایشی معنی دار هست و فقط در ماه های ژوئن و



شکل ۲- نمودار تغییرات سالانه میانگین درجه حرارت هوا در ایستگاه بیرجند (۱۹۷۱-۲۰۱۰).

زاهدان: نتایج مربوط به آزمون من- کندال برای زاهدان، در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که در ماه های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئیه، اوت، سپتامبر و اکتبر، دما به طور معنی داری به عبارت دیگر در این ایستگاه، ماه های فوریه، می، ژوئن، اوت، سپتامبر و نوامبر روند نزولی معنی داری را نشان می دهند. همچنین دما در ماه های آوریل، ژوئیه، اکتبر و دسامبر روند منفی خفیفی داشته است، اما ماه های ژانویه و مارس روند مثبت غیر معنی دار را تجربه کرده اند. به دلیل وجود روند کاهشی در مقیاس ماهانه، روند تغییرات دمای سالانه نیز منفی غیر معنی دار بوده و با توجه به جدول ۳ آماره Z من-کندال آن، معادل  $1/36$ - هست. صبحی و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان دادند که روند دمای ایستگاه سینوپتیک شهرکرد کاهشی است و این موضوع با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

شیراز: جدول ۴ نتایج آزمون من- کندال را برای شیراز نشان می دهد. با توجه به جدول ۴ مشاهده می گردد که در تمامی ماه های سال به غیر از ماه ژانویه، روند تغییرات دما افزایشی معنی دار هست. بیشترین مقدار افزایش دما بر اساس آماره شیب سن، معادل  $(^{\circ}\text{C}/40\text{years})$   $2/68$  هست که در ماه فوریه رخ داده است. کمترین مقدار افزایش دما نیز مربوط به ماه نوامبر و به مقدار  $(^{\circ}\text{C}/40\text{years})$   $1/16$  هست. در مقیاس سالانه نیز روند افزایش معنی دار دما با توجه به آماره Z موجود

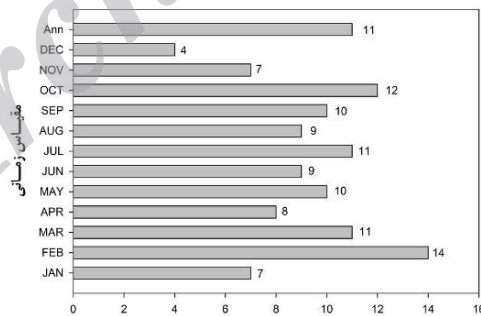
روند افزایشی ماهانه، دما روند معنی‌دار صعودی دارد و در دوره آماری مورد مطالعه به میزان  $(2/32^{\circ}\text{C})$  افزایش یافته است.

شکل ۳ به خوبی می‌تواند نمایشی از تغییرات دما در مقیاس ماهانه و سالانه را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در نیمه جنوبی کشور ارائه دهد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که در ماه‌های فوریه و دسامبر به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد ایستگاه با روند افزایشی معنی‌دار وجود دارد. همچنین تغییرات دما در ماه‌های سرد سال بیشتر از ماه‌های گرم سال است. علاوه بر این بیشترین نرخ افزایش دما (برابر با  $0/100$  درجه سلسیوس در سال) بر اساس شیب سن مربوط به ماه فوریه بوده که در یزد رخ داده است. شکل ۴ نمودار تغییرات دمای ماه فوریه را برای یزد نشان می‌دهد.

در مقیاس سالانه نیز با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که از ۱۴ ایستگاه مورد بررسی، ۱۱ ایستگاه

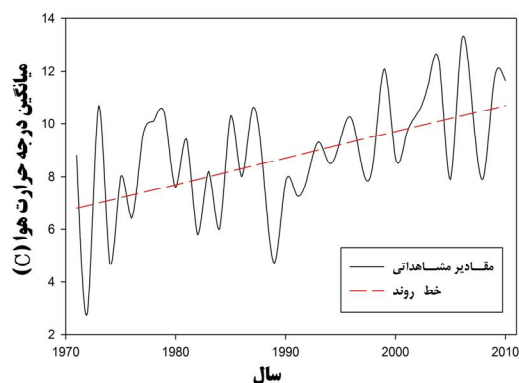
دسامبر روند صعودی خفیفی وجود دارد. بیشترین و کمترین افزایش دما به ترتیب متعلق به ماه‌های فوریه ( $3/56^{\circ}\text{C}/40\text{years}$ ) و آوریل ( $1/48^{\circ}\text{C}/40\text{years}$ ) است. همچنین نسبت نرخ تغییرات دما در گرم‌ترین ماه (ژوئیه) به سردترین ماه سال (ژانویه) برابر با  $1/06$  است. در مقیاس سالانه نیز روند دما، صعودی معنی‌دار بوده و در چهار دهه گذشته افزایش دما به میزان  $(2/44^{\circ}\text{C})$  تأیید شده است.

یزد: نتایج آزمون من-کندال برای یزد در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که در تمامی ماه‌های سال روند افزایشی معنی‌دار دما در این ایستگاه وجود دارد. بیشترین مقدار افزایش دما در ماه فوریه برابر با  $4/00^{\circ}\text{C}$  به وقوع پیوسته و کمترین میزان افزایش دما مربوط به ماه ژوئن و معادل  $1/16^{\circ}\text{C}$  است. علاوه بر این در ماه گرم (ژوئیه) شیب افزایش دما  $1/01$  برابر ماه سرد (ژانویه) محاسبه شد. در مقیاس سالانه نیز با توجه به روند افزایشی معنی‌دار را تجربه کرده‌اند و بیشترین نرخ افزایش دما مربوط به کرمان و معادل با  $0/061$  درجه سلسیوس در هر سال است.



شکل ۳- تعداد ایستگاه با روند افزایشی معنی‌دار

شکل ۳- تعداد ایستگاه با روند افزایشی معنی‌دار در مقیاس ماهانه و سالانه.



شکل ۴- نمودار تغییرات دمای ماه فوریه ایستگاه یزد در (۱۹۷۱-۲۰۱۰).

### نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه روند تغییرات دراز مدت (۴۰ ساله) متوسط دمای ماهانه و سالانه نیمه جنوبی کشور با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال، پس از حذف اثر خودهمبستگی معنی‌دار، در دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفت. همچنین شیب خط روند دما برای تمام سری داده‌ها با روش ناپارامتری سن تعیین شد. به‌طور خلاصه نتایج حاصله به شرح زیر ارائه می‌گردد:

- نتایج نشان داد که روند دما در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایشی است. این نتیجه با یافته‌های طبری و حسین‌زاده طلایی (۲۰۱۱a)، صبوحی و همکاران (۲۰۰۸) و زارع نیستانک و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. در مقیاس ماهانه بیشتر

ایستگاه‌ها روند افزایشی دما را تجربه کرده‌اند. در این بین ماه فوریه بیشترین تعداد ایستگاه (تمامی ایستگاه‌ها) با روند معنی‌دار افزایشی را داشته است. بعد از آن به ترتیب ماه‌های اکتبر، مارس، ژوئیه، سپتامبر، می، ژوئن، اوت، آوریل، نوامبر، ژانویه و دسامبر قرار دارند. شدیدترین افزایش مربوط به ایستگاه سینوپتیک یزد و در ماه فوریه هست که مقدار افزایش دمای آن معادل  $4/00 (^{\circ}\text{C}/40\text{years})$  محاسبه شد. بیشترین کاهش دما نیز در ایستگاه شهرکرد و در ماه اوت مشاهده گردید. به‌طور کلی ۶۷ درصد از ایستگاه‌ها در مقیاس ماهانه روند افزایشی، ۳ درصد روند کاهشی و ۳۰ درصد بدون روند بودند (در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد).

جدول ۲- نتایج آزمون من- کندال (MK3) برای ایستگاه‌های سینوپتیک اصفهان، اهواز، بوشهر، بم، بندرعباس و بیرجند (۲۰۱۰-۱۹۷۱).

ردیف	مقیاس زمانی	اصفهان		اهواز		بوشهر		بم		بندرعباس		بیرجند	
		شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z
۱	ژانویه	۰/۰۱۷	۲/۱۸***	۰/۰۵۸	۲/۱۸***	۱/۰۰۴	۱/۹۷***	۰/۰۵۴	۱/۷۸*	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۷۶	۰/۱۸
۲	فوریه	۰/۰۶۷	۲/۳۹***	۰/۰۷۵	۳/۱۹***	۱/۹۶***	۱/۹۳***	۰/۰۹۳	۲/۸۲***	۰/۰۴۴	۲/۲۴***	۱/۷۷*	۰/۵۰
۳	مارس	۰/۰۵۵	۲/۰۶***	۰/۰۵۸	۲/۸۸***	۲/۳۰**	۲/۳۰***	۰/۰۳۳	۲/۹۳***	۱/۴۷	۱/۴۷	۱/۶۶*	۰/۵۸
۴	آوریل	۰/۰۲۹	۱/۴۳	۰/۰۵۴	۲/۹۷***	۲/۷۹***	۲/۷۹***	۰/۰۶۷	۲/۰۱**	۰/۰۳۱	۲/۲۴***	۰/۵۴	۰/۱۴
۵	می	۰/۰۳۵	۲/۰۸**	۰/۰۷۳	۲/۵۱***	۱/۹۲**	۱/۹۲**	۰/۰۶۱	۲/۴۸***	۰/۰۴۱	۳/۴۸***	۰/۸۲	۰/۲۲۳
۶	ژوئن	۰/۰۲۰	۱/۶۶*	۰/۰۶۵	۲/۶۵***	۳/۲۱***	۳/۲۱***	۰/۰۲۶	۱/۶۶*	۰/۰۲۵	۲/۳۸***	۰/۵۷	۰/۰۰۹
۷	ژوئیه	۰/۰۲۹	۲/۲۲**	۰/۰۵۸	۲/۳۳***	۲/۷۷***	۲/۷۷***	۰/۰۷۴	۳/۹۳***	۰/۰۱۷	۲/۵۴***	۱/۴۰	۰/۰۲۲
۸	اوت	۰/۰۲۰	۱/۱۰	۰/۰۸۱	۱/۹۴***	۳/۱۶***	۳/۱۶***	۰/۰۵۷	۳/۲۱***	۰/۰۰۸	۱/۲۲	۰/۲۲	۰/۰۰۵
۹	سپتامبر	۰/۰۲۸	۱/۹۳**	۰/۰۷۳	۳/۹۱***	۲/۳۶***	۲/۳۶***	۰/۰۶۱	۳/۰۳***	۰/۰۰۹	۱/۳۷	۱/۲۰	۰/۰۲۲
۱۰	اکتبر	۰/۰۵۴	۲/۸۱**	۰/۰۲۵	۳/۷۰***	۲/۰۹***	۲/۰۹***	۰/۰۷۵	۲/۹۶***	۰/۰۲۳	۱/۹۶***	۱/۰۷	۰/۰۳۳
۱۱	نوامبر	۰/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲۵	۱/۶۱	۲/۳۵***	۲/۳۵***	۰/۰۲۹	۱/۳۳	۰/۰۱۵	۱/۵۱	-۰/۰۴۰	-۰/۰۰۶
۱۲	دسامبر	۰/۰۱۴	۰/۰۴۱	۰/۰۶۲	۲/۲۳***	۱/۷۵*	۱/۷۵*	۰/۰۲۸	۰/۷۱	۰/۰۱۲	۰/۷۸	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۰
۱۳	سالانه	۳/۶۰***	۰/۰۳۱	۲/۲۱***	۰/۰۵۶	۲/۷۲***	۲/۷۲***	۲/۵۱***	۰/۰۵۹	۲/۱۷***	۰/۰۳۳	۱/۳۷	۰/۰۷۸

\*روندهای معنی‌دار در سطوح ۰.۱، ۰.۵ و ۱ درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره به صورت پرتیک مشخص شده‌اند.  
 \*\*واحد شیب سن درجه سلسیوس در سال است.

جدول ۳- نتایج آزمون من- کندال (MK3) برای ایستگاه‌های چابهار، زابل، زاهدان و شهرکرد (۲۰۱۰-۱۹۷۱).

ردیف	مقیاس زمانی	چابهار		زابل		زاهدان		شهرکرد	
		شیب سن	Z	شیب سن	Z	شیب سن	Z	شیب سن	Z
۱	ژانویه	۰/۱۸	۰/۹۶	۰/۰۶۶	۱/۸۹*	۰/۰۵۰	۲/۲۴**	۰/۰۲۳	۰/۳۶
۲	فوریه	۰/۳۹	۱/۹۰**	۰/۰۵۶	۱/۸۴*	۰/۰۷۹	۲/۵۷**	۰/۰۵۷	۱/۷۴*
۳	مارس	۰/۲۰	۰/۸۹	۰/۰۷۰	۲/۱۵**	۰/۰۷۴	۲/۷۳***	۰/۰۳۳	۱/۲۷
۴	آوریل	۰/۱۰	۰/۴۹	۰/۰۲۰	۰/۵۶	۰/۰۴۰	۱/۶۹*	-۰/۰۳۲	-۱/۳۴
۵	می	۰/۳۳	۱/۶۲	۰/۰۲۴	۰/۸۶	۰/۰۴۲	۱/۹۷**	-۰/۰۴۹	-۲/۸۱***
۶	ژوئن	۰/۰۵	۰/۴۳	۰/۰۳۱	۱/۹۶**	۰/۰۱۳	۱/۱۷	-۰/۰۵۹	-۱/۶۹*
۷	ژوئیه	-۰/۰۰۲	-۰/۲۵	۰/۰۳۳	۱/۹۷**	۰/۰۲۹	۲/۰۲**	-۰/۰۴۵	-۱/۵۹
۸	اوت	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۶۵	۳/۳۲***	۰/۰۳۶	۲/۲۷**	-۰/۰۶۵۴	-۲/۵۱***
۹	سپتامبر	۰/۰۰۱	-۰/۰۱۳	۰/۰۴۳	۲/۶۶***	۰/۰۴۷	۲/۸۲***	-۰/۰۵۵	-۱/۸۶*
۱۰	اکتبر	۰/۰۲۵	۰/۶۸	۰/۰۶۴	۲/۳۸***	۰/۰۷۰	۲/۴۸***	-۰/۰۲۲	-۱/۲۰
۱۱	نوامبر	۰/۰۴۵	۲/۱۸**	۰/۰۳۴	۱/۷۸*	۰/۰۳۷	۱/۵۶	-۰/۰۴۵	-۲/۸۶***
۱۲	دسامبر	۰/۰۲۰	۰/۹۹	۰/۰۱۷	۱/۰۱	۰/۰۲۶	۰/۸۵	-۰/۰۳۶	-۰/۹۴
۱۳	سالانه	۰/۰۱۶	۱/۶۱	۰/۰۴۳	۱/۸۲***	۰/۰۴۴	۲/۰۹**	-۰/۰۲۸	-۱/۳۶

\*روندهای معنی‌دار در سطوح ۱۰، ۵ و ۱ درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره به صورت پررنگ مشخص شده‌اند.

\*واحد شیب سن درجه سلسیوس در سال است.

جدول ۴- نتایج آزمون من- کندال (MK3) برای ایستگاه‌های شیراز، طبس، کرمان و یزد (۲۰۱۰-۱۹۷۱).

ردیف	مقیاس زمانی	شیراز		طبس		کرمان		یزد	
		شیب سن	Z	شیب سن	Z	شیب سن	Z	شیب سن	Z
۱	ژانویه	۰/۲۹	۱/۴۳	۰/۰۶۷	۲/۳۷***	۰/۰۴۶	۲/۱۸**	۰/۰۵۷	۱/۹۴**
۲	فوریه	۰/۰۶۷	۳/۴۹***	۰/۰۷۵	۲/۶۵***	۰/۰۸۹	۳/۱۰***	۰/۱۰۰	۳/۰۸***
۳	مارس	۰/۰۶۱	۲/۷۲***	۰/۰۹۳	۳/۱۶***	۰/۰۶۷	۲/۶۸***	۰/۰۷۱	۲/۴۲***
۴	آوریل	۰/۰۴۸	۲/۲۷**	۰/۰۷۹	۲/۳۷**	۰/۰۳۷	۱/۹۴**	۰/۰۵۰	۲/۲۳**
۵	می	۰/۰۵۷	۲/۵۰***	۰/۰۷۳	۳/۱۹***	۰/۰۴۸	۲/۵۹**	۰/۰۵۰	۲/۴۲***
۶	ژوئن	۰/۰۴۶	۲/۹۴***	۰/۰۵۹	۳/۰۹***	۰/۰۱۶	۱/۱۷	۰/۰۲۹	۲/۴۵***
۷	ژوئیه	۰/۰۵۱	۳/۹۳***	۰/۰۶۵	۲/۹۸**	۰/۰۶۱	۳/۰۸***	۰/۰۵۸	۳/۱۰***
۸	اوت	۰/۰۵۰	۲/۳۰**	۰/۰۶۶	۲/۰۰**	۰/۰۴۹	۲/۵۹**	۰/۰۵۴	۲/۹۰***
۹	سپتامبر	۰/۰۵۹	۱/۹۰**	۰/۰۵۲	۱/۸۲*	۰/۰۶۵	۲/۷۴***	۰/۰۵۰	۳/۴۶***
۱۰	اکتبر	۰/۰۶۵	۲/۱۱**	۰/۰۸۹	۲/۴۳***	۰/۰۸۲	۳/۱۲***	۰/۰۸۸	۲/۰۹**
۱۱	نوامبر	۰/۰۲۹	۲/۰۸**	۰/۰۴۷	۲/۲۷**	۰/۰۶۰	۳/۴۴***	۰/۰۴۵	۲/۱۹**
۱۲	دسامبر	۰/۰۳۷	۱/۸۳*	۰/۰۳۲	۱/۲۱	۰/۰۴۰	۱/۴۴	۰/۰۵۰	۱/۷۴*
۱۳	سالانه	۰/۰۴۹	۲/۳۹***	۰/۰۶۰	۲/۱۴**	۰/۰۶۱	۲/۴۱***	۰/۰۵۸	۲/۳۹***

\*روندهای معنی‌دار در سطوح ۱۰، ۵ و ۱ درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره به صورت پررنگ مشخص شده‌اند.

\*واحد شیب سن درجه سلسیوس در سال است.

رفتاری مخالف با سایر ایستگاه‌ها داشته و با کاهش غیر معنی‌دار دما همراه بوده است و دمای آن ( $1/12^{\circ}\text{C}$ ) کاهش داشته است.

• به نظر می‌رسد تجمع گازهای گلخانه‌ای، تغییر کاربری اراضی و پدیده گرمایش جهانی از جمله عواملی هستند که سبب گرم شدن هوا می‌گردد. تغییرات دما می‌تواند ساختار آب و هوایی را دگرگون کرده و با افزایش ظرفیت جو برای پذیرش بخار آب، رطوبت نسبی را کاهش دهد. علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان دادند که ۲۸ ایستگاه (از ۴۴ ایستگاه مورد بررسی) در گستره ایران زمین و در مناطق غرب، شمال غرب، جنوب غرب، شمال شرق و مرکز ایران تغییرات افزایشی دماهای بیشینه در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد. ۳۳ ایستگاه نیز روند افزایشی در دمای کمینه را نشان دادند که این امر می‌تواند افزایش متوسط درجه حرارت را به خوبی توجیه نماید. این افزایش دما متغیرهای دیگری نظیر بارش، تبخیر، رطوبت نسبی و جریان‌ات رودخانه‌ها را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. میرعباسی و دین‌پژوه (۱۳۹۱) یکی از دلایل کاهش بارندگی‌های منطقه شمال غرب ایران را افزایش دما عنوان کردند که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. همچنین میرعباسی و دین‌پژوه (۱۳۸۹) روند کاهش جریانات رودخانه‌های شمال غرب ایران را نیز کاهش اعلام کردند که می‌تواند به دلیل کاهش بارندگی و افزایش دما در منطقه باشد. دین‌پژوه و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که در ایران روند افزایشی تبخیر و تعرق وجود دارد که یکی از دلایل آن می‌تواند روند افزایشی دما باشد.

• تقریباً تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه (به جز شهرکرد) در منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده‌اند و بر اساس نتایج حاصله، روند دما در آن‌ها افزایشی است. این مسئله برای منطقه مورد مطالعه

• همان‌گونه که مشاهده شد ایستگاه سینوپتیک شهرکرد، رفتاری متفاوت با سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه داشته و روند نزولی دما را نشان می‌دهد. هنگامی که در یک منطقه معین، علامت روند یک ایستگاه با ایستگاه‌های دیگر متفاوت است، بیشترین احتمال می‌تواند به تغییرات عوامل محلی مربوط باشد. در این حالت به نظر می‌رسد که تغییر در شرایط محلی ایستگاه، مهم‌ترین علت باشد. این تغییر ممکن است ناشی از تغییر شرایط خرد اقلیمی در اطراف ایستگاه باشد و یا تغییراتی که به‌طور ناگهانی اتفاق افتاده‌اند. مثلاً ایستگاه تغییر مکان یابد، پل یا سدی در اطراف آن احداث شود، دستگاه اندازه‌گیری یا دیده‌بان یا نوع ایستگاه تعویض شود. از طرفی ممکن است این تغییرات به صورت تدریجی باشد، مثلاً رشد درختان یا احداث تدریجی ساختمان در اطراف ایستگاه یا به‌طور کلی تغییر تدریجی محیط اطراف ایستگاه، عامل این امر باشد. برای تشخیص میزان روند واقعی، باید موارد زیادی از این قبیل را بررسی کرد. این کار با مطالعه تفصیلی شناسه کاملاً دقیق داده‌ها و ترجیحاً مکتوب ایستگاه، میسر است. در مورد ایستگاه سینوپتیک شهرکرد نیز انجام چنین مطالعاتی پیشنهاد می‌شود تا روند واقعی ایستگاه مشخص گردد. البته به نظر می‌رسد که این تفاوت رفتار در دمای ایستگاه شهرکرد با ایستگاه‌های دیگر به دلیل ارتفاع بیشتر این ایستگاه نسبت به بقیه باشد (جدول ۱).

• در مقیاس سالانه از ۱۴ ایستگاه مورد بررسی، ۱۱ ایستگاه روند افزایشی معنی‌دار (۷۹ درصد)، یک ایستگاه روند کاهش غیر معنی‌دار و ۲ ایستگاه فاقد روند بودند. در این بین ایستگاه سینوپتیک کرمان با بیشترین افزایش دما روبرو بوده و در چهل سال گذشته دمای آن به مقدار ( $2/44^{\circ}\text{C}$ ) افزایش یافته است. همچنین ایستگاه شهرکرد

مهندسی و مدیریت منابع آبی این مناطق بایستی روند افزایشی دما نیز مدنظر قرار گیرد. همچنین در ادامه می‌توان زمان تغییر روند را در هریک از ایستگاه‌ها تعیین نمود که برای مطالعات بعدی پیشنهاد می‌شود.

چندان مناسب به نظر نمی‌رسد، چراکه با کاهش پوشش گیاهی، بیابان‌زایی، افزایش نیاز آبی برای جبران تبخیر و تعرق، کاهش بارندگی، فشار بر آب‌های زیرزمینی و در نهایت کاهش منابع آبی همراه خواهد بود. مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش از ۶۰ درصد کشور را در بر می‌گیرد و در

#### منابع مورد استفاده

- اسمعیل‌پور م و دین‌پژوه ی، ۱۳۹۱. تحلیل بلندمدت تبخیر تعرق پتانسیل در حوضه جنوبی ارس. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، جلد ۴۷، شماره ۳، صفحه‌های ۱۹۳ تا ۲۱۰.
- خلیلی ک، احمدی ف، بهمنش ج و وردی‌نژاد و، ۱۳۹۱. بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر روی دمای هوا و جریان رودخانه شهرچای واقع در غرب دریاچه ارومیه با استفاده تحلیل روند و ایستایی. علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۵، شماره ۴، صفحه‌های ۹۷ تا ۱۰۸.
- علیجانی ب، محمودی پ، سلیقه م و ریگی جاهی ا، ۱۳۹۰. بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، جلد ۲۶، شماره ۳، صفحه‌های ۱۰۱ تا ۱۲۲.
- میرعباسی ر، و دین‌پژوه ی، ۱۳۸۹. تحلیل روند تغییرات آبدی رودخانه‌های شمال‌غرب ایران در سه دهه اخیر. نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۴، صفحه‌های ۷۵۷ تا ۷۶۸.
- میرعباسی ر و دین‌پژوه ی، ۱۳۹۱. تحلیل بارش‌های شمال‌غرب ایران در نیم قرن گذشته. مجله علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۵، شماره ۴، صفحه‌های ۵۹ تا ۷۳.
- Boccolari M and Malmusi S, 2013. Changes in temperature and precipitation extremes observed in Modena, Italy. *Atmospheric Research* 122: 16-31.
- Dinpashoh Y, Jhajharia D, Fakheri-Fard A, Singh VP and Kahya E, 2011. Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology* 399: 422-433.
- Dinpashoh Y, Mirabbasi R, Jhajharia D, Zare Abianeh H and Mostafaeipour, A. 2014. Effect of short term and long-term persistence on identification of temporal trends. *Journal of Hydrologic Engineering* 19(3): 617-625.
- Gahreman B, 2006. Time trend in the mean annual temperature of Iran. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30: 439-448.
- Gocic M and Trajkovic S, 2013. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change* 100: 172-182.
- Hamed KH and Rao AR, 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology* 204: 182-196.
- Kousari MR, and Asadi Zarch MA, 2010. Minimum, maximum, and mean annual temperatures, relative humidity, and precipitation trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 4(6): 907-914.
- Kousari MR, Ahani H and Hendi-Zadeh R, 2013. Temporal and spatial trend detection of maximum air temperature in Iran during 1960-2005. *Global and Planetary Change* 111: 97-110.
- Kumar S, Merwade V, Kam J and Thurner K, 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology* 374: 171-183.
- Lane M, Kirshen P and Vogel R, 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. *Journal of Water Resources Planning and Management* 125(4): 194-204.
- Martinez C, Maleski J and Miller F, 2012. Trends in precipitation and temperature in Florida, USA. *Journal of Hydrology* 453: 259-281.
- Rio SD Herrero L, Pinto-Gomes C and Peras A, 2011. Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961-2006. *Global and Planetary Change* 78: 65-75.
- Sabooi R and Soltani S, 2008. Trend analysis of climatic factors in great cities of Iran. *Agriculture and Natural Resources* 12(46): 303-322.



- Saboohi R, Soltani S, Khodaghali M, 2012. Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 109: 529–547.
- Tabari H and Hosseinzadeh-Talaei P, 2011a. Recent trends of mean maximum and minimum air temperatures in the western half of Iran, *Journal of Meteorological Atmosphere Physics* 111: 121–131.
- Tabari H and Hosseinzadeh-Talaei P, 2011b. Analysis trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Atmospheric Research* 79:1-10.
- Wang Q, Fan X, Qin Z and Wang M, 2012. Change trends of temperature and precipitation in the Loess Plateau Region of China, 1961–2010. *Global and Planetary Change* 93:138-147.
- Yang XL, Xu LR, Li Ch, Hu J and Xia XH, 2012. Trends in temperature and precipitation in the Zhangweinan River basin during last 53 years. *Procedia Environmental Sciences* 13: 1966-1774.
- Zarenistanak M, Dhorde AG and Kripalani RH, 2014. Temperature analysis over southwest Iran: trends and projections. *Theoretical and Applied Climatology* 116: 103-117.

Archive of SID