

تحلیل روند پارامترهای اقلیمی استان خوزستان با استفاده از آزمون من کندال (TFPW-MK)

مینا ترکمان^۱، علی اکبر نوروزی^{۲*}، مهدی همایی^۳

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- نویسنده مسئول، دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
ایمیل نویسنده مسئول: noroozi.aa@gmail.com
۳-استاد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه تربیت مدرس، تهران
تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱/۳۱

چکیده

امروزه پدیده تغییر اقلیم سبب بروز نگرانی‌های فراوانی در نقاط مختلف جهان شده است. به همین دلیل پژوهشی در راستای یافتن ردپایی از این پدیده جهانی در استان خوزستان انجام شد. بدین منظور، از اطلاعات هواشناسی شامل پارامترهای دمایی، بارندگی، تبخیر و تعرق و رطوبت نسبی برای ۱۵ ایستگاه هواشناسی در بازه زمانی ۲۱ ساله (۱۹۹۶-۲۰۱۶) و آزمون نموداری من کندال برای تعیین روند استفاده شد. نتایج نشان دهنده روند معنادار کاهشی در پارامتر بارندگی برای ایستگاه‌های صفی آباد، هندیجان، مسجدسلیمان و بندر ماهشهر با سطح اطمینان ۹۵٪ و امیدیه با سطح اطمینان ۹۹٪ بود. همچنین، روند افزایشی معناداری با سطح اطمینان ۹۵٪ در بیشتر ایستگاه‌ها در پارامترهای دمایی برقرار بوده که این روند در ایستگاه‌های بستان، هندیجان و ایذه با سطح اطمینان ۹۹٪ وجود داشته است. روند افزایشی معنادار تبخیر و تعرق در دو ایستگاه بستان و صفی آباد با سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ و روند کاهشی معنادار با سطح اطمینان ۹۹٪ برای ایستگاه‌های شوشتر، ایذه، آبادان، مسجدسلیمان و اهواز مشاهده شد. همچنین روند کاهشی معنادار در ایستگاه‌های بستان، صفی آباد، ایذه، امیدیه و مسجدسلیمان در پارامتر رطوبت نسبی وجود داشت که همه این تغییرات نشان دهنده اثر تغییر اقلیم در منطقه می‌باشد.

کلمات کلیدی: "تغییر اقلیم"، "خوزستان"، "روندابی"، "من کندال"

Analysis of the Trends of Climate Parameters Using Mann Kendal Test (TFPW-MK) In Khuzestan Province

Mina Torkaman¹, Ali Akbar Noroozi^{2*} and Mehdi Homaei³

¹ Graduated of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

^{2*} Associate Professor, Institute of Soil Conservation and Watershed Management, Areo, Tehran, Iran

³ Prof. Dr. of Department of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

*Email Address: noroozi.aa@gmail.com

Abstract

Nowadays, climate change causes abundant worries in different spots in the world. For this reason, a study was conducted to find the trace of this global phenomenon in Khuzestan province. Therefore, we used meteorology data including temperature parameters, rainfall, evapotranspiration and relative humidity for 15 weather stations in a period of 21 years (1996-2016) and Mann Kendal graph to determine the trend. The result illustrates that there is a meaningful downward trend for rainfall parameter in SafiAbad, Hendijan, Masjedsoleiman and Bandar-E-Mahshar with confidence level of 95% and Omidiyeh with confidence level of 99%. Moreover, there is a meaningful upward trend with confidence level of 95% in temperature parameters in most stations, while this level is 99% in Bostan, Hendijan and Izeh. In addition, a meaningful upward trend in evapotranspiration in two station of Bostan and SafiAbad with confidence level of 95% and 99% and a meaningful downward trend with confidence level of 99% for Shushtar, Izeh, Abadan, Masjedsoleiman and Ahwas as well, is visible. There is a meaningful downward trend in relative humidity in Bostan, SafiAbad, Izeh, Omidiyeh and Masjedsoleiman, which all present the climate change effect in region.

Keywords

"Climate change", "Khuzestan", "Mann Kendal", "trend"

۱- مقدمه

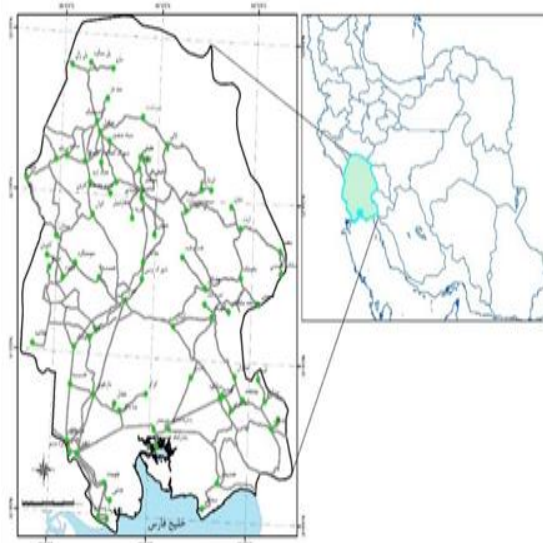
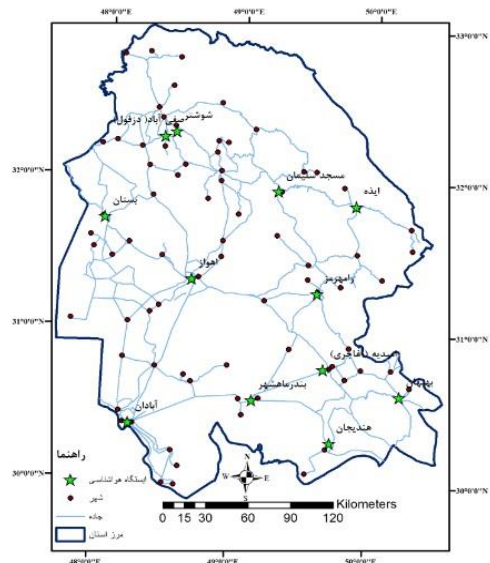
قم را برای سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۲ مورد مطالعه قرار دادند و متوجه شدند که میانگین حداقل و متوسط دمای سالانه دچار جهش اقلیمی و بارندگی فاقد روند معنی‌دار می‌باشد. همچنین دریافتند که میانگین رطوبت نسبی نوسانات زیادی داشته و روند آن افزایشی است. ونگ و همکاران (Wang et al., 2014) با انجام پژوهشی در چین با استفاده از آزمون من کندال بر روی پارامترهای اقلیمی دما، رطوبت نسبی و باد برای سال‌های ۱۹۵۴ تا ۲۰۱۲ متوجه روند مثبت دما و کاهش رطوبت نسبی و سرعت باد شدند. بلین (Blain, 2014) با استفاده از آزمون من کندال به بررسی تغییرات اقلیمی بر روی داده‌های ماهانه، حداقل و حداکثر بارش و دما در برزیل پرداختند. نتایج نشان‌دهنده اثرات تغییر اقلیم بود. رحیمی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی پارامترهای دما، بارش و تبخیر در دامنه‌های شمالی رشته‌کوه‌های کرکس برای دوره‌های زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹ و ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۷ متوجه شدند که داده‌های مورد بررسی در سطح اطمینان ۹۵٪ پارامترهای دما به ویژه میانگین کمینه‌ی سالانه به ویژه فصل زمستان، روزهای بارش بیش از ده میلی متر سیر افزایشی و بارش سالانه بدون روند است. در دوره آماری بیست ساله‌ی (۲۰۰۷-۱۹۸۷) داده‌های دما و تبخیر از سیر صعودی با شتاب بیشتری نسبت به دوره‌ی ۲۰۰۹-۱۹۸۰ همراه بوده و میانگین-های سالانه، بیشینه و کمینه‌ی دما معنی‌دار و دارای روند افزایشی، بارش فاقد روند و تبخیر بدون روند می‌باشد

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۰۵۷ کیلومتر مربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف-النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا، در جنوب غربی ایران واقع شده است این استان از شمال غربی با استان ایلام، از شمال با استان لرستان، از شمال شرقی و شرق با استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق هم‌مرز است (سازمان هواشناسی کشور). برای تهیه داده‌های زمینی از اطلاعات مربوط به ۱۵ ایستگاه هواشناسی استان خوزستان استفاده شد. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در جدول زیر آمده است.

تغییر اقلیم از چالش‌های بسیار مهم در سده‌ی ۲۱ می‌باشد. گرمای جهانی سبب تغییرات بسیار ناپایداری در پارامترهای اقلیمی مانند: تغییرات در الگوی بارندگی و تناوب و شدت تغییرات آب و هوایی شده است (Ferrianta et al., 2014). موضوع تغییر اقلیم به جهت تأثیر بر ابعاد مختلف زندگی بشر و وابستگی فعالیت‌های بشر به آن به یکی از دغدغه‌های اصلی دانشمندان مرتبط با علوم جوی تبدیل شده است و بسیاری از پژوهشگران سعی در شناخت ابعاد مختلف این پدیده مهم دارند. تغییر در عناصر اقلیمی به ویژه دما و بارش از مهمترین نشانه‌های این پدیده به شمار می‌آید (نصرآبادی، ۱۳۹۵). تغییرات دما و بارش در نقاط مختلف زمین از روند یکسانی پیروی نمی‌کند و تغییر اقلیم لزوماً به معنی تغییر همزمان بارش و دما نیست (Clerk, 2003). مقدار، توزیع و تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما از عوامل اساسی برای تصمیم‌گیری، مدیریت، برنامه‌ریزی و طراحی به‌ویژه در مناطقی همچون کشور ایران است که به لحاظ جغرافیایی در نوار عرضی ۲۸ تا ۴۸ درجه شمالی قرار دارد و دارای اقلیم خشک و نیمه-خشک است (دارابی و همکاران، ۱۳۹۵). جهت تشخیص روند در سری‌های زمانی متغیرهای آب و هواشناسی از آزمون‌های مختلفی استفاده می‌گردد که این آزمون‌ها به دو دسته پارامتری و غیرپارامتری قابل تفکیک می‌باشند. آزمون‌های پارامتری نسبت به آزمون‌های غیرپارامتری توان بیشتری در تشخیص روند دارند و هنگام استفاده از آنها بایستی داده‌ها تصادفی و دارای توزیع نرمال باشند. از طرف دیگر آزمون‌های غیرپارامتری در صورت تصادفی بودن داده‌ها قابل استفاده‌اند و به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند (Chen, et al., 2007; Hamed and Rao, 1998; Yue, et al., 2002). آزمون من کندال یک آزمون غیرپارامتری است که در پژوهش‌های بررسی روند متغیرهای آب و هواشناسی از آن استفاده می‌شود. در این رابطه می‌توان به پژوهش‌های جلتز (Gellens, 2000)، کاهیا و کالایسی (Kahya and Kalayci, 2004)، گادگیل و دورده (Gadgil and Dhorde, 2005)، لی و همکاران (Li, et al., 2008) و یانینگ و همکاران (Yaning, et al., 2009) اشاره نمود (سبزی پرور و شادمانی، ۱۳۹۰). دارابی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش آماری من کندال، روند تغییرات اقلیمی پارامترهای بارش، دما، باد و رطوبت نسبی استان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان خوزستان

شکل ۲- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان خوزستان

برای انجام این پژوهش از داده‌های اقلیمی (بارش متوسط، تبخیر و تعرق متوسط، رطوبت متوسط و پارامترهای دما) تهیه شده از سازمان هواشناسی استان تهران برای یک دوره‌ی آماری ۲۱ ساله از ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ استفاده شده است. برای تحلیل روند پارامترهای اقلیمی از آزمون من کندال استفاده شده است که در ادامه به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

• آزمون ناپارامتری من کندال

این آزمون ابتدا در سال ۱۹۴۵ توسط "Mann" ارائه شد و سپس در سال ۱۹۶۶ توسط "Kendall" توسعه یافت. این آزمون نیاز به توزیع فراوانی نرمال و یا خطی بودن رفتار داده‌ها ندارد و نسبت به داده‌هایی که در رفتار خطی انحراف دارند بسیار قوی عمل کرده و به منظور ارزشیابی روند به کار برده می‌شود (دارابی و همکاران، ۱۳۹۵). در این آزمون فرض صفر (H_0) و فرض مقابل (H_1) به ترتیب معادل بدون روند و وجود روند در سری زمانی داده‌های مشاهداتی است. این آزمون به دو روش انجام می‌شود:

۱- آزمون آماره T من کندال:

برای انجام این آزمون ابتدا باید آماره S را با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود:

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

که در آن مقدار داده X_j از j ام، n تعداد داده‌ها و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت و با رابطه زیر قابل محاسبه است:

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در استان

خوزستان		
ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
یستان	۳۱.۷۰۷۷۸	۴۸.۰۱
بندر ماهشهر	۳۰.۵۴۵۵۶	۴۹.۱۵۹۱۷
بهبهان	۳۰.۶۰۵۵۶	۵۰.۲۱۷۲۲
اهراز	۳۱.۳۴۶۷۲	۴۸.۷۴۶۱۷
مسجد سلیمان	۳۱.۹۸۳۳۳	۴۹.۲۴۰۸۳
رمهرمز	۳۱.۲۷۲۷۸	۴۹.۵۹۶۳۹
صفی آباد	۳۲.۲۵۳۳۳	۴۸.۴۳۳۰۶
شوشتر	۳۲.۰۵	۴۸.۸۳۳۳۳
امیدیه	۳۰.۷۴۲۵	۴۹.۶۸۷۷۸
ایذه	۳۱.۸۴۷۵	۴۹.۸۵۴۴۴
هندجان	۳۰.۲۴۹۴۴	۴۹.۷۰۶۳۹
آبادان	۳۰.۳۷۷۲۲	۴۸.۲۱۴۷۲

محاسبه می‌کنیم. امید ریاضی، واریانس و شاخص U_i' به شرح زیر است:

$$E_i' = \frac{[N-(n_i-1)](N-n_i)}{4} \quad (۸)$$

$$V_i' = \frac{[N-(n_i-1)](N-n_i)[2(N-(n_i-1))] + 5}{72} \quad (۹)$$

$$U_i' = \frac{-(\sqrt{t_i' - E_i'})}{\sqrt{V_i'}} \quad (۱۰)$$

در روابط فوق N حجم نمونه آماری مورد مطالعه است. محل تلاقی شاخص U_i و U_i' با نشانه تغییر ناگهانی در رفتار زمانی سری آماری است. عدم تلاقی منحنی و یا قرارگیری آنها در داخل محدوده ۹۵ درصد اطمینان، تغییرات معنی‌داری را در داده‌ها نشان نمی‌دهد، اما اگر خطوط مذکور همدیگر را در داخل محدوده بحرانی $\pm 1/96$ و $\pm 2/58$ قطع کنند و سپس از محدوده بحرانی خارج شوند، نشانه تغییری ناگهانی و روندی معنی‌دار به ترتیب در سطح ۹۵ درصد و ۹۹ درصد اطمینان است. اگر منحنی U به طرف مثبت حرکت کند روند مثبت و در غیر این صورت روند منفی دارد. تلاقی‌های بیرون از محدوده بحرانی بیانگر تغییر ناگهانی رفتار سری است (علیچانی و همکاران، ۱۳۸۹)

• روش حذف اثر خودهمبستگی

در تحلیل روند، شرط استفاده از آزمون من کندال مستقل بودن داده‌ها و عدم وجود ضریب خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها است. وجود همبستگی معنی‌دار در سری‌های زمانی موجب ایجاد خطا در نتایج آزمون‌های ناپارامتری می‌شود. بنابراین در این پژوهش ابتدا از روش پیش‌سفید کردن بدون روند (TFPW) که ابتدا توسط (VonStorch, 1995) ارائه شده است، استفاده شده و پس از حذف ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از داده‌ها، آزمون من کندال بر روی داده‌های پیش‌سفید شده اجرا شد. مراحل انجام پیش‌سفید کردن داده‌ها به صورت زیر است (باقرپور و همکاران، ۱۳۹۶):

ابتدا شیب روند در داده‌ها با استفاده از روش تیل و سن (TSA) (Sen, 1968) محاسبه می‌شود. اگر شیب برابر با صفر بود لزومی برای ادامه آنالیز روند نمی‌باشد، در غیر این صورت، فرض می‌شود که روند خطی است و با استفاده از رابطه (۶) از بین می‌رود:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

من (۱۹۴۵) و کندال (۱۹۷۵) نشان دادند که برای مقادیر $n \leq 8$ ، آماره S دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن رابطه زیر به دست می‌آید (ترابی پوده و امامقلی زاده، ۱۳۹۳):

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{m=1}^n t_m(t_m-1)(2t_m+5)}{18} \quad (۳)$$

که در آن m_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام می‌باشد. آماره آزمون من کندال (Z) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (۴)$$

اگر آماره Z مثبت باشد روند صعودی و اگر منفی باشد روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به سطح معنی‌دار ۹۵ درصد اگر $|Z| > 1.96$ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می‌شود (سبزی پرور و شادمانی، ۱۳۹۰).

۲- آزمون نموداری من کندال:

مراحل اجرای آزمون به اختصار به شرح زیر است:

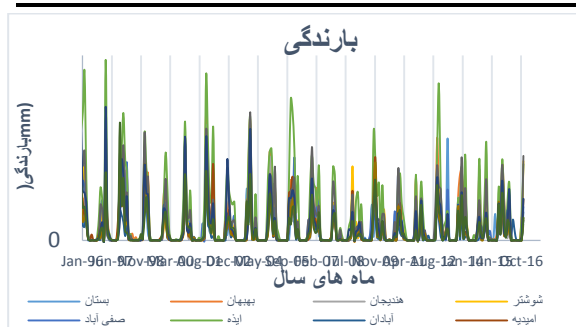
داده‌ها را رتبه بندی کرده و آماره t_i که نسبت رتبه I به رتبه‌های قبلی آن تعریف می‌شود را محاسبه نموده و سپس فراوانی تجمعی آماره t_i ($\sum t_i$) را به دست می‌آوریم. امید ریاضی، واریانس و شاخص من کندال براساس فرمول‌های زیر محاسبه می‌شوند (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۶):

$$E_i = \frac{n_i(n_i-1)}{4} \quad (۵)$$

$$V_i = \frac{n_i(n_i-1)(2n_i+5)}{72} \quad (۶)$$

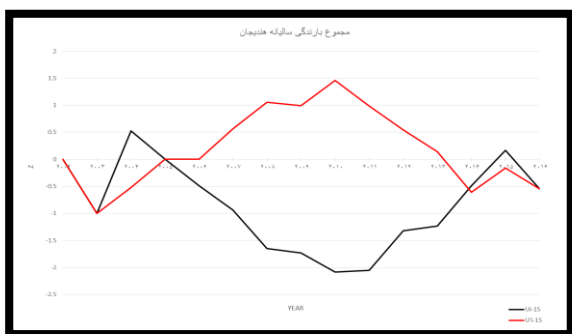
$$U_i = \frac{(\sum t_i - E_i)}{\sqrt{V_i}} \quad (۷)$$

در روابط شماره ۵ و ۶، n_i ترتیب زمانی داده‌ها می‌باشد. برای بررسی تغییرات باید شاخص U_i' نیز محاسبه شود: داده‌ها را رتبه بندی کرده و آماره t_i' که نسبت رتبه I به رتبه‌های بعدی آن تعریف می‌شود را مشخص کرده و سپس فراوانی تجمعی t_i' را



شکل ۳- نمودار بارندگی ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان در طول دوره آماری

با توجه به شکل ۴ نتایج آزمون من کندال در ایستگاه هندجیان در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ یک روند کاهشی در سطح اطمینان ۹۵٪ وجود دارد. در ایستگاه صافی‌آباد، در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ روند کاهشی معنادار در سطح اطمینان ۹۵٪ و از سال ۲۰۱۰ به بعد با سطح اطمینان ۹۹٪ قابل مشاهده است. در ایستگاه امیدیه در سال ۲۰۰۱ و همچنین از سال ۲۰۱۱ به بعد حاکمیت روند کاهشی با سطح اطمینان ۹۵٪ قابل تشخیص است. در ایستگاه مسجدسلیمان برای سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ یک روند کاهشی با سطح اطمینان ۹۵٪ مشاهده می‌شود. در ایستگاه بندرماهشهر روند کاهشی در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۱ با سطح اطمینان ۹۵٪ وجود دارد.



$$b = \text{Median}\left(\frac{X_i - X_j}{j - i}\right) \quad (11)$$

$$X'_t = X_t - T_t = X_t - bt \quad (12)$$

که در آن b شیب روند، X_t داده مشاهداتی در زمان t و X'_t مقدار خود همبستگی مرتبه اول سری بدون روند می‌باشد.

ضریب خود همبستگی مرتبه اول سری بدون روند X'_t با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} [X'_t - E(X'_t)](X'_{t+k} - E(X'_{t+k}))]}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [X'_t - E(X'_t)]^2}$$

$$E(X'_t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X'_t \quad (13)$$

که در آن r_1 ضریب خودهمبستگی مرتبه ۱ داده‌های نمونه سری بدون X'_t و $E(X'_t)$ میانگین داده‌های نمونه می‌باشد. سپس مقدار ضریب خودهمبستگی مرتبه اول $AR(1)$ از داده‌ها با استفاده از رابطه (۷) حذف می‌شود. باقی‌مانده‌ها بعد از حذف روند باید یک سری مستقل را تشکیل دهند.

$$Y'_t = X'_t - rX'_{t-1} \quad (14)$$

در این مرحله مقادیر روند حذف شده با مقادیر باقی‌مانده جمع می‌شود:

$$Y_t = Y'_t + T_t \quad (15)$$

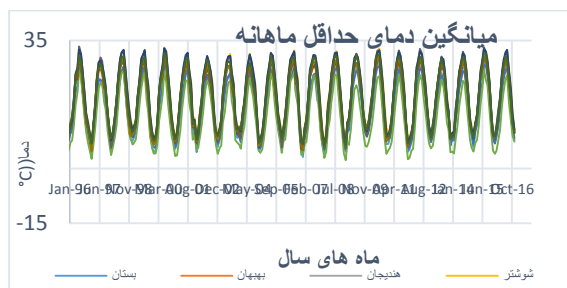
حال آزمون من کندال بر روی سری Y_t اجرا می‌شود.

۳- نتایج

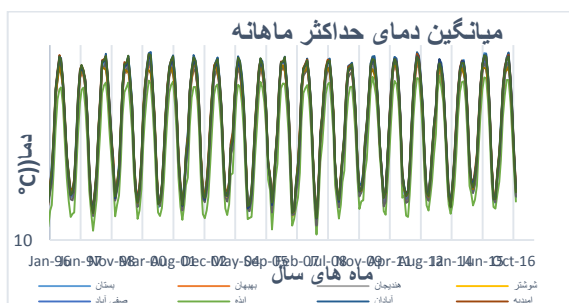
• بارندگی:

در همه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه، شیب نمودار مربوط به بارندگی در طول دوره آماری به صورت کاهشی است. در بیشتر سال‌ها ایستگاه ایذه پر باران‌ترین ایستگاه و آبادان کم‌باران‌ترین ایستگاه بوده است (شکل ۳).

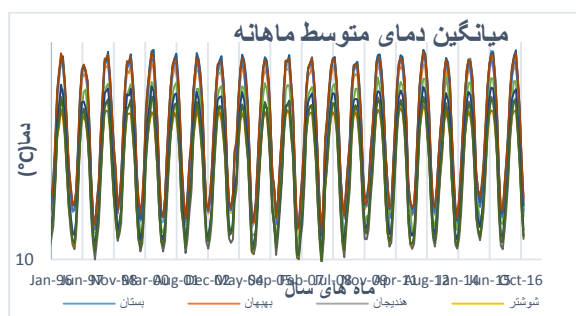
مقدار و در ایستگاه ایزده کمترین مقدار را در طول دوره آماری داشته است (شکل ۷).



شکل ۵- نمودار دمای حداقل ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان در طول دوره آماری



شکل ۶- نمودار دمای حداکثر ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان در طول دوره آماری



شکل ۷- نمودار دمای متوسط ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان در طول دوره آماری

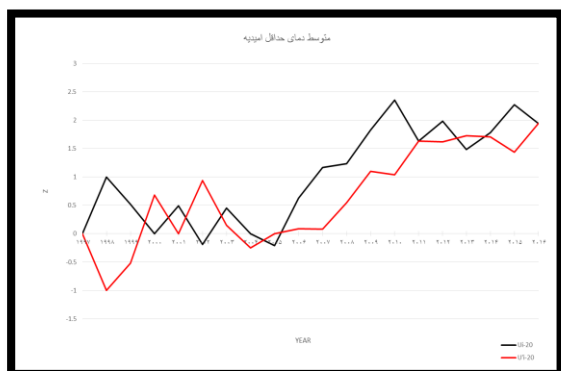
با توجه به شکل ۸ در رابطه با دمای حداقل، نتایج آزمون من کندال در ایستگاه بستان در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۹ نشان‌دهنده روند افزایش معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ و از سال ۲۰۰۹ به بعد روند افزایشی با سطح اطمینان ۹۹٪ است. در ایستگاه هندیجان مقادیر U نشان‌دهنده روند معنی‌دار افزایشی در سطح اطمینان ۹۵٪ برای سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۴ و در سطح اطمینان ۹۹٪ برای سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ می‌باشد. در ایستگاه شوشتر در سال ۲۰۱۰ در سطح اطمینان ۹۵٪ افزایش معنی‌دار وجود دارد. در ایستگاه صفی‌آباد با



شکل ۴- چند نمونه از نمودارهای تغییر روند بارندگی در ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان به روش من کندال

• پارامترهای دمایی:

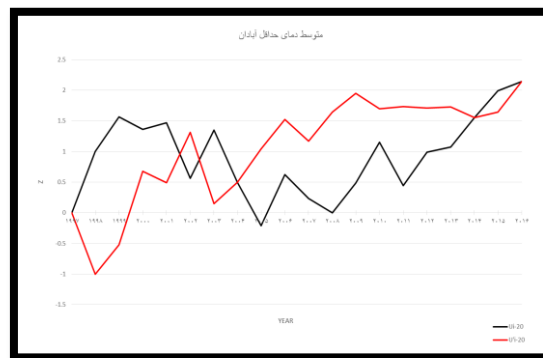
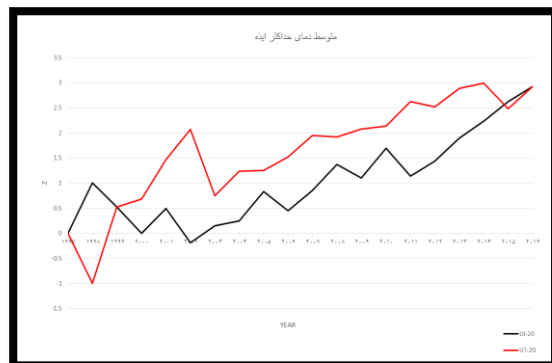
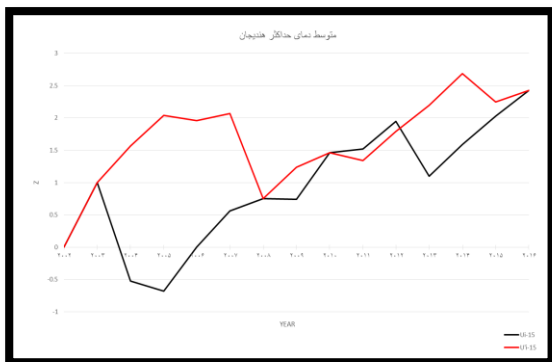
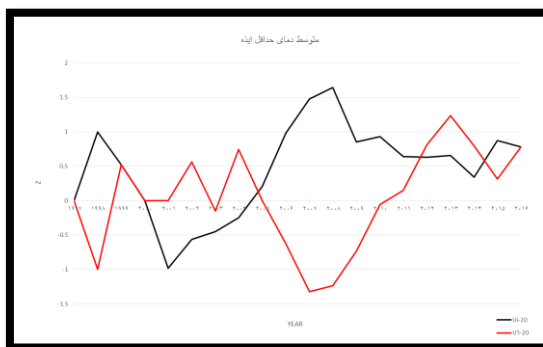
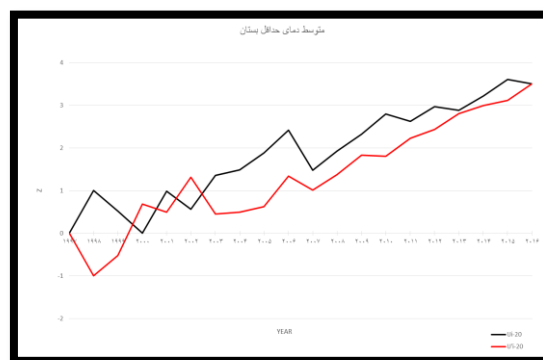
در ایستگاه هواشناسی صفی‌آباد شیب نمودار مربوط به دمای حداقل به صورت افزایشی و دمای حداکثر و متوسط به صورت کاهش‌ی است. در صورتی که در ایستگاه ایزده دمای حداقل در طول دوره آماری کاهش و دمای حداکثر و دمای متوسط افزایش داشته است. در سایر ایستگاه‌های هواشناسی در طول دوره آماری هر سه پارامتر دمایی دارای شیب نمودار افزایشی بوده‌اند (شکل ۵ و ۶ و ۷). بیشترین مقدار برای دمای حداقل در طول دوره آماری مربوط به ایستگاه شوشتر و پس از آن ایستگاه رامهرمز و کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه ایزده است (شکل ۵). ایستگاه‌های امیدیه، آبادان و اهواز بیشترین مقدار دمای حداکثر و ایستگاه ایزده کمترین مقدار دمای حداکثر را در طول دوره آماری دارا بوده‌اند (شکل ۶). دمای متوسط در ایستگاه شوشتر بیشترین



شکل ۸- چند نمونه از نمودارهای تغییر روند دمای حداقل در ایستگاه های هواشناسی استان خوزستان به روش من کندال

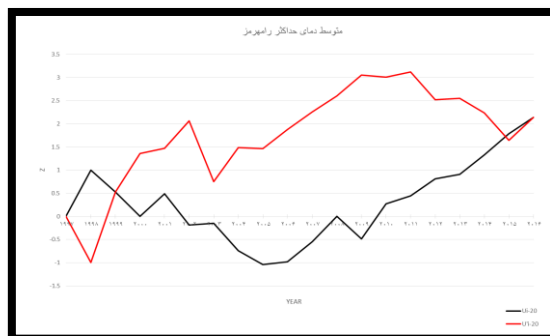
با توجه به شکل ۹ نتایج حاصل از آزمون من کندال در رابطه با دمای حداکثر در ایستگاه هندیجان نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۲ یک جهش و پس از آن در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ یک روند افزایشی با سطح اطمینان ۹۵٪ وجود دارد. با توجه به مقادیر U برای ایستگاه ایذه از سال ۲۰۱۴ به بعد حاکمیت روند افزایشی با سطح اطمینان ۹۵٪ برای سال ۲۰۱۴ و ۹۹٪ برای سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ مشاهده می‌شود. در ایستگاه رامهرمز روند افزایشی معنی‌دار ۹۵٪ برای سال ۲۰۱۶ وجود دارد. در ایستگاه اهواز روند کاهشی معنی‌دار با سطح اطمینان ۹۵٪ برای سال ۲۰۱۴ وجود دارد.

توجه به مقادیر U در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۲، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ حاکمیت روند مثبت در سطح اطمینان ۹۵٪ وجود دارد. در ایستگاه آبادان یک جهش در سال ۲۰۱۴ وجود دارد و پس از آن روند افزایشی با سطح اطمینان ۹۵٪ قابل تشخیص است. در ایستگاه امیدیه روند افزایشی معنی‌دار در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ وجود دارد. در ایستگاه مسجدسلیمان در سال ۲۰۰۷ یک روند معنی‌دار کاهشی با سطح اطمینان ۹۵٪ وجود دارند. در ایستگاه بندرماهشهر روند افزایشی معنی‌دار با سطح اطمینان ۹۵٪ برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ وجود دارد. در ایستگاه اهواز در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ روند افزایشی معنی‌دار ۹۵٪ وجود دارد.





شکل ۱۰- چند نمونه از نمودارهای تغییر روند دمای متوسط در ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان به روش من کندال

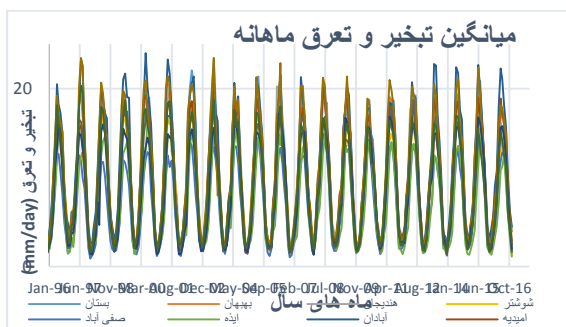


شکل ۹- چند نمونه از نمودارهای تغییر روند دمای حداکثر در ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان به روش من کندال

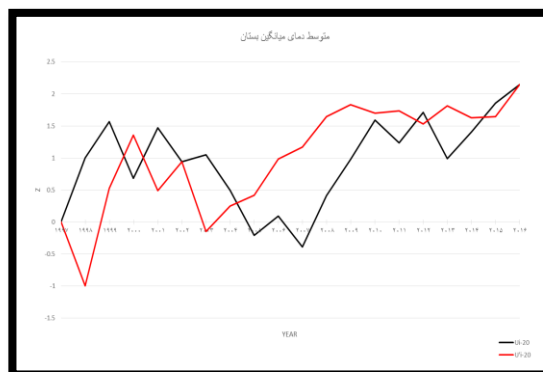
• تبخیر و تعرق:

به طور کلی در تمامی ایستگاه‌ها به جز صفی‌آباد، امیدیه و رامهرمز شیب نمودار تبخیر و تعرق در طول دوره آماری به صورت کاهشی است. حداکثر مقدار تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه‌های آبادان و بندر ماهشهر و حداقل مقدار آن مربوط به ایستگاه‌های صفی‌آباد و ایذه است (شکل ۱۱).

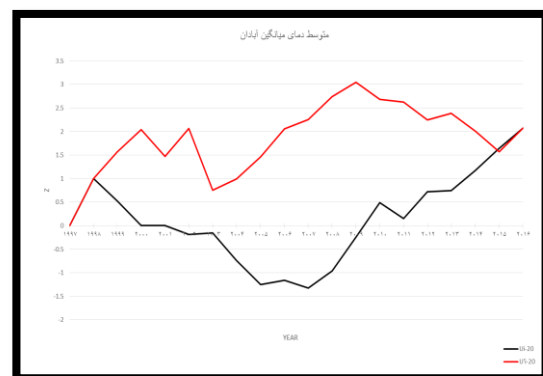
با توجه به شکل ۱۰ نتایج آزمون من کندال در رابطه با دمای متوسط نشان‌دهنده روند افزایشی مثبت با سطح اطمینان ۹۵٪ در سال ۲۰۱۶ برای هر دو ایستگاه بستان و آبادان است. در ایستگاه رامهرمز روند کاهشی معنی‌دار ۹۵٪ برای سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ وجود دارد.



شکل ۱۱- نمودار تبخیر و تعرق ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان در طول دوره آماری

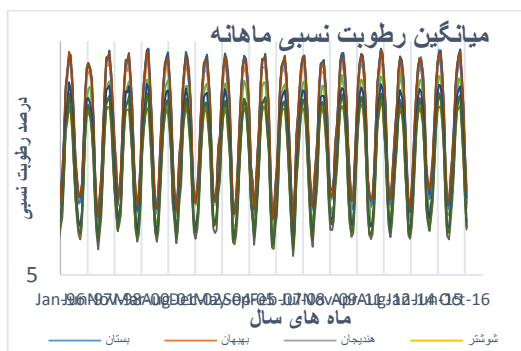


با توجه به شکل ۱۲ نتایج آزمون من کندال در رابطه با تبخیر و تعرق در ایستگاه بستان روند افزایشی معنی‌دار با سطح اطمینان ۹۵٪ برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ و پس از آن روند کاهشی غیرمعنی‌دار را نشان می‌دهد. در ایستگاه شوشتر مقادیر U در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ کمتر از ۱٫۹۶-، در سطح اطمینان ۹۵٪ و برای سال‌های ۲۰۱۱ به بعد کمتر از ۲٫۵۸-، در سطح اطمینان ۹۹٪ است که به معنای حاکمیت روند کاهشی در طول دوره می‌باشد. در ایستگاه صفی‌آباد در سال ۲۰۰۵ با سطح اطمینان ۹۹٪ و در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ با سطح اطمینان ۹۵٪ یک روند معنی‌دار با حاکمیت مثبت وجود دارد. در ایستگاه ایذه از سال ۲۰۱۰ به



رطوبت نسبی:

در همه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه به جز صفی‌آباد و بندرماهشهر، شیب نمودار مقدار رطوبت نسبی در طول دوره آماری به صورت کاهشی است. حداکثر مقدار رطوبت نسبی در طول دوره آماری مربوط به آبادان و کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه رامهرمز می‌باشد (شکل ۱۳).

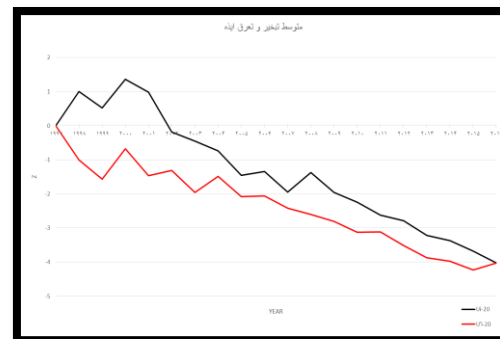
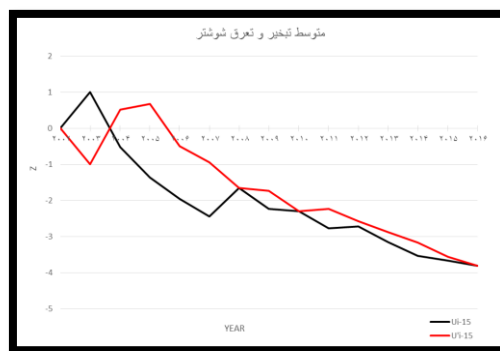


شکل ۱۳- نمودار رطوبت نسبی ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان در طول دوره آماری

با توجه به شکل ۱۴ نتایج آزمون من کندال در رابطه با رطوبت نسبی، در ایستگاه بستان، مقادیر U پس از یک جهش در سال ۲۰۰۱، نشان‌دهنده روند معنی‌دار کاهشی از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ با سطح اطمینان ۹۵٪ و از سال ۲۰۰۶ به بعد با سطح اطمینان ۹۹٪ می‌باشد. در ایستگاه صفی‌آباد، در سال ۲۰۱۶ با سطح اطمینان ۹۵٪ مقدار U به صورت منفی معنی‌دار می‌شود. در ایستگاه ایذه حاکمیت روند معنی‌دار کاهشی با سطح اطمینان ۹۵٪ برای سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ قابل مشاهده است. در ایستگاه امیدیه در سال‌های ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ روند کاهشی معنی‌دار با سطح اطمینان ۹۵٪ وجود دارد. در ایستگاه مسجد سلیمان روند معنی‌دار کاهشی در سطح اطمینان ۹۵٪ برای سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ وجود دارد.



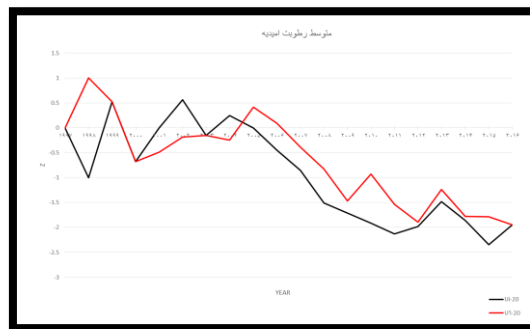
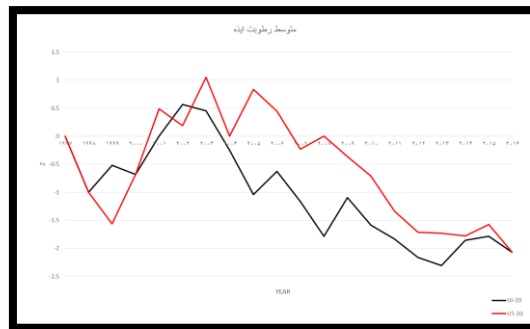
بعد حاکمیت روند کاهشی با سطح اطمینان ۹۵٪ برای سال ۲۰۱۰ و از سال ۲۰۱۱ به بعد با سطح اطمینان ۹۹٪ وجود دارد. در آبادان با توجه به نمودار من کندال و مقادیر U، روند کاهشی معنی‌دار با سطح اطمینان ۹۵٪ برای سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ با سطح اطمینان ۹۹٪ برای سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۰ وجود دارد. در مسجد سلیمان در سال ۲۰۰۶ یک روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۹۵٪ وجود دارد. در ایستگاه اهواز روند معنی‌دار کاهشی با سطح اطمینان ۹۵٪ برای سال ۲۰۰۶ و سطح اطمینان ۹۹٪ برای سال ۲۰۰۷ به بعد و همچنین دو جهش معنی‌دار نیز در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۲- چند نمونه از نمودارهای تغییر روند تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان به روش من کندال

۴- نتیجه گیری

به طور کلی نتایج نشان داد که طی دوره آماری مورد مطالعه، بارندگی در همه ایستگاه‌ها روندی کاهشی داشته است. همچنین، پارامترهای دمای حداقل و حداکثر در بیشتر ایستگاه‌ها روندی افزایشی داشته است. پارامترهای تبخیر و تعرق و رطوبت نسبی در بیشتر ایستگاه‌ها روند کاهشی غیر معنی‌داری داشته است. بر اساس نتایج حاصل از نمودارهای من کندال مشخص شد که ایستگاه‌های صفی‌آباد، امیدیه و هندیجان بیش از سایر ایستگاه‌ها تحت تاثیر این تغییرات قرار گرفته‌اند. بدیهی است مقابله با اثرات تغییر اقلیم و تبعات آن همانند بالا رفتن دمای سطح زمین و یا کاهش بارندگی نیازمند بررسی دقیق علل وقوع این پدیده و ارائه راهکارهای مناسب است تا بتوان از به خطر افتادن امنیت غذایی، افزایش فرسایش خاک، بیابان زایی و سایر مشکلات جلوگیری کرد.



شکل ۱۴- چند نمونه از نمودارهای تغییر روند رطوبت نسبی در ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان به روش من کندال

منابع

- باقرپور، م، سیدیان، س.م، فتح آبادی، الف. و محمدی، الف.، بررسی کارایی آزمون من کندال در شناسایی روند در سری‌های دارای خودهمبستگی، (۱۳۹۶). نشریه علمی پژوهشی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، سال یازدهم، شماره ۳۶
- ترابی پوده، ح، امامقلی زاده، ص، بررسی روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های استان لرستان با استفاده از روش TFPW-MK، (۱۳۹۳). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال چهاردهم، شماره ۳۵
- دارابی، ح، جعفری، ع، اخوان فرشچی، ک، تحلیل روند تغییرات اقلیمی استان قم و پیامدهای آن، (۱۳۹۵). مطالعات علوم محیط زیست، دوره اول، شماره دوم، صفحه ۲۵-۴۰
- رحیمی، د، مرضیه، م، تحلیل نوسانات اقلیمی و تاثیر آن بر منابع آب در دامنه شمالی کرکس، (۱۳۹۰). مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۱۷:۲۲۸-۲۱۱
- زاهدی، م، ساری صراف، ب. و جامعی، ج، تحلیل تغییرات زمانی- مکانی منطقه شمال غرب ایران، (۱۳۸۶). جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، صص ۱۹۸-۱۸۳
- سبزی پرور، ع. الف، شادمانی، م، تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران، (۱۳۹۰). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۴، صص ۸۳۴-۸۲۳
- عزیزی، ق، روشنی، م، مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال، (۱۳۸۷). پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۲۸-۱۳
- علیجانی، ب، موید فر، س، صبایی مهر، م، بررسی تغییرات اقلیمی شهر یزد در رابطه با توسعه شهری و منطقه‌ای، (۱۳۸۹). مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال اول، شماره ۳، صص ۵۸-۴۱
- نصرآبادی، الف؛ واکاوی روند تغییرات ماهانه و سالانه فراسنج‌های اقلیمی در سبزوار، (۱۳۹۴). دو فصلنامه آب و هواشناسی کاربردی، سال دوم، شماره اول
- Blain, G. C. (2014). Removing the influence of the serial correlation on the Mann-Kendall test, *Revista Brasileira de Meteorologia*, Vol. 29, 2, pp. 161-170.
- Chen S., Liu Y., and Axel T., (2006). Climatic change on the Tibetan plateau: potential evapotranspiration trends from 1961-2000, *Climatic Change*, 76:291-319.
- Clark, T.S., (2003). Regional climate: Trend analysis of temperature and precipitation series at Canadian sites, *Canadian journal of agricultural economics*, Vol.48, pp.194-210.
- Ferrianta, Y., Fauzi Makki, M., Suprijanto and Rifiana, (2015). Risk Analysis and Strategy of Rice Farmers in Swamp land in the Face of Climate Change Impact (Case in Sout Kalimantan Province-Indonesia). *International Journal of Agricultural Management and Development*, 5(2): 133-139
- Gadgil A., and Dhorde A. (2005). Temperature trends in twentieth century at Puna, India. *Atmospheric Envi*, 39:6550-6556
- Gellens D. (2000). Trend and Correlation Analysis of k-Day Extreme Precipitation over Belgium. *Theoretical and Applied Climatology*, 66:117-129.
- Hamed K.H., and Rao A.R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data, *Journal of Hydrol*, 204, 182-196.
- Kahya E., and Kalayci S. (2004). Trend analysis of streamflow in Turkey, *Journal of Hydrol*, 289:128-144.
- Li, Z.L, Xu, Z.X., Li, J.Y and Li, Z.J. (2008). Shift trend and step changes for runoff time series in the Shiyang River basin, northwest China. *Hydrological Processes* 22: 4639-4646.
- Sen, P. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's ta. *Journal of American Statistical Associate*. 63:1379-1389.

- Wang X., et al., (2014). Climate change trend and its effects on reference evapotranspiration at Linhe Station, Hetao Irrigation District; Water Science and Engineering, Vol. 3 No. 3, pp. 250-266.
- Yue S., Pilon P., Phinney B. and Cavadias G., (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series, Hydrological Processes, 16:1807-1829.
- Yaning C., Changchun X., Xingming H., Weihong L., Yapeng C., Chenggang Z., and Zhaoxia Y. (2009). Fifty-year climate change and its effect on annual runoff in the Tarim River Basin, China. Quaternary Int. (in press)