



ارزیابی روند تغییرات بارندگی و دما و اثرات آن‌ها بر خشکسالی هواشناسی در استان کرمانشاه

مریم تیموری یگانه^{۱*}، لیلا تیموری یگانه^۲

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲- دانشجوی دکتری آمار ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یزد

چکیده

تغییرات اقلیمی یکی از ویژگی‌های طبیعی چرخه اتمسفری است که بر اثر آن ناهنجاری‌ها و یا نوساناتی در روند پارامترهای هواشناسی از جمله بارندگی و دما حاصل می‌شود همچنین خشکسالی یکی از بلاهای جوی و اقلیمی و از جمله رخدادهای مصیبت باری است که در تناوب با سیلاب‌ها هر ساله خسارت‌های قابل ملاحظه‌ای را بوجود می‌آورد. کمبود بارش اثرات متفاوتی را بر روی آب‌های زیر زمینی، رطوبت خاک و جریان رودخانه‌ها به جای می‌گذارد. به همین دلیل بررسی روند تغییرات بارش و دما همواره مورد توجه محققان علوم مختلف از جمله منابع طبیعی و محیط زیست بوده است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های سازمان هواشناسی استان کرمانشاه مربوط به ۳۰ سال بارندگی، متوسط دمای حداقل و متوسط دمای حداکثر در سه ایستگاه کرمانشاه، اسلام آباد غرب و سرپل ذهاب به ارزیابی وضعیت شدت خشکسالی در هر سال به وسیله نرم افزار DIC با استفاده از شاخص استاندارد بارندگی (SPI) و بررسی روند تغییرات دما با استفاده از دو آزمون ناپارامتریک مان-کندال، سنس استیمیتور و همچنین رگرسیون خطی، پرداخته شد. به منظور بررسی روند خشکسالی در طی دوره ۳۰ ساله از نرم‌افزار آماری Minitab18 استفاده شد و نتایج نشان دادند که در طی دوره ۳۰ ساله، هر سه ایستگاه در وضعیت نزدیک به نرمال قرار دارند. همچنین نتایج تغییرات دمایی نیز با استفاده از آزمون‌های مذکور گویای روند رو به افزایش دما بوده و این روند با استفاده از دو آزمون ناپارامتریک مان-کندال، سنس استیمیتور در سطح ۹۹ درصد معنا دار است.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، تغییرات دما و بارندگی، آزمون مان-کندال، سنس استیمیتور، رگرسیون خطی، استان کرمانشاه



Evaluating the trend of rainfall and temperature changes and their effects on meteorological drought in Kermanshah province

Maryam Teymouri Yeganeh^{1*}, Leila Teymouri Yeganeh²

1- Ph.D. Student in Water Structures, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

2- Ph.D. Student in Mathematical Statistics, Faculty of Basic Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract

Climate changes is one of the natural features of the atmospheric cycle, which results in anomalies or fluctuations in the process of meteorological parameters such as rainfall and temperature. Also, drought is one of the weather and climate disasters and catastrophic events which causes significant damages alternately with floods each year. Lack of rainfall has different effects on groundwater, soil moisture and river flow. For this reason, studying the trend of rainfall and temperature changes has always been considered by various sciences' researchers, including natural resources and environment. In this research, the severity of each year drought was assessed by DIC software using standard precipitation index (SPI) and examining the trend of temperature changes using two non-parametric Mann-Kendall tests, Sensitator and also linear regression through the data of Kermanshah Meteorological Organization related to 30 years of rainfall, the minimum temperature average and the maximum temperature average in three stations of Kermanshah, Islamabad West and Sarpol-e Zahab. In order to study the drought trend during the 30-year period, Minitab18 statistical software was used and the results showed that during the 30-year period, all three stations are in near normal condition. Also, the results of temperature changes using the mentioned tests indicating the increasing trend of temperature and this trend is significant at the level of 99% using two non-parametric Mann-Kendall tests.

Keywords: Drought, Temperature and rainfall changes, Mann-Kendall test, Sense estimator, Linear regression, Kermanshah province

*Corresponding author E-mail address: m.yeganeh1390@gmail.com

مقدمه

خشکسالی‌ها نشانه روشنی از این تغییرات اقلیمی می‌باشند که بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک دنیا را با شدت‌های زیاد هرچند سال یکبار دربر می‌گیرند. در یک تعریف عملیاتی خشکسالی به سه دسته تقسیم می‌شود: دسته اول خشکسالی هواشناسی، دسته دوم خشکسالی هیدرولوژیکی و دسته سوم خشکسالی کشاورزی است. خشکسالی هواشناسی هنگامی اتفاق می‌افتد که الگوی آب و هوایی خشک در منطقه غلبه یابد. خشکسالی هیدرولوژیکی نیز زمانی اتفاق افتاده است که شواهدی مبنی بر کاهش منابع آب بخصوص منابع آب سطحی، مخازن و تراز آب زیرزمینی مشاهده گردد. این واقعه معمولاً پس از دوره‌های خشکسالی هواشناسی به وقوع می‌پیوندد. همچنین خشکسالی کشاورزی زمانی رخ داده است که اثرات ناشی از خشکسالی بر محصولات کشاورزی رؤیت شود. شاخص‌های خشکسالی با استفاده از ترکیب داده‌های مؤلفه‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی به کمک مدل‌های بیلان آب و یا مدل‌های هیدرولوژیکی به دست می‌آیند. برای مثال در خشکسالی هواشناسی دمای هوا و میزان بارش دو متغیر مهم و اساسی هستند در صورتی که در خشکسالی کشاورزی میزان رطوبت خاک و تراز آب زیرزمینی حیاتی و تعیین کننده هستند. از جمله کارهایی که در زمینه خشکسالی هواشناسی انجام شده است می‌توان به تحقیقات جهانگیر و همکاران (۱۳۹۴) که به پیش و پیش بینی وضعیت خشکسالی با استفاده از اطلاعات بارش ۳۸ ایستگاه باران‌سنجی در محدوده دو استان تهران و البرز به وسیله شاخص استاندارد بارندگی پرداختند اشاره نمود، نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که حدود نیمی از ایستگاه‌ها در کل دوره‌ی مطالعاتی در وضعیت نرمال قرار داشته و حدود یک سوم وضعیت خشکسالی را پشت سر گذاشتند. همچنین ایشان در تحقیقشان به پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی پروسپترون پرداختند بطوری‌که نتایج حاصل به مقادیر مشاهداتی بسیار نزدیک بود. تیموری یگانه و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی کاربرد مدل سری زمانی برای تخمین میزان بارش ماهانه در استان کرمانشاه پرداختند روش مطالعه ایشان به صورت مقطعی و حجم نمونه نیز داده‌های میزان بارش طی ۳۲ سال در نظر گرفته شده است. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش آریمای (ARIMA) برای برازش مدل‌سازی سری زمانی استفاده نمودند و در انتها بعد از آزمون مدل‌های موجود بهترین مدل برای پیش‌بینی میزان بارش تعیین کردند. نتایج بررسی‌های آن‌ها نشان داد که مدل سری زمانی آریمای بهترین کارایی را داشته و روند کاهشی بارش به اندازه ۰/۲ است. حجابی و همکاران (۱۳۹۴) به مقایسه دو رهیافت برای محاسبه شاخص بارندگی استاندارد در اقلیم‌های خشک و مرطوب ایران پرداختند، در روش اول با فرض تبعیت داده‌های بارندگی از توزیع گاما و در روش دوم با در نظر گرفتن توزیع بهینه برای مقادیر بارندگی تجمعی هر ماه، سری‌های زمانی SPI در سه مقیاس ماهانه ۳، ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه شد. نتایج تحقیقاتشان نشان داد که استفاده از روش اول سبب طبقه بندی نادرست به ویژه در طبقات خفیف و متوسط خشکسالی خواهد شد از این روی از روش دوم در راستای پیش دقیق‌تر، جهت اعمال مدیریت مناسب خشکسالی پیشنهاد شد. همچنین پژوهش‌های متعدد دیگری که توسط فرحزاد و همکاران (۱۳۶۹)، چانگ (۱۹۸۹) و دایاز (۱۹۸۳) انجام گرفته است. تاکنون شاخص‌های متعددی نظیر شاخص انحراف از میانگین، شاخص دهک‌ها، شاخص رطوبتی تورنت وایت، شاخص پالمیر و از این قبیل برای پیش‌پدیده خشکسالی پیشنهاد شده است که هر کدام دارای مشکلات خاصی می‌باشند. به عنوان مثال شاخص انحراف از میانگین وابسته به مکان بوده و با توجه به اینکه میانگین بارندگی در هر محل ارزش خاص دارد، این شاخص در توزیع و گستره مکانی خشکسالی ناتوان است. شاخص پالمیر (۱۹۶۵) براساس داده‌های مربوط به دمای هوا و میزان تغییرات رطوبت که شامل تبخیر، رواناب، میزان آب ورودی به خاک و ... است، استوار است. شاخص پالمیر نیز به جهت نیاز به پارامترهای متعدد و پیچیده بودن محاسبات، از کاربری محدودی بویژه در ایران که از نبود و یاکمبود اطلاعات رنج می‌برند برخوردار است. شاخص تامین آب سطحی نیز یکی دیگر از شاخص‌های خشکسالی است. این شاخص برای شرایط رطوبتی اراضی کلرادو ارائه شد. استفاده از شاخص تامین آب سطحی برای کاربرد در مناطق کوهستانی و با در نظر گرفتن ذخیره برف توصیه شده است (شافر ۱۹۸۲). مزیت عمده شاخص SPI در مقایسه با شاخص‌های دیگر این است که این شاخص هم شرایط خشکسالی را در مقیاس‌های مختلف زمانی و هم انواع مختلفی از خشکسالی را بررسی می‌نماید. همچنین این شاخص عکس العمل منابع مختلف استفاده کننده از آب را نسبت به کاهش بارندگی مشخص می‌نماید (سرانو ۲۰۰۵). مطالعات انجام شده توسط مقدم و همکاران (۱۳۸۰) بیان نمودند که در محاسبه شاخص استاندارد شده بارش، مقیاس-های زمانی متفاوتی مدنظر است که از میان آن‌ها به مقیاس‌های ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه توجه ویژه‌ای شده است. همچنین گاتمن (۱۹۹۹) بیان نمود که به دلیل اینکه داده‌ها از نظر زمانی دارای محدودیت است، شاخص SPI در مقیاس‌های بزرگتر از ۲۴ ماه قابل اعتماد نیستند. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی خشکسالی هواشناسی با بررسی روند تغییرات بارش براساس شاخص SPI و محاسبه روند تغییرات دمایی براساس آزمون ناپارامتری مان-کندال و رگرسیون خطی است. روندی که می‌تواند تا حدی وضعیت اقلیمی را مشخص نموده و برای برنامه‌ریزی‌های آینده مفید واقع شود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از اطلاعات بارندگی مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان‌های کرمانشاه، اسلام آباد غرب و سرپل ذهاب در دوره ۳۰ ساله از سال ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۹۸ استفاده شد. به منظور ارزیابی خشکسالی با توجه به آمار بارندگی سالانه ایستگاه‌های در نظر گرفته شده در این تحقیق از شاخص استاندارد شده بارندگی (SPI) استفاده شد. همانطور که قبلاً اشاره شد، شاخص‌های متعددی جهت ارزیابی و پایش خشکسالی وجود دارد با توجه به اینکه شاخص SPI تنها بر پایه استفاده از معیار بارندگی استوار است، بعنوان پایه‌ای برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است و همچنین این شاخص به تحلیلگر این امکان را می‌دهد تا تعداد وقایع خشکسالی و ترسالی اتفاق افتاده را برای هر گام زمانی دلخواه تعریف و شناسایی نماید، بدین منظور همواره مورد توجه محققان متعددی قرار گرفته است. از جمله مزیت‌های شاخص SPI می‌توان به بی بعد بودن این شاخص اشاره نمود که به وسیله آن می‌توان اطلاعات مناطق مختلف را با هم مقایسه و نقشه‌های گسترده خشکسالی را با دقت بالا تهیه نمود. و همچنین به وسیله این شاخص می‌توان خشکسالی‌ها و ترسالی‌های شدید منطقه را شناسایی نمود و با برآزش تابع چگالی احتمال، تحلیل فراوانی بر روی آن‌ها انجام داد. در این تحقیق برای ارزیابی شاخص استاندارد بارندگی (SPI) در استان کرمانشاه از نرم‌افزار DIC که کوتاه شده عبارت Drought Indices Calculator، برای سیستم نرم افزاری پیشرفته جهت محاسبه شاخص‌های رایج خشکسالی است، استفاده شد. این نرم افزار توسط حجازی زاده و جوی زاده (۱۳۸۹) جهت تعیین شاخص‌های خشکسالی تهیه شده و شاخص SPI یکی از زیر مجموعه‌های نرم افزار DIC است. در این نرم افزار می‌توان براساس ۵ سری داده (روزانه، ماهانه، فصلی، سالانه و متحرک) به تحلیل شاخص‌های خشکسالی پرداخت. در جدول ۱ طبقه بندی شرایط خشکسالی و ترسالی را براساس شاخص SPI نمایش می‌دهد. برای محاسبه این شاخص از رابطه زیر می‌توان استفاده نمود.

$$SPI = \frac{(P_o + \sum (P_{-i}) - \mu_n)}{\sigma_k} \quad (1)$$

که در آن P_o مقدار نرمال شده بارندگی ماه فعلی، P_{-i} مقدار نرمال شده بارندگی ماه قبلی، μ_n میانگین تعداد بارندگی تجمعی برای n ماه و σ_k انحراف معیار بارندگی در دوره زمانی مورد نظر است.

جدول ۱- مقیاس طبقه بندی مقادیر SPI

SPI	>۲	۱/۵ تا ۱/۹۹	۱ تا ۱/۴۹	۰/۹۹ تا ۰/۹۹	۰/۹۹ تا ۱	۱/۴۹ تا ۱/۵	<-۲
طبقه	شدیدا مرطوب	خیلی مرطوب	مرطوب متوسط	نزدیک به نرمال	خشکسالی ملایم	خشکسالی شدید	خشکسالی خیلی شدید

همچنین در این پژوهش به بررسی روند تغییرات دما در ۳ ایستگاه کرمانشاه، اسلام آباد غرب و سرپل ذهاب در دوره ۳۰ ساله پرداخته شد. با توجه به اینکه متغیرهای اقلیمی در مقیاس زمان و مکان به دلایل زیادی تغییر می‌کنند که باید نحوه تغییرات آن‌ها براساس مشاهدات و با بهره گیری از روش‌های آماری تعیین شود. تحلیل روند از جمله مهم‌ترین روش‌های آماری است که به طور گسترده برای ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر روی سری‌های زمانی مانند سری‌های مشاهداتی دما در نقاط مختلف جهان استفاده شده است. یکی از این آزمون‌های بسیار کاربردی آزمون مان کندال است. اثبات وجود روند معنی‌دار در یک سری زمانی متغیر اقلیمی به تنهایی نمی‌تواند دلیل قاطع بر وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه باشد بلکه فرض رخداد آن را تقویت می‌نماید. این ویژگی ناشی از متعدد بودن عوامل کنترل کننده سامانه اقلیم است. وجود یا عدم وجود روند و تحلیل سری‌های زمانی و تغییر اقلیم در دو دسته روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های پارامتریک عمدتاً بر اساس روابط رگرسیونی بین سری داده‌ها با زمان استوار می‌باشند. روش‌های ناپارامتریک از کاربرد نسبتاً وسیع‌تر و چشمگیرتری نسبت به روش‌های پارامتریک برخوردارند. برای سری‌هایی که توزیع آماری خاصی بر آنها قابل برآزش نیست و چولگی یا کشیدگی زیادی دارند استفاده از روش‌های ناپارامتریک مناسب‌تر است. آزمون مان-کندال جزو متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روندی سری‌های زمانی به شمار می‌روند. با استفاده از روش مان-کندال تغییرات داده‌ها شناسایی، نوع و زمان آن مشخص می‌شود.

آزمون مان-کندال^۱

آزمون ناپارامتری مان-کندال ابتدا توسط (مان ۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط (کندال ۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

محاسبه اختلاف بین تک تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

^۱ Mann-kendall

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (۲)$$

که در آن، n تعداد جملات سری، و X_j و X_k به ترتیب داده‌های Z آماره k و k آماره k می‌باشند. تابع علامت نیز به صورت فرمول زیر قابل محاسبه است.

$$\text{sgn}(X_j - X_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (X_j - X_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_j - X_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_j - X_k) < 0 \end{cases} \quad (۳)$$

همچنین برای استخراج آماره Z از رابطه زیر استفاده می‌شود.

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

که در آن، $\text{Var}(S)$ به صورت رابطه زیر ارزیابی می‌شود.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (۵)$$

در رابطه ۵، n تعداد داده‌ها و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده‌ی تکراری وجود دارد و t نیز بیانگر فراوانی داده‌هایی با ارزش یکسان است.

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ در غیر این صورت فرض صفر رد می‌شود. در واقع α سطح معنی داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و $Z_{\alpha/2}$ آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی دار α است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد، روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. 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 اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شوند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است.

آزمون سنس استیمیتور^۱

در روش سنس استیمیتور همانند روش مان-کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره گرفته می‌شود. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد معنا داری شیب در سطوح اعتماد مختلف استوار است. در این آزمون شیب بین هر جفت داده‌ی مشاهداتی از رابطه ۶ بدست می‌آید.

$$Q = \frac{X_j - X_i}{j - i} \quad (۶)$$

که در آن Q شیب بین هر جفت داده، X_j و X_i به ترتیب داده‌های مشاهداتی در زمان‌های j و i که j یک واحد زمانی بعد از زمان i است. با در نظر گرفتن رابطه ۶ برای هر جفت داده، یکسری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌شود که از محاسبه میانه این شیب خط روند بدست خواهد آمد که مقدار مثبت آن نشانگر روند صعودی و مقدار منفی آن نمایانگر روند نزولی است. همچنین به منظور آزمون شیب بدست آمده در فاصله‌ی اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد از رابطه ۷ استفاده می‌شود.

$$C_a = Z_{1-\alpha/2} \times \sqrt{\text{var}(s)} \quad (۷)$$

در این رابطه Z آماره توزیع نرمال استاندارد است و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطوح اعتماد مورد آزمون می‌تواند مقادیر مختلفی داشته باشد. این آماره برای سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد برابر ۱/۹۶ و ۲/۵۸ است. به منظور محاسبه حدود اطمینان بالا و پایین (M_1 و M_2) از رابطه ۸ استفاده خواهد شد.

¹ Sen' estimator

$$M_1 = \frac{N - C_a}{2} \quad (۸)$$

$$M_2 = \frac{N' + C_a}{2}$$

که در آن N' تعداد کل شیب‌های بدست آمده است. پس از محاسبه شیب‌ها، شیب مربوط به M_1 و $M_2 + 1$ امین شیب از بین شیب‌های محاسبه شده استخراج می‌شوند. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده قرار بگیرد، فرض صفر پذیرفته شده و عدم وجود روند در سری داده‌ها تایید می‌شود. در غیر این صورت فرض صفر رد شده و وجود روند در سطح اطمینان مورد آزمون پذیرفته می‌شود.

نتایج و بحث

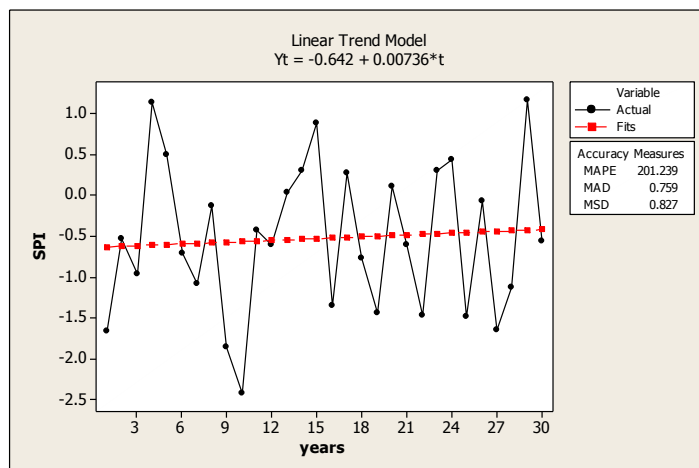
با توجه به اینکه مقیاس زمانی مختلف بر وضعیت بارش هر ماه تاثیر گذار است، بطوری که مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه به ترتیب اثرات ۲، ۵ و ۱۱ ماه قبل از آن را در نظر می‌گیرد، به همین علت مقیاس زمانی مختلف می‌تواند روند خشکسالی و ترسالی را در هر دوره نشان دهد. در این تحقیق از آمار بارندگی ۳ ایستگاه کرمانشاه، اسلام آباد غرب و سرپل ذهاب استفاده شد و وضعیت خشکسالی و ترسالی در این ایستگاه‌ها در دوره‌ی ۱۲ ماهه (یکسال) بررسی شد. در جداول ۲ و ۳ وضعیت شدت خشکسالی را در طی ۳۰ سال با استفاده از نرم افزار DIC برای ایستگاه کرمانشاه نشان می‌دهد. براساس جداول می‌توان نتیجه گرفت که در ایستگاه کرمانشاه وضعیت خشکسالی در هر سال در نوسان بوده و همانطور که در شکل ۱ روند تغییرات شاخص استاندارد بارندگی با استفاده از نرم افزار Minitab18 از این ایستگاه نمایش داده شده است، می‌توان نتیجه گرفت که این روند در بازه ۳۰ ساله با توجه به طبقه بندی شاخص SPI در شرایط نزدیک به نرمال قرار دارد.

جدول ۲- متوسط شاخص استاندارد بارندگی از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۸ برای ایستگاه کرمانشاه

تاریخ	شاخص SPI	شدت خشکسالی	تاریخ	شاخص SPI	شدت خشکسالی
۱۳۶۹	-۱.۶۵۹۴۶۶۴۱	خشکسالی شدید	۱۳۷۹	-۰.۴۳۱۷۴	نزدیک به نرمال
۱۳۷۰	-۰.۵۳۰۷۱۴۱۹	نزدیک به نرمال	۱۳۸۰	-۰.۶۰۵۱۶	نزدیک به نرمال
۱۳۷۱	-۰.۹۶۴۳۶۰۶۸	نزدیک به نرمال	۱۳۸۱	۰.۰۲۸۲۹۹۹	نزدیک به نرمال
۱۳۷۲	۱.۱۴۰۰۳۳۰۴	مرطوب متوسط	۱۳۸۲	۰.۳۰۱۱۹۹۴	نزدیک به نرمال
۱۳۷۳	۰.۴۹۶۲۱۵۲۸	نزدیک به نرمال	۱۳۸۳	۰.۸۷۸۴۵۶۱	نزدیک به نرمال
۱۳۷۴	-۰.۷۱۲۷۲۴۲۳	نزدیک به نرمال	۱۳۸۴	-۱.۳۵۴۳۹۵	خشکسالی متوسط
۱۳۷۵	-۱.۰۸۹۱۸۱۴۷	خشکسالی متوسط	۱۳۸۵	۰.۲۶۵۳۳۰۵	نزدیک به نرمال
۱۳۷۶	-۰.۱۳۹۲۳۳۶۳	نزدیک به نرمال	۱۳۸۶	-۰.۷۶۹۴۸۵	نزدیک به نرمال
۱۳۷۷	-۱.۸۵۴۴۱۱۹۶	خشکسالی شدید	۱۳۸۷	-۱.۴۴۹۹۷۶	خشکسالی متوسط
۱۳۷۸	-۲.۴۳۲۲۶۶	خشکسالی شدید	۱۳۸۸	۰.۱۰۷۰۷۶۹	نزدیک به نرمال

جدول ۳- متوسط شاخص استاندارد بارندگی از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ برای ایستگاه کرمانشاه

تاریخ	شاخص SPI	شدت خشکسالی
۱۳۸۹	۰.۴۲۴۹.۰۰	نزدیک به نرمال
۱۳۹۰	۴۶۶۴۲۱.۱۰	خشکسالی متوسط
۱۳۹۱	۲۹۳۲۳۴۷.۰	نزدیک به نرمال
۱۳۹۲	۴۳۶۰۶۴۱.۰	نزدیک به نرمال
۱۳۹۳	۴۹۳۸۷۷.۱۰	خشکسالی متوسط
۱۳۹۴	۰.۶۷۰۶۴.۰۰	نزدیک به نرمال
۱۳۹۵	۶۴۷۸۹۱.۱۰	خشکسالی شدید
۱۳۹۶	۱۲۹۲۲۶.۱۰	خشکسالی متوسط
۱۳۹۷	۱۷۱۴۹۳۷.۱	مرطوب متوسط
۱۳۹۸	۵۶۰۵۴۸.۰۰	نزدیک به نرمال



شکل ۱- روند تغییرات شاخص استاندارد بارندگی ایستگاه کرمانشاه با استفاده از نرم افزار Minitab18

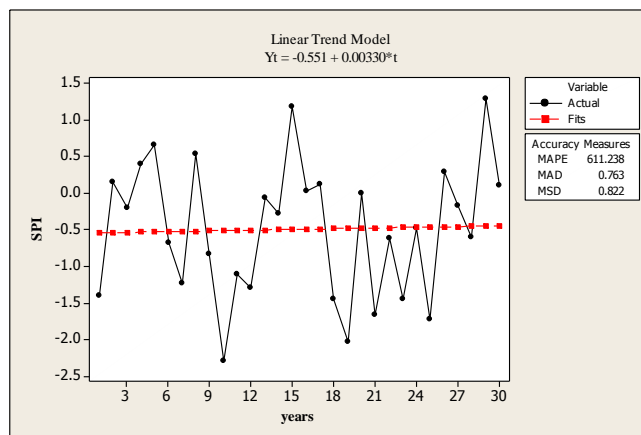
جدول ۴ و ۵ نشان دهنده این است که وضعیت شدت خشکسالی در هر سال در ایستگاه اسلام آباد غرب در نوسان بوده و همانطور که در شکل ۲ روند تغییرات شاخص استاندارد بارندگی با استفاده از نرم‌افزار Minitab18 در طی ۳۰ سال از این ایستگاه نمایش داده شده است، می‌توان نتیجه گرفت که این روند در بازه ۳۰ ساله با توجه به طبقه بندی شاخص SPI در شرایط نزدیک به نرمال قرار دارد.

جدول ۴- متوسط شاخص استاندارد بارندگی از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۸ برای ایستگاه اسلام آباد غرب

تاریخ	شاخص SPI	شدت خشکسالی	تاریخ	شاخص SPI	شدت خشکسالی
۱۳۶۹	-۱.۳۹۸۲۲۵	خشکسالی متوسط	۱۳۷۹	-۱.۱۰۸۰۱۵	خشکسالی متوسط
۱۳۷۰	۰.۱۴۳۴۱۸	نزدیک به نرمال	۱۳۸۰	-۱.۳۰۵۴۹۶	خشکسالی متوسط
۱۳۷۱	-۰.۲۰۴۴۴	نزدیک به نرمال	۱۳۸۱	-۰.۰۷۶۲۵۸	نزدیک به نرمال
۱۳۷۲	۰.۳۸۹۱۶۳	نزدیک به نرمال	۱۳۸۲	-۰.۲۷۹۱۵۸	نزدیک به نرمال
۱۳۷۳	۰.۶۴۴۹۲۸	نزدیک به نرمال	۱۳۸۳	۱.۱۶۵۶۳۹۲	مرطوب متوسط
۱۳۷۴	-۰.۶۹۱۵۰۳	نزدیک به نرمال	۱۳۸۴	۰.۰۲۴۰۹۸۳	نزدیک به نرمال
۱۳۷۵	-۱.۲۴۱۴۴۶	خشکسالی متوسط	۱۳۸۵	۰.۱۱۱۰۴۹۲	نزدیک به نرمال
۱۳۷۶	۰.۵۳۳۶۷۹۳	نزدیک به نرمال	۱۳۸۶	-۱.۴۵۵۷۵۳	خشکسالی متوسط
۱۳۷۷	-۰.۸۴۴۷۶۹	نزدیک به نرمال	۱۳۸۷	-۲.۰۲۸۵۸۷	خشکسالی خیلی شدید
۱۳۷۸	-۲.۳۰۰۹۳۵	خشکسالی خیلی شدید	۱۳۸۸	-۰.۰۰۴۱۱	نزدیک به نرمال

جدول ۵- متوسط شاخص استاندارد بارندگی از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ برای ایستگاه اسلام آباد غرب

تاریخ	شاخص SPI	شدت خشکسالی
۱۳۸۹	-۱.۶۶۷۴۳۵	خشکسالی شدید
۱۳۹۰	-۰.۶۱۶۳۸۱	نزدیک به نرمال
۱۳۹۱	-۱.۴۴۸۶۲۸	خشکسالی متوسط
۱۳۹۲	-۰.۴۸۰۷۶۴	نزدیک به نرمال
۱۳۹۳	-۱.۷۲۳۸۱۵	خشکسالی خیلی شدید
۱۳۹۴	۰.۲۸۲۷۸۵۶	نزدیک به نرمال
۱۳۹۵	-۰.۱۸۱۸۶۳	نزدیک به نرمال
۱۳۹۶	-۰.۶۱۳۳۹۲	نزدیک به نرمال
۱۳۹۷	۱.۲۸۴۰۳۱۷	مرطوب متوسط
۱۳۹۸	۰.۱۰۳۲۹۲۳	نزدیک به نرمال



شکل ۲- روند تغییرات شاخص استاندارد بارندگی ایستگاه اسلام آباد غرب با استفاده از نرم افزار Minitab18

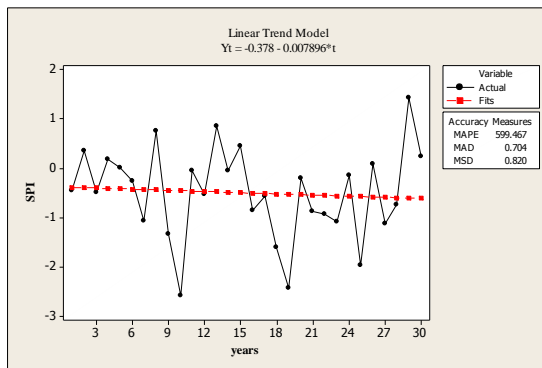
در جداول ۶ و ۷ نیز وضعیت شدت خشکسالی در هر سال در ایستگاه سرپل ذهاب نمایش داده شده براساس جداول می توان نتیجه گرفت که شدت خشکسالی در این ایستگاه نیز برای هر سال در نوسان بوده و همانطور که در شکل ۳ روند تغییرات شاخص استاندارد بارندگی با استفاده از نرم افزار Minitab18 در طی ۳۰ سال از این ایستگاه نمایش داده شده است، می توان نتیجه گرفت که این روند در بازه ۳۰ ساله با توجه به طبقه بندی شاخص SPI در شرایط نزدیک به نرمال قرار دارد.

جدول ۶- متوسط شاخص استاندارد بارندگی از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۸ برای ایستگاه سرپل ذهاب

تاریخ	شاخص SPI	شدت خشکسالی	تاریخ	شاخص SPI	شدت خشکسالی
۱۳۶۹	-۰.۴۶۰۴۶۷	نزدیک به نرمال	۱۳۷۹	-۰.۰۴۸۴۹۴	نزدیک به نرمال
۱۳۷۰	۰.۳۵۵۵۹۰۶	نزدیک به نرمال	۱۳۸۰	-۰.۵۳۴۷۱۱	نزدیک به نرمال
۱۳۷۱	-۰.۴۸۱۵۳۸	نزدیک به نرمال	۱۳۸۱	۰.۸۶۱۹۳۸۳	نزدیک به نرمال
۱۳۷۲	۰.۱۸۰۸۲۹۱	نزدیک به نرمال	۱۳۸۲	-۰.۰۵۱۶۳۴	نزدیک به نرمال
۱۳۷۳	۰.۰۰۳۳۱۳۵	نزدیک به نرمال	۱۳۸۳	۰.۴۵۷۳۳۷۵	مرطوب متوسط
۱۳۷۴	-۰.۲۶۶۴۱	نزدیک به نرمال	۱۳۸۴	-۰.۸۵۷۷۵۱	نزدیک به نرمال
۱۳۷۵	-۱.۰۶۳۶۶۸	خشکسالی متوسط	۱۳۸۵	-۰.۵۶۶۶۵۹	نزدیک به نرمال
۱۳۷۶	۰.۷۵۰۶۵۹۶	نزدیک به نرمال	۱۳۸۶	-۱.۶۰۴۱۴۷	خشکسالی شدید
۱۳۷۷	-۱.۳۴۱۷۲۹	خشکسالی متوسط	۱۳۸۷	-۲.۴۳۶۰۶۶	خشکسالی خیلی شدید
۱۳۷۸	-۲.۵۸۵۲۶۱	خشکسالی خیلی شدید	۱۳۸۸	-۰.۲۰۷۴۴۵	نزدیک به نرمال

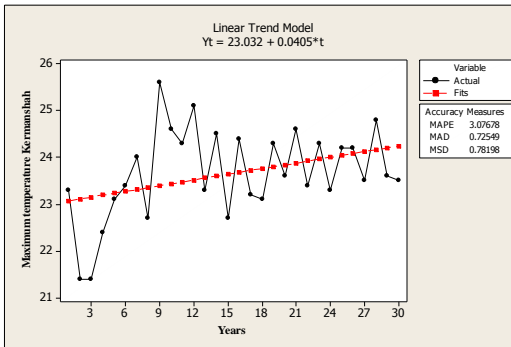
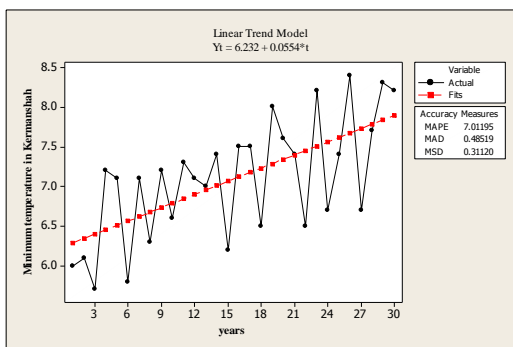
جدول ۷- متوسط شاخص استاندارد بارندگی از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ برای ایستگاه سرپل ذهاب

تاریخ	شاخص SPI	شدت خشکسالی
۱۳۸۹	-۰.۸۷۱۰۱۹	نزدیک به نرمال
۱۳۹۰	-۰.۹۲۵۸۵۱	نزدیک به نرمال
۱۳۹۱	-۱.۰۸۳۱۱۵	خشکسالی متوسط
۱۳۹۲	-۰.۱۴۱۳۴۷	نزدیک به نرمال
۱۳۹۳	-۱.۹۶۰۸	خشکسالی شدید
۱۳۹۴	۰.۰۸۳۸۶۷۷	نزدیک به نرمال
۱۳۹۵	-۱.۱۱۹۸۱۷	خشکسالی متوسط
۱۳۹۶	-۰.۷۴۱۸۸۴	نزدیک به نرمال
۱۳۹۷	۱.۴۲۱۷۵	مرطوب متوسط
۱۳۹۸	۰.۲۳۳۹۶۶	نزدیک به نرمال

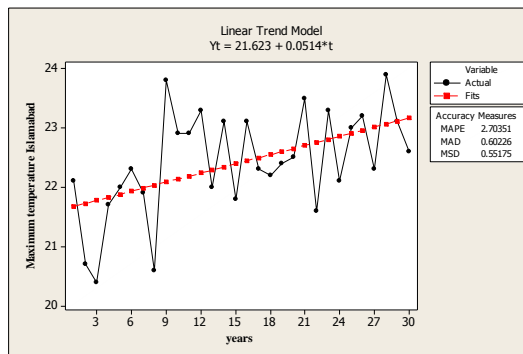
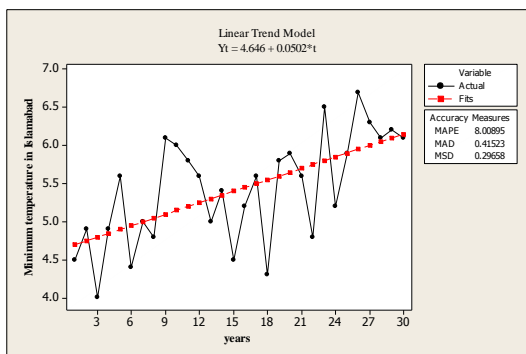


شکل ۳- روند تغییرات شاخص استاندارد بارندگی ایستگاه سرپل ذهاب با استفاده از نرم افزار Minitab18

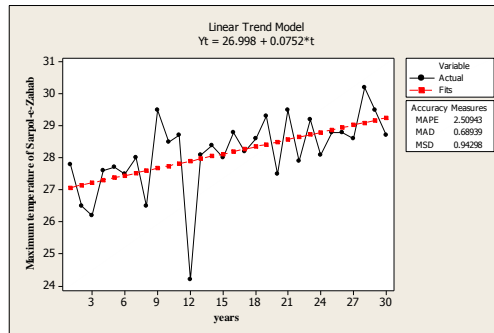
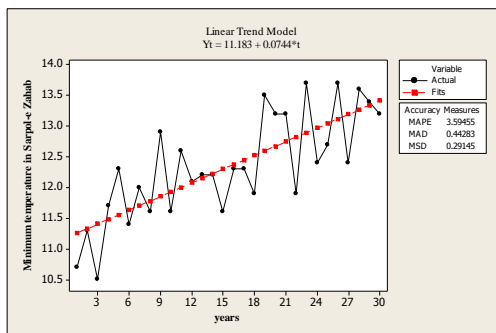
همچنین به منظور ارزیابی روند تغییرات دما، داده‌های مربوط به متوسط حداکثر تغییرات دما و متوسط حداقل تغییرات دما برای ایستگاه‌های کرمانشاه، اسلام آباد غرب و سرپل ذهاب از سازمان هواشناسی استان کرمانشاه طی سال‌های ۱۳۶۹-۱۳۹۸ استخراج شد. نتایج مربوط به آزمون رگرسیون خطی با استفاده از نرم افزار Minitab18 در اشکال ۴ تا ۶ نمایش داده شده است. با توجه به اشکال ۴ تا ۶ می‌توان نتیجه گرفت که شیب نمودار متوسط حداقل دما و متوسط حداکثر دما در هر سه ایستگاه کرمانشاه، اسلام آباد غرب و سرپل ذهاب صعودی بوده و نمایانگر افزایش دما در بازه ۳۰ ساله برای هر سه ایستگاه است.



شکل ۴- روند خطی دمای متوسط حداقل و حداکثر در ایستگاه‌های کرمانشاه



شکل ۵- روند خطی دمای متوسط حداقل و حداکثر در ایستگاه‌های اسلام آباد غرب



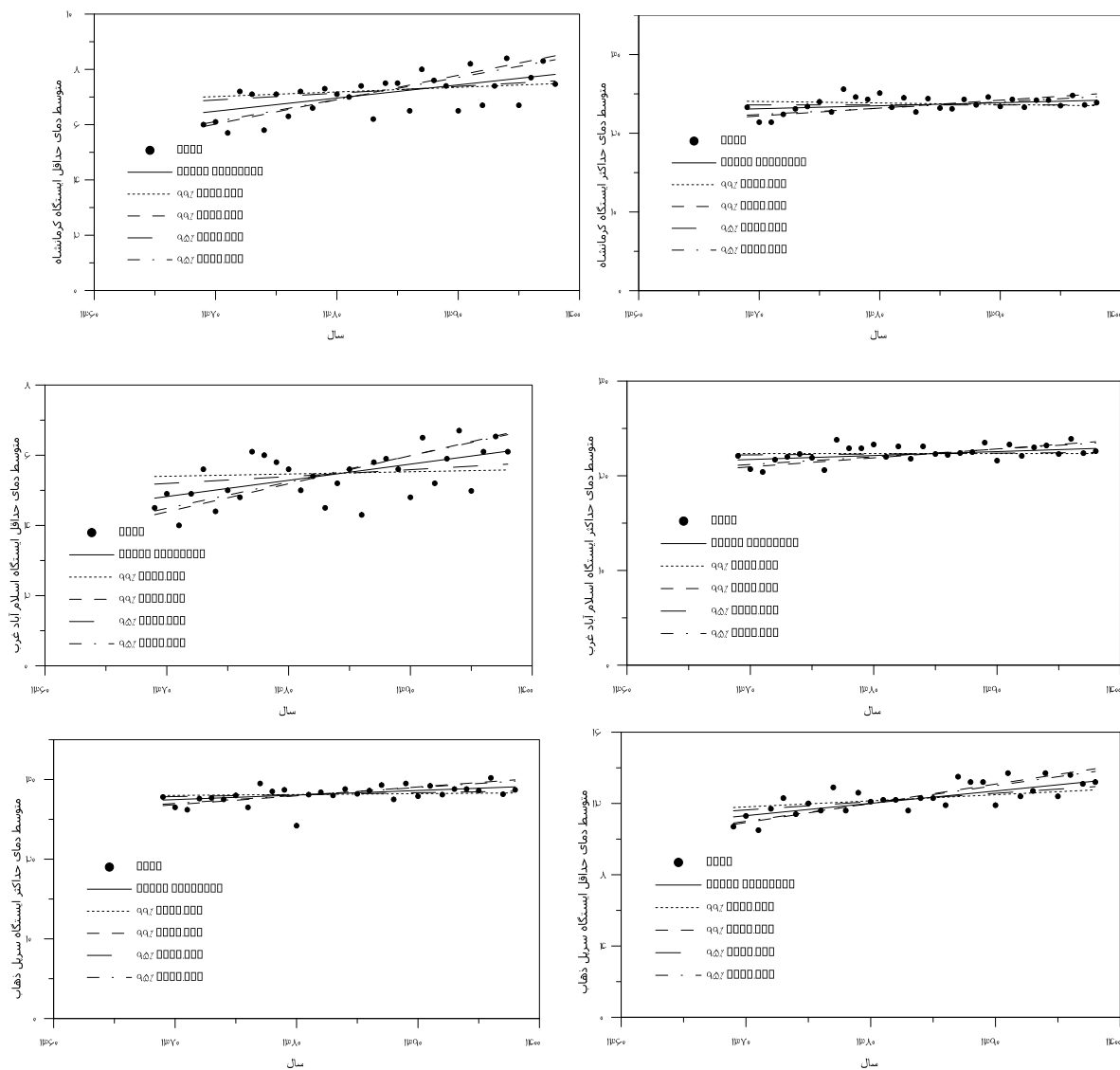
شکل ۶- روند خطی دمای متوسط حداقل و حداکثر در ایستگاه‌های اسلام آباد غرب

همچنین در جدول ۸، با توجه به اینکه اگر Z در آزمون مان-کندال بین $۲/۵۸-۱/۹۶$ قرار بگیری، در سطح ۹۵ درصد معنی دار است و اگر بیشتر از $۲/۵۸$ باشد، در سطح ۹۹ درصد معنی دار خواهد بود و در غیر این صورت غیر معنی دار است، همچنین اگر صفر بین دو آماره سنس استیمیتور قرار بگیرد، داده‌ها بدون روند است، می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییر دمای حداقل و حداکثر در هر سه ایستگاه براساس دو روش ناپارامتریک مان-کندال و سنس استیمیتور افزایشی بوده و در سطح ۹۹ درصد معنی دار است. (در جدول نماد * نشانگر معنی داری در سطح ۹۵ درصد و نماد ** نشانگر معنی داری در سطح ۹۹ درصد است)

جدول ۸- نتایج دو آزمون ناپارامتریک مان-کندال و سنس استیمیتور برای ایستگاه‌های کرمانشاه، اسلام آباد غرب و سرپل ذهاب

ایستگاه	کرمانشاه	اسلام آباد غرب	سرپل ذهاب
Z(min)	**۳/۶۱	**۳/۰۴	**۴/۵۶
Z(max)	**۲/۸۴	**۲/۵	**۳/۱۵
Q(min)	**۰/۰۴۷۶	**۰/۰۴۶۲	**۰/۰۷۵۰
Q(max)	**۰/۰۳۸۱	**۰/۰۴۱۷	**۰/۰۵۷۱

همانطور که در شکل ۷ نیز برآزشی از شیب نمودار سنس استیمیتور بر داده‌های متوسط حداقل و حداکثر دما در سه ایستگاه کرمانشاه، اسلام آباد و سرپل ذهاب نمایش داده شده است، می‌توان نتیجه گرفت که این شیب دارای روند صعودی بوده و در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار است.



شکل ۷- برآزش نمودار شیب سنس بر متوسط دمای حداقل و حداکثر در سه ایستگاه کرمانشاه، اسلام آباد غرب و سرپل ذهاب

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از داده‌های بارندگی سازمان هواشناسی استان کرمانشاه که در طی ۳۰ سال برای سه ایستگاه کرمانشاه، اسلام آباد غرب و سرپل ذهاب استخراج شد، به بررسی وضعیت خشکسالی در این سه ایستگاه پرداخته شد. در ابتدا با استفاده از نرم افزار DIC به بررسی شدت خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد SPI پرداخته شد و وضعیت خشکسالی و ترسالی در هر سال تعیین شد. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab18 روند خشکسالی مشخص شده و نتایج نشان داد که هر سه ایستگاه در دوره ۳۰ ساله در وضعیت نزدیک به نرمال قرار دارند. همچنین با استفاده از داده‌های متوسط دمای حداقل و حداکثر که برای مدت ۳۰ سال از سازمان هواشناسی استان کرمانشاه تهیه شد به بررسی روند تغییرات دما در طی این دوره با استفاده از نرم‌افزار Minitab18 پرداخته شد. نتایج نشان دادند که روند متوسط دمای حداقل و حداکثر در هر سه ایستگاه افزایشی بوده است. همچنین در انتها با استفاده از دو روش ناپارامتریک مان-کندال و سنس استیمیتور تغییرات متوسط دمای حداقل و حداکثر بررسی و این دو روش نیز روند افزایشی دما را تایید نمودند. در جمع بندی کلی براساس نتایج بدست آمده با توجه به روند نوسانی میزان بارندگی در هر سال و روند افزایشی دما و با توجه به اینکه در طی مدت ۳۰ ساله شرایط نزدیک به نرمالی به لحاظ وضعیت خشکسالی برآورد شده است، می‌توان دلایل این امر را در نشانه‌های تغییر اقلیم و گرمایش جهانی جستجو نمود. راهکارهایی به منظور مقابله با آسیب‌های ناشی از تغییرات اقلیمی در حوزه‌های مختلف محیط زیستی، انسانی، اجتماعی و اقتصادی صورت گرفته که نیازمند مدیریت مناسب برای تداوم برنامه‌ریزی‌های فعلی به منظور حصول عملکرد بهتر در آینده است.

منابع

- تیموری یگانه، ل. تیموری یگانه، م. (۱۳۹۹). کاربرد مدل سری زمانی برای تخمین میزان بارش ماهانه در استان کرمانشاه. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی. سال یازدهم، شماره ۴۴، صص ۱۴۲-۱۳۷.
- جهانگیر، م.ح.، خوش مشربان، م.، یوسفی، ح. (۱۳۹۴). پایش و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد (SPI) و شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (مطالعه موردی: استان‌های تهران و البرز). مجله اکوهیدرولوژی. دوره ۲، شماره ۴.
- حجازی زاده، ز.، جوئی زاده، س. (۱۳۸۹). آشنایی با خشکسالی و شاخص‌های آن. انتشارات سمت، ص ۳۵۸.
- حجانی، س.، بذرافشان، ج. (۱۳۹۴). مقایسه دو رهیافت محاسبه شاخص بارندگی استاندارد در اقلیم‌های خشک و مرطوب ایران. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. دوره ۹، شماره ۲۸، صص ۶۴-۶۱.
- شمس نیا، ا. (۱۳۸۶). تعیین طبقه بندی بهینه شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در ارزیابی خشکسالی‌های استان فارس. سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروز آباد، ۴۸ صفحه.
- فرحزاده، م.، موحد دانش، ع.، قائمی، ه. (۱۳۶۹). خشکسالی در ایران (با استفاده از برخی شاخص‌های آماری). دانش کشاورزی ۵ (۱ و ۲): ۳۰-۵۲.
- مقدم، ح.، بذاق جمالی، ج.، جوانمرد، س.، مهدویان، ع.، ل. خزانه داری، م.، خسروی، م.، ابراهیم پور. (۱۳۸۰). پایش خشکسالی براساس نمایه SPI، دهک‌ها و نرمال در استان سیستان و بلوچستان. مجموعه مقالات اولین کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، ۸۰-۶۹.
- Chang, T.J.(1989). Characteristics of extreme precipitations. Water resour. Bull. 25(5):1037-1040.
- Diaz, H.F. (1983). Som aspects of major dry and wet periods in the contiguous united states,1895-1981.j.climate appl. Meteorol.22:2-16.
- Guttman, N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of American water Resources Association* 35(2): 311-322.
- Herbst,P.H.,D.B. bredencamp and H.M.G. baker.(1966). a technique for the evaluation of drought from rainfall data. J.hydrol. 4(4):264-272.
- Kendall, M. (1975). Rank Correlation Methods, Griffin, London.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*. 13:245-259.
- Mckee, T. B., N. J. Doesken and J. kleist. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, 170-184.
- Mohan,S. and N.C. rangacharia. (1991). A modified method for drought identification. *Hydrol.Sci.J.*
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought. *U.S. Department of commerce Weather, Bureau Reasearch Paper* 45, 58pp.
- Serrano, S. M. and J. I. Moreno. (2005). Hyrological response to different time scales of climatological drought: An evaluation of the standardized precipitation index in a mountainous mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 2:1221-1246.

Shafer, B. A. and L. E. Dezman. (1982). Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snow pack runoff areas. Proceedings of The Western Snow Conference pp: 164-175.

