

شناسایی روند تغییرات دمای هوا و خاک با استفاده از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری در سه ایستگاه همدیدی جنوب شرق کشور

ساجده بختیاری^۱، مژده میراحمدی^۲، سودابه گلستانی کرمانی^{۳*}، بهرام بختیاری^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- نویسنده مسئول و استادیار بخش علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴- دانشیار بخش علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۱۴)

چکیده

اهمیت تغییر اقلیم و گرمایش جهانی و اثر گذاری دمای خاک بر مسائلی از قبیل تغییر رفتار هیدرولوژیکی سیستم نشان می‌دهد که داشتن درک صحیحی از روند تغییر دما به ویژه در مناطق خشک ضروری است. از این رو در این تحقیق به بررسی روند تغییرات دمای هوا و خاک در ۳ ایستگاه سینوپتیک همدیدی واقع در جنوب شرق کشور با اقلیم فرا خشک و خشک (کرمان، زاهدان و بندعباس) طی سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۵۷ پرداخته شده است. بدین منظور داده‌های ماهانه و سالانه دمای هوا در ارتفاع دو متری و دمای خاک در اعماق ۵، ۲۰ و ۵۰ سانتی متری جمع‌آوری و جهت آشکار سازی روند از دو آزمون ناپارامتری من- کندال و اسپیرمن و آزمون پارامتری ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. همچنین جهت ارزیابی دقت روش‌های مورد استفاده از روش درصد توان آزمون استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که متوسط دمای هوا در سری زمانی سالانه فقط در دو ایستگاه کرمان و زاهدان روند افزایشی داشته و روند مشخصی در دمای هوای ایستگاه بندر عباس مشاهده نشد. در مقیاس سالانه روند افزایش دمای لایه سطحی خاک تا عمق ۲۰ سانتی متری در هر سه ایستگاه مشاهده شد. افزایش دمای خاک در مقیاس ماهانه نیز در هر سه ایستگاه در عمق ۵۰ سانتی متری در ماه‌های اوت تا دسامبر دیده شد. همچنین با تعیین درصد توان آزمون مشخص شد که آزمون ناپارامتری من- کندال مناسب‌ترین آزمون برای روندیابی دمای هوا و خاک در مناطق مورد نظر می‌باشد. کلمات کلیدی: آزمون من- کندال، آزمون اسپیرمن، ضریب همبستگی پیرسون، درجه حرارت خاک.

۱۳۸۷). تغییر دمای خاک ناشی از گرمایش اقلیمی، ممکن

است حتی در مواردی منجر به ذوب سطوح یخ زده، تغییر در شرایط و رفتار هیدرولوژیکی سیستم، تغییر میزان پراکنش و رشد گیاهان و افزایش میزان تجزیه کربن آلی خاک گردد (محمدی و فروزان‌فرد، ۱۳۹۵). از این رو تحلیل روند نوسانات دمایی خاک به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم ضروری است. روش‌های مورد استفاده جهت بررسی روند تغییرات دما عموماً به دو دسته روش‌های پارامتری و ناپارامتری تقسیم می‌شوند. روش ناپارامتری به روش‌های آماری گفته می‌شود که سعی می‌کنند کمترین فرض‌ها را در تحلیل داده انجام دهند. این روش‌ها برای داده‌هایی که نتوان توزیع آماری مناسبی برای آن‌ها در نظر گرفت و وجود داده‌های پرت امکان انتخاب توزیع نرمال را برایشان میسر نمی‌کند، کاربرد دارد (هاپکینز و همکاران،

مقدمه

تغییرات محیطی ناشی از گرم شدن کره زمین نشان می‌دهد که تعدادی از عوامل اقلیمی در حال تغییر هستند و اثرات این پدیده بر جنبه‌های مختلف زیستی به ویژه بخش کشاورزی قابل تامل است (احمدی و رادمنش، ۱۳۹۳). تغییر اقلیم معادل تغییرات معنی‌دار آماری برای متوسط وضع آب و هوا در یک دوره طولانی است که اثرات ناشی از آن می‌تواند با انتشار از سطح زمین به سوی ژرفای خاک، رژیم گرمایی خاک را تحت تاثیر قرار دهد (گلشن و همکاران، ۱۳۹۳). چگونگی تغییرات دمای خاک نسبت به زمان و مکان یکی از مهم‌ترین عواملی است که نه تنها تبادل ماده و انرژی را در خاک تحت تاثیر قرار می‌دهد، بلکه میزان و جهت کلیه فرآیندهای فیزیکی خاک به طور مستقیم یا غیرمستقیم به دما وابسته است (نجفی مود و همکاران،

دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به رابطه دمای هوا با دمای خاک، تغییر پارامترهای اقلیمی در سال‌های اخیر و اثر گذاری آن بر دمای خاک و رابطه بین دمای خاک و فرآیند رشد و نمو گیاه، ضروری است که بررسی روند این تغییرات در بازه‌های زمانی مختلف و به طور مکرر به ویژه در مناطق خشک انجام شود. با توجه به مطالب مطرح شده در این تحقیق سه هدف دنبال می‌شود. ۱- بررسی روند تغییر دمای هوا در ارتفاع دو متری در سری زمانی ماهانه و سالانه در ایستگاه‌های همدیدی کرمان، زاهدان و بندرعباس با استفاده از آمار سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۵۷ با استفاده از دو آزمون ناپارامتری من- کندال، اسپیرمن و ضریب همبستگی پیرسون ۲- بررسی روند تغییر دمای خاک در اعماق ۵، ۲۰ و ۵۰ سانتی متری در سری‌های زمانی و در ایستگاه‌های مذکور ۳- ارزیابی دقت روش‌های آماری مورد استفاده در مناطق مذکور.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق به بررسی روند تغییرات دمای هوا و خاک در بازه زمانی ماهانه و سالانه در سه منطقه دارای اقلیم فراخشک و خشک در جنوب شرق ایران پرداخته شده است. بدین منظور از اطلاعات ماهانه و سالانه دمای هوا و اعماق ۵، ۲۰ و ۵۰ سانتی متر خاک در ایستگاه‌های کرمان، بندرعباس و زاهدان در سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۵۷ استفاده شد. مشخصات کلی ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به اینکه ثبت دمای خاک در ایستگاه‌های مورد نظر از سال ۱۹۹۲ آغاز شده است و این دوره آماری برای بررسی روند تغییرات دمای خاک نسبتاً کوتاه است، بنابراین از روش رگرسیون خطی بین دمای هوا و دمای خاک جهت تطویل طول دوره استفاده شد و دمای خاک در بازه سال‌های ۱۹۵۷ تا ۱۹۹۲ برای ایستگاه‌های مذکور بازسازی شد (ژنگ و همکاران، ۱۹۹۳؛ پارسافر و معروفی، ۱۳۸۹؛ گلشن و همکاران، ۱۳۹۳). سپس کنترل کیفی برای بررسی صحت داده‌ها و حذف داده‌های پرت، انجام شد.

(۲۰۱۸). در مقابل، آمار پارامتریه مجموعه روش‌های آماری گفته می‌شود که در آن، مدلی پارامتری برای پدیده احتمالی مورد مطالعه فرض می‌شود و همه استنتاج‌های آماری بر اساس آن مدل انجام می‌شود (هاپکینز و همکاران، ۲۰۱۸). کاربرد روش‌های آماری مختلف در تعیین روند تغییرات دمای خاک در برخی از تحقیقات انجام شده مورد بررسی قرار گرفته و نتایج متفاوتی گزارش شده است از جمله محمدی و فروزان فرد (۱۳۹۵) تغییرات دمای خاک در چند نمونه اقلیمی ایران را با استفاده از آزمون ناپارامتری من- کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش عمق، درجه حرارت سالانه خاک تا عمق ۲۰ سانتی متری با شیب زیاد و پس از آن با شیب ملایمی کاهش یافته است. شیوخ و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی روند تغییرات دمای ژرفاهای مختلف خاک در ایستگاه شاهرود با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و آزمون‌های ناپارامتری من- کندال و اسپیرمن پرداختند. نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که دمای خاک در فصل بهار، تابستان و پاییز افزایش یافته است. ژانگ و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقات خود بیان کردند که میانگین دمای خاک به طور متوسط ۲/۵ درجه سانتیگراد بیش از دمای هوا است که البته روند تغییرات در فصل زمستان و بهار بارزتر است. همچنین کوئین و همکاران (۲۰۱۱)، یسیلمارک (۲۰۱۴)، اسوبلیچ و وستیک (۲۰۱۵)، به بررسی روند تغییر دمای خاک در بازه زمانی فصلی در مناطق مختلف جهان با استفاده از آزمون من- کندال پرداختند و نتایج بدست آمده نشان داد که دمای خاک در فصل بهار و تابستان روند افزایشی داشته است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی روند تغییرات دمای خاک در یک دوره آماری ۵۰ ساله نشان دادند که میانگین دمای سطح خاک در قسمت‌های شمالی چین بین ۲/۰۷ الی ۴/۰۴ درجه سانتیگراد و در قسمت‌های جنوبی چین بین ۰/۶۶ الی ۲/۲۱ درجه سانتیگراد افزایش یافته است و بیشترین شدت تغییرات را در فصل زمستان گزارش کردند. با بررسی پیشینه پژوهش چنین استنباط می‌شود که مطالعه روند دمای هوا و خاک به دلیل ارتباط تنگاتنگی که با مدیریت زیست اقلیمی و کشاورزی

کنترل کیفی داده‌ها

داشته باشد (عابدینی و همکاران، ۱۳۸۲). از این رو قبل از بررسی روند تغییرات دما، صحت داده‌ها با استفاده از دو روش کنترل کیفی بررسی گردید.

پایه بسیاری از مطالعات در هواشناسی و اقلیم شناسی داده‌های خام می‌باشد و وجود خطا یا عدم سازگاری بین میدان‌های مختلف می‌تواند در نتایج نهایی اثر قابل توجهی

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی (N)	طول جغرافیایی (E)	ارتفاع از سطح دریا (M)	میانگین سالانه دمای هوا (C)	میانگین سالانه رطوبت نسبی هوا (%)	حداکثر سرعت باد (m/s)	نوع اقلیم (طبقه بندی دومارتن)
کرمان	۳۰° ۱۵'	۵۶° ۵۸'	۱۷۵۳/۸	۱۵/۹	۳۴/۴	۲۵	خشک
زاهدان	۲۹° ۲۸'	۶۰° ۵۳'	۱۳۷۰/۰	۱۸/۵	۳۱/۶	۱۶	فراخشک
بندرعباس	۲۷° ۱۳'	۵۶° ۲۴'	۹/۸	۲۷	۶۴/۸	۲۲	فراخشک

$$\Delta T(z, t) = |T(z, t) - T(z, t - 1)| \quad (2)$$

در رابطه ۲، دمای هوا در روز مورد نظر و عمق داده شده و $T(z, t-1)$ دمای هوا در روز قبل در همان عمق می‌باشد (هو و فنگ، ۲۰۰۳). اما به دلیل اینکه نرخ روزانه تغییرات دمای خاک در زمستان بسیار کم و در طول بهار زیاد است، توصیف تغییرات مقادیر اکسترمم، وقتی که از یک تابع پله‌ای استفاده می‌شود، مشکل است (بلترامی، ۲۰۰۱). بنابراین یک رویکرد متفاوت به کار گرفته شد و از یک مقدار ثابت به عنوان مرز ROC استفاده گردید. ابتدا انحراف معیار کل داده‌های دمای خاک در هر عمق محاسبه و سپس ۸ برابر انحراف معیار به عنوان مرز ROC در نظر گرفته شد و پس از رسم منحنی دمای خاک و خط ROC در یک نمودار، هر داده‌ای که از ۸ برابر انحراف معیار (ROC) بیشتر بود، حذف گردید (هو و فنگ، ۲۰۰۳).

آزمون‌های مورد استفاده

آزمون ناپارامتری من - کندال

آزمون من - کندال اولین بار توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) گسترش یافت. این آزمون میزان ارتباط بین دو سری از متغیرها را نشان می‌دهند تا مشخص شود که آیا متغیر اول با افزایش متغیر دوم تغییر می‌کند یا خیر. فرض صفر این آزمون مبتنی بر ناگهانی بودن و نبود روند در سری داده‌ها است و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دلیل بر وجود روند در سری داده‌ها است (شیوخی

روش LIM

این روش مرزهای بالا و پایین دما را تعریف می‌کند. در حقیقت روش LIM می‌تواند به شناسایی داده‌ها در خارج از دامنه کمک کند. برای بدست آوردن محدوده‌های بالا / پایین در LIM برای یک سری داده مربوط به درجه حرارت خاک ابتدا بالاترین و پایین‌ترین دمای خاک برای هر روز مشخص شد. بعد از تعیین مقادیر اکسترمم روزانه از رابطه (۱) برای توصیف تغییرات دماهای اکسترمم استفاده گردید. بعد از اینکه توابع پوششی در هر ایستگاه و هر سری زمانی استخراج شدند، Tu و Tl به عنوان مرزهای بالا و پایین دمای خاک مشخص و برای مقایسه با داده‌های فردی به کار گرفته شدند. سپس هر داده‌ای که در رابطه $Tl(z, t) \leq T(z, t) \leq Tu(z, t)$ صدق نکرد، حذف شد (هو و فنگ، ۲۰۰۳).

$$T(z, t) = T_0(z) + A(z)\sin(\omega t) \quad (1)$$

در رابطه ۱، t شماره روز از سال، $\omega = 2\pi/365$ فرکانس، z عمق، A دامنه تغییرات و $T_0(z)$ اکسترمم دمای خاک در هر روز می‌باشد.

روش ROC

روش ROC محدوده تغییرات دمای خاک را در عمق‌های داده شده بررسی می‌کند. در این روش در هر ایستگاه و برای هر سری زمانی، تغییرات دمای خاک بین دو روز متوالی را می‌توان از رابطه (۲) محاسبه کرد:

در رابطه (۷) P ضریب همبستگی اسپیرمن، n تعداد مشاهده‌ها و $\sum d_i$ مجموع مجذور تفاوت دو رتبه می‌باشد. سپس با استفاده از رابطه (۸) آماره t محاسبه می‌شود که بعد از مقایسه آن با t جدول (با درجه آزادی $n-2$) معنی‌داری یا عدم معنی‌داری آن مشخص می‌گردد (گلشن و همکاران، ۱۳۹۳). در رابطه (۸) n و z به ترتیب تعداد مشاهده و نمره استاندارد می‌باشد.

$$t = \frac{P\sqrt{n-2}}{1-p^2} \quad (۸)$$

ضریب همبستگی پیرسون

این ضریب به منظور بررسی رابطه بین دو متغیر پیوسته (فاصله‌ای یا نسبی) مورد استفاده قرار می‌گیرد که دارای توزیع نرمال هستند و میزان تغییرپذیری مشترک بین دو متغیر یا اشتراک آنها را نشان می‌دهد. این ضریب، شاخص عددی است که شدت و جهت هر نوع همبستگی خطی بین دو پارامتر را نمایان می‌سازد و بین $+1$ و -1 تغییر می‌کند و از رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (۹)$$

در رابطه مذکور، y_i متغیر i ام (دما)، \bar{y} میانگین متغیر، x_i زمان، \bar{x} میانگین زمان و n تعداد سری‌های زمانی است. با مشخص شدن مقدار r با استفاده از جدول ضریب همبستگی پیرسون معنی‌داری آن در سطح اطمینان مورد نظر بررسی می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۱۹). در این تحقیق برای استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، ابتدا نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی و تایید قرار گرفت. اما لازم به ذکر است که استفاده همزمان از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری باعث می‌شود که هر گونه تغییر در هر بخشی از سری زمانی مشخص شود و کاربرد این آزمون‌های آماری در کنار هم روشی مطمئن و متداول برای بررسی تغییرات موجود در یک سری زمانی است (گلشن و همکاران، ۱۳۹۳؛ شیوخی و همکاران، ۱۳۹۷). در نهایت برای انتخاب بهترین آزمون از درصد توان آزمون استفاده شد. توان آزمون تعداد موارد معنی‌دار تقسیم بر کل موارد آزمون می‌باشد و هرچه درصد توان آزمون بیشتر باشد دقت مدل نیز بیشتر است (گلشن و همکاران، ۱۳۹۳).

سوغانلو و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین فرض اصلی استفاده از این آزمون، مستقل بودن داده‌ها است (باقربور و همکاران، ۱۳۹۶). آزمون من-کنندال با تعریف آماره S به شکل رابطه (۳) تعریف می‌شود که در آن x_j داده j ام سری و x_i داده i ام سری و n تعداد نمونه است. مقدار $\text{sign}(x_i - x_j)$ برای $(x_i - x_j) < 0$ برابر -1 و برای $(x_i - x_j) = 0$ برابر با صفر و برای $(x_i - x_j) > 0$ برابر 1 می‌باشد (کومار و همکاران، ۲۰۱۴).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (۳)$$

به ازای $n \geq 8$ آماره S دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن به شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$E(s) = 0 \quad (۴)$$

$$\text{Var}(s) = \frac{n-(n-1)(2n+5)-\beta}{18} \quad (۵)$$

β عامل مربوط به تصحیح پراکندگی است. در نهایت آماره Z از رابطه (۶) محاسبه می‌شود. مقادیر مثبت Z نشان دهنده روندهای افزایشی و مقادیر منفی Z نشان دهنده روندهای کاهشی است. فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در داده‌ها برای مقادیر Z بزرگتر از $1-p/2$ رد می‌شود (میشرا و همکاران، ۲۰۱۴).

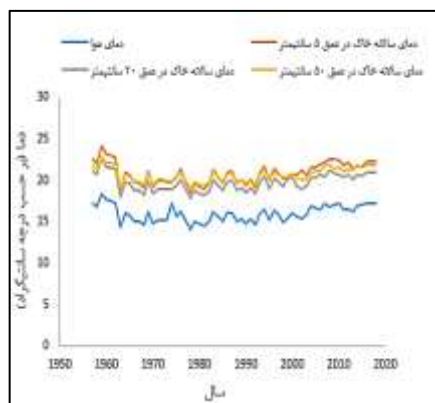
$$Zc = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}}, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}}, S < 0 \end{cases} \quad (۶)$$

آزمون اسپیرمن

این ضریب در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسط چارلز اسپیرمن پیشنهاد شد. ضریب همبستگی اسپیرمن همانطور که در رابطه (۷) نشان داده شده است، همواره بین $+1$ و -1 نوسان است و از جمله شرایط استفاده از این ضریب این است که دو متغیر باید سطح‌های زیادی داشته باشند تا رتبه بندی افراد مفهوم پیدا کند و چنانچه تعداد سطح‌ها کم باشد، به دلیل اینکه تعداد زیادی از پارامترها در یک رتبه قرار می‌گیرند، محاسبه ضریب امکان‌پذیر نیست (اقبال و همکاران، ۲۰۱۸).

$$P = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2-1)} \quad (۷)$$

تغییرات افزایشی بوده که در سطح پنج درصد معنی دار است.



شکل ۱: روند تغییرات دمای سالانه هوا و خاک در ایستگاه کرمان

سری زمانی ماهانه

نتایج ارایه شده در جدول (۳) نشان می‌دهد که تغییرات دمای هوا و دمای خاک در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل تا عمق ۲۰ سانتی‌متری با استفاده از سه آزمون من-کندال، اسپیرمن و پیرسون معنی‌دار نیست. تغییرات دمای خاک در ماه می در عمق ۵ سانتی‌متری با سه آزمون دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد بود که با روند افزایشی دمای هوا در این ماه همخوانی دارد. در ماه ژوئن روند خاصی در دمای خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری با سه آزمون مشاهده نشد، درحالی‌که در عمق ۵۰ سانتی‌متری روند کاهشی معنی‌دار در سطح یک درصد مشاهده شد. در ماه ژوئیه روند خاصی در تغییر دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک با استفاده از سه آزمون من-کندال، اسپیرمن و پیرسون مشاهده نشد. در ماه اوت و سپتامبر در تغییر دمای هوا و دمای خاک تا عمق ۵ سانتی‌متری با استفاده از هر سه آزمون روند خاصی مشاهده نشد و در عمق ۵۰ سانتی‌متری روند افزایشی مشاهده شد که در سطح یک درصد معنی‌دار است. همچنین در ماه‌های اکتبر و نوامبر با استفاده از سه آزمون روند تغییرات دمای خاک در اعماق ۲۰ و ۵۰ سانتی‌متر افزایشی و در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در ماه دسامبر تا عمق ۲۰ سانتی‌متری روند خاصی مشاهده نشد و در ۵۰ سانتی‌متر روند افزایشی معنی‌دار در سطح یک درصد مشاهده شد.

بحث و نتایج

نتایج حاصل از اعمال آزمون‌های من-کندال و اسپیرمن و ضریب همبستگی پیرسون بر داده‌های دمای هوا و خاک جمع‌آوری شده از سه ایستگاه مطالعاتی کرمان، بندرعباس و زاهدان به شرح زیر می‌باشد.

کنترل کیفی داده‌ها

با توجه به اهمیت صحت داده‌ها در مطالعات، کنترل کیفی داده‌های دمای خاک در اعماق ۵، ۲۰ و ۵۰ سانتی‌متری به دو روش LIM و ROC برای سه ایستگاه کرمان، زاهدان و بندرعباس در بازه زمانی ۱۹۵۷-۲۰۱۸ انجام شد. بررسی نتایج بدست آمده نشان داد برای هر سه ایستگاه در همه اعماق هیچ داده‌ای از خط ROC تجاوز نکرد. در واقع هیچ داده پرتی مشاهده نشد. برای اطمینان بیشتر نتایج روش LIM نیز بررسی شد. در این روش برای ایستگاه‌های کرمان، زاهدان و بندرعباس در عمق ۵ سانتی‌متری به ترتیب ۰/۱۱ درصد، ۰/۲ درصد و ۰/۱۳ درصد و در عمق ۲۰ سانتی‌متری برای کرمان ۰/۰۶ درصد داده پرت وجود داشت و برای زاهدان و بندرعباس داده پرت مشاهده نشد. همچنین برای عمق ۵۰ سانتی‌متری برای ایستگاه کرمان و زاهدان ۰/۰۶ درصد و برای بندرعباس ۰/۰۹ درصد داده‌ها پرت بودند که حذف شدند.

بررسی روند تغییر دمای هوا و خاک در ایستگاه کرمان

سری زمانی سالانه

نتایج ارایه شده در شکل (۱) و جدول (۲) نشان می‌دهد که روند تغییرات دمای هوا و اعماق خاک مورد بررسی در ایستگاه کرمان در سری زمانی سالانه با استفاده از آزمون من-کندال دارای روند افزایشی بوده که در سطح پنج درصد معنی‌دار است. در حالی‌که در نتایج بدست آمده از ضریب همبستگی پیرسون در سری زمانی سالانه روند معنی‌دار خاصی در تغییر دمای خاک در اعماق مورد بررسی مشاهده نشد. همچنین نتایج بدست آمده از آزمون اسپیرمن نشان داد که تا عمق ۲۰ سانتی‌متری روند خاصی در تغییر دمای خاک مشاهده نشد، اما برای عمق ۵۰ سانتی‌متری روند

جدول ۲. روند تغییرات سالانه دمای هوا و خاک با آزمون من-کنندال، اسپیرمن و پیرسون در ایستگاه همدیدی کرمان (۲۰۱۸-۱۹۵۷)

سری زمانی سالانه

نتایج ارایه شده در شکل (۲) و جدول (۴) نشان می‌دهد که دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک در ایستگاه زاهدان با استفاده از آزمون‌های من-کنندال، اسپیرمن و پیرسون دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

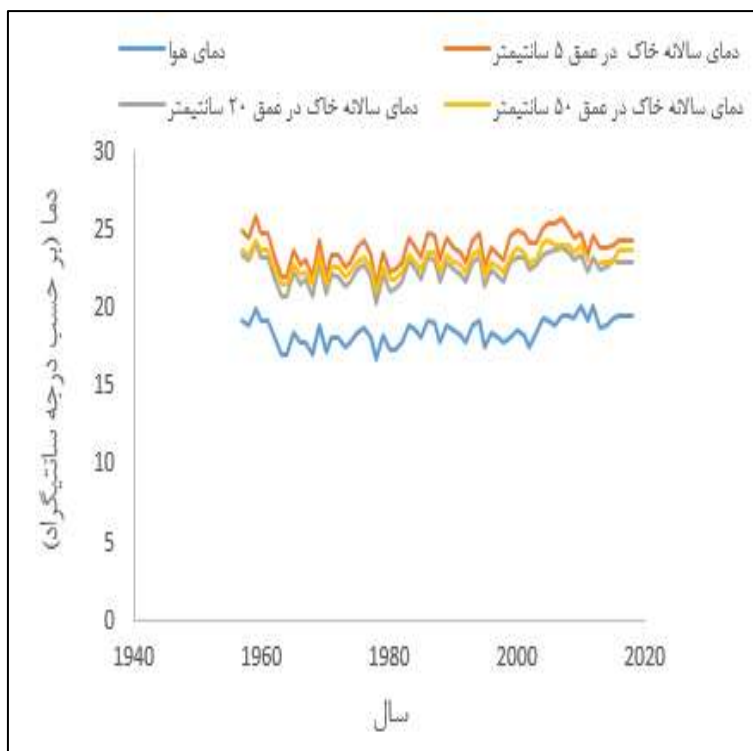
سالانه	آزمون آماری	پارامتر
A C C	من کنندال اسپیرمن پیرسون	دمای هوا
A C C	من کنندال اسپیرمن پیرسون	تغییر دمای خاک در عمق ۵ cm
A* C C	من کنندال اسپیرمن پیرسون	تغییر دمای خاک در عمق ۲۰ cm
A* A* C	من کنندال اسپیرمن پیرسون	تغییر دمای خاک در عمق ۵۰ cm

* و ** به ترتیب معنی دار بودن در سطح پنج درصد و یک درصد و A روند افزایشی، B روند کاهشی و C بدون روند معنی دار بررسی روند تغییر دمای هوا و خاک در ایستگاه زاهدان

جدول ۳. روند تغییرات ماهانه دمای هوا و خاک با آزمون من-کنندال، اسپیرمن و پیرسون در ایستگاه همدیدی کرمان (۲۰۱۸-۱۹۵۷)

پارامتر	آزمون آماری	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دمای هوا	من کنندال	C	C	C	C	A	C	C	C	C	C	C	C
	اسپیرمن	C	C	C	C	A	C	C	C	C	C	C	C
	پیرسون	C	C	C	C	A	C	C	C	C	C	C	C
تغییر دمای خاک در عمق ۵cm	من کنندال	C	C	C	C	A	C	C	C	C	A	A	C
	اسپیرمن	C	C	C	C	A	C	C	C	C	A	A	C
	پیرسون	C	C	C	C	A	C	C	C	C	C	C	C
تغییر دمای خاک در عمق ۲۰cm	من کنندال	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	C
	اسپیرمن	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	C
	پیرسون	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A
تغییر دمای خاک در عمق ۵۰cm	من کنندال	C	B	B	B	C	B	C	A	A	A	A	A
	اسپیرمن	C	B	B	B	C	B	C	A	A	A	A	A
	پیرسون	C	B	B	B	C	B	C	A	A	A	A	A

* و ** به ترتیب معنی دار بودن در سطح پنج درصد و یک درصد و A روند افزایشی، B روند کاهشی و C بدون روند معنی دار



شکل ۲: روند تغییرات دمای سالانه هوا و خاک در ایستگاه زاهدان

جدول ۴: روند تغییرات سالانه دمای هوا و خاک با آزمون من-کنندال، اسپیرمن و پیرسون در ایستگاه همدیدی زاهدان (۱۹۵۷-۲۰۱۸)

پارامتر	آزمون آماری	سالانه
دمای هوا	من کنندال اسپیرمن پیرسون	A** A** A**
تغییر دمای خاک در عمق ۵ cm	من کنندال اسپیرمن پیرسون	A** A** A**
تغییر دمای خاک در عمق ۲۰ cm	من کنندال اسپیرمن پیرسون	A** A** A**
تغییر دمای خاک در عمق ۵۰ cm	من کنندال اسپیرمن پیرسون	A** A** A**

* و ** به ترتیب معنی دار بودن در سطح پنج درصد و یک درصد و A روند افزایشی، B روند کاهشی و C بدون روند معنی دار

روند در ماه‌های آوریل، می، ژوئیه و اوت افزایشی و در سطح پنج درصد معنی دار بود. در ماه ژوئن نیز روند افزایشی معنی دار در سطح یک درصد مشاهده شد. همچنین روند خاص در تغییرات دمای خاک با استفاده از سه آزمون در

سری زمانی ماهانه

نتایج ارائه شده در جدول (۵) نشان می‌دهد که روند خاصی در تغییرات دمای هوا با استفاده از سه آزمون در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، سپتامبر و دسامبر مشاهده نشد، اما این

فصل بهار افزایشی است و بیشترین میزان معنی‌داری در اواخر ماه می، ژوئن و ژوئیه دیده شد. همچنین روند تغییر دمای لایه سطحی خاک (۵ سانتی‌متر) در فصل بهار نیز افزایشی است که با تغییرات دمای هوا همخوانی دارد و بیشترین میزان معنی‌داری در ماه اوت و سپتامبر دیده شد که با نتایج مزیدی و فلاح زاده (۱۳۹۰) همخوانی دارد.

بررسی روند تغییر دمای خاک در ایستگاه بندرعباس

سری زمانی سالانه

نتایج ارائه شده در شکل (۳) و جدول (۶) نشان می‌دهد که روند خاصی در تغییر دمای هوا در سری زمانی سالانه با استفاده از هر سه آزمون مشاهده نشد. اما دمای اعماق ۵ و ۲۰ سانتی‌متری خاک دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح یک درصد با هر سه آزمون بود. در عمق ۵۰ سانتی‌متری روند خاصی با هیچ یک از سه آزمون مشاهده نشد.

عمق ۵ سانتی‌متری در ماه‌های فوریه، مارس آوریل و دسامبر مشاهده نشد، اما در ماه‌های می، ژوئن، ژوئیه، اکتبر و نوامبر روند مثبت معنی‌دار در سطح پنج درصد و در ماه‌های اوت و سپتامبر نیز روند افزایشی معنی‌دار در سطح یک درصد مشاهده شد. در عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک در ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل، مارس، می و ژوئن و دسامبر روند خاصی در تغییر دمای خاک مشاهده نشد، اما در ماه ژوئیه روند افزایشی معنی‌دار در سطح پنج درصد و در ماه‌های اوت، سپتامبر و نوامبر روند افزایشی که در سطح یک درصد معنی‌دار بود، مشاهده گردید. همچنین در ماه ژانویه و در عمق ۵۰ سانتی‌متری با استفاده از سه آزمون روند خاصی مشاهده نشد. اما در ماه فوریه و مارس در همین عمق روند کاهشی و معنی‌دار در سطح یک درصد مشاهده شد. همچنین دمای خاک در ماه‌های ژوئیه، اوت، اکتبر، سپتامبر و نوامبر در عمق ۵۰ سانتی‌متری دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح یک درصد بود. تحلیل روند تغییرات دما در ایستگاه زاهدان نشان داد که دمای هوا در این ایستگاه در

جدول ۶: روند تغییرات سالانه دمای هوا و خاک با آزمون من-کندال، اسپیرمن و پیرسون در ایستگاه همدیدی بندرعباس (۲۰۱۸-۱۹۵۷)

پارامتر	آزمون آماری	سالانه
دمای هوا	من کندال	C
	اسپیرمن	C
	پیرسون	C
تغییر دمای خاک در عمق ۵ cm	من کندال	A**
	اسپیرمن	A**
	پیرسون	A**
تغییر دمای خاک در عمق ۲۰ cm	من کندال	A**
	اسپیرمن	A**
	پیرسون	A**
تغییر دمای خاک در عمق ۵۰ cm	من کندال	C
	اسپیرمن	C
	پیرسون	C

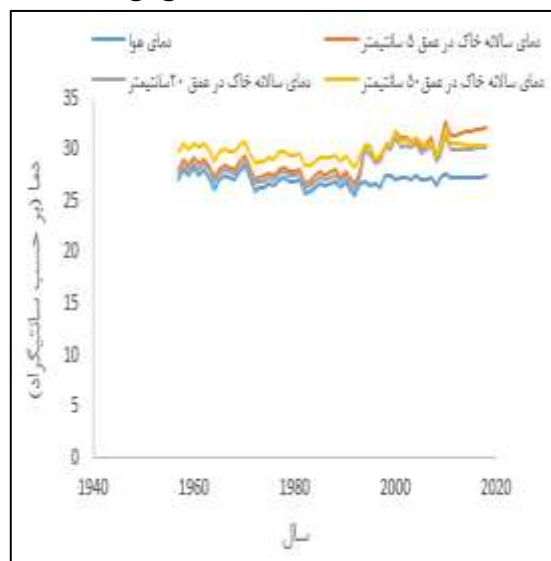
* و ** به ترتیب معنی‌دار بودن در سطح پنج درصد و یک درصد و A روند افزایشی، B روند کاهشی و C بدون روند معنی‌دار

جدول ۵: روند تغییرات ماهانه دمای هوا و خاک با آزمون من-کندال، اسپیرمن و پیرسون در ایستگاه همدیدی زاهدان (۲۰۱۸-۱۹۵۷)

پارامتر	آزمون آماری	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دمای هوا	من کندال	C	C	C	A*	A*	A**	A*	A*	C	A*	C	C
	اسپیرمن	C	C	C	A*	A*	A**	A**	A*	C	A*	C	C
	پیرسون	C	C	C	A*	A**	A**	A**	A*	C	A*	C	C
تغییر دمای خاک در عمق ۵ cm	من کندال	C	C	C	C	A*	A*	A*	A**	A**	A*	A*	C
	اسپیرمن	C	C	C	C	A*	A*	A*	A**	A**	A*	A*	C
	پیرسون	C	C	C	C	C	A*	A*	A**	A**	C	A*	C
تغییر دمای خاک در عمق ۲۰ cm	من کندال	C	C	C	C	C	C	A*	A**	A**	A**	A**	C
	اسپیرمن	C	C	C	C	C	C	A*	A**	A**	A**	A**	C
	پیرسون	C	C	C	C	C	C	A*	A**	A**	A**	A**	C
تغییر دمای خاک در عمق ۵۰ cm	من کندال	C	B**	B**	B**	C	C	A**	A**	A**	A**	A**	A*
	اسپیرمن	C	B**	B**	B**	C	C	A**	A**	A**	A**	A**	A*
	پیرسون	C	B**	B**	B**	C	C	A**	A**	A**	A**	A**	A*

* و ** به ترتیب معنی دار بودن در سطح پنج درصد و یک درصد و A روند افزایشی، B روند کاهشی و C بدون روند معنی دار

ژوئیه، نوامبر و دسامبر بدون روند و در ماه‌های ژانویه، اکتبر و اوت دارای روند کاهشی معنی دار در سطح پنج درصد و در ماه سپتامبر دارای روند کاهشی معنی دار در سطح یک درصد با استفاده از هر سه آزمون می‌باشد. تغییرات دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در تمام ماه‌های سال با استفاده از سه آزمون بدون روند بود و در عمق ۲۰ سانتی‌متری در تمام ماه‌های سال بجز ماه مارس روند خاصی مشاهده نشد و در ماه مارس روند کاهشی و معنی دار در سطح یک درصد مشاهده شد. دمای خاک در عمق ۵۰ سانتی‌متری در ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل، می، ژوئن، ژوئیه و اوت بدون روند و در ماه مارس روند منفی و معنی دار در سطح پنج درصد و در ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر دارای روند مثبت و معنی دار در سطح یک درصد بود.



شکل ۳: روند تغییرات دمای سالانه هوا و خاک در ایستگاه بندرعباس

سری زمانی ماهانه

نتایج ارایه شده در جدول (۷) نشان می‌دهد که تغییرات دمای هوا در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئن،

جدول ۷: روند تغییرات ماهانه دما هوا و خاک با آزمون من-کندال، اسپیرمن و پیرسون در ایستگاه همدیدی بندرعباس (۱۹۵۷-۲۰۱۸)

پارامتر	آزمون آماری	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دمای هوا	من کندال اسپیرمن پیرسون	B* B* B*	C C C	C C C	C C C	C C C	C C C	C C C	B* B* B*	B** B** B**	B* B* B*	C C C	C C C
تغییر دمای خاک در عمق ۵ cm	من کندال اسپیرمن پیرسون	C C C	C C C	C C C	C C C	C C C	C C C	C C C	C C C	C C C	C C C	C C C	C C C
تغییر دمای خاک در عمق ۲۰ cm	من کندال اسپیرمن پیرسون	C C C	C C C	B** B** B**	C C C	C C C	B* C C	C C C	C C C	C C C	C C C	C C C	C C C
تغییر دمای خاک در عمق ۵۰ cm	من کندال اسپیرمن پیرسون	C C C	C C C	B* B* B*	C C C	C C B*	C C C	C C C	C C C	A** A** A**	A** A** A**	A** A** A**	A** A** A**

* و ** به ترتیب معنی دار بودن در سطح پنج درصد و یک درصد و A روند افزایشی، B روند کاهشی و C بدون روند معنی دار

ارزیابی عملکرد روش‌های آماری مورد استفاده

برای بررسی دقت روش‌های آماری پارامتری و ناپارامتری مورد استفاده از آزمون درصد توان استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که درصد توان آزمون من-کندال در سه ایستگاه کرمان، زاهدان و بندرعباس به ترتیب ۵۳ درصد، ۷۰ درصد و ۳۶ درصد و درصد توان آزمون اسپیرمن برای سه ایستگاه کرمان، زاهدان و بندرعباس به ترتیب ۴۵ درصد، ۶۵ درصد و ۳۵ درصد و درصد توان آزمون ضریب همبستگی پیرسون برای سه ایستگاه مذکور به ترتیب ۳۹ درصد، ۶۰ درصد و ۳۶ درصد است. در مجموع روش من-کندال به عنوان روش مناسب جهت تعیین روند تغییر دما در مناطق مورد بررسی شناخته شد.

نتیجه گیری

دمای هوا و خاک به عنوان یک پارامتر مهم اقلیمی، تاثیر قابل توجهی در ایجاد و حفظ پوشش گیاهی به خصوص در

مناطق با اقلیم خشک که در برابر فرسایش حساس هستند دارد. از این رو ضروری است که به بررسی روند تغییرات و همچنین تاثیر دمای هوا بر دمای خاک در بازه‌های زمانی مختلف پرداخته شود. نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات دمای خاک در عمق‌های مختلف در ایستگاه‌های مذکور نشان داد که تغییر دما در عمق‌ها و در مکان‌های مختلف دارای روند یکسانی نیست و آزمون‌های مورد استفاده در بیش از ۸۰ درصد موارد نتایج مشابه و در برخی از موارد نیز نتایج غیر مشابه ارائه کردند. در مقیاس سالانه روند افزایش دمای هوا در ایستگاه کرمان و زاهدان با استفاده از آزمون من-کندال مشاهده شد، در حالی که روند خاصی در تغییر دمای هوا در ایستگاه بندرعباس مشاهده نشد. دمای سالانه خاک نیز در ایستگاه کرمان و زاهدان در همه اعماق مورد بررسی دارای روند افزایشی با آزمون من-کندال بود. در حالی که این روند در ایستگاه بندرعباس تا عمق ۲۰ سانتیمتر مشاهده شد و روند خاصی در عمق ۵۰ سانتیمتری مشاهده

همچنین بر اساس نتایج درصد توان آزمون، روش من-کندال به عنوان مناسب‌ترین روش برای روند یابی تغییرات دما و خاک در هر سه ایستگاه انتخاب شد.

منابع

۱. احمدی، ف.، و ف. رادمنش، ۱۳۹۳، بررسی روند تغییرات متوسط دمای ماهانه و سالانه نیمه شمالی کشور در نیم قرن اخیر، آب و خاک، ۲۸، شماره ۴، صفحات ۸۵۵-۸۶۵.
۲. باقر پور، م.، س.م. سیدیان، ا. فتح ابادی، و ا. محمدی، ۱۳۹۶، بررسی کارایی آزمون من کندال در شناسایی روند سری‌های دارای خود همبستگی، نشریه علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، شماره ۳۶، صفحات ۲۳-۱۱.
۳. پارسافر، ن.، و ص. معروفی، ۱۳۸۹، برآورد دمای عمق‌های مختلف خاک از دمای هوا با بکارگیری روابط رگرسیونی، شبکه عصبی و شبکه عصبی-فازی تطبیقی (مطالعه موردی: منطقه کرمانشاه)، دانش آب و خاک، ۲۱، شماره ۳، صفحات ۱۵۲-۱۳۹.
۴. شیوخی سغانلو، س.، س. گلشن، و م. خوش روش، ۱۳۹۷، بررسی روند تغییرات دمای ژرفاهای مختلف خاک در ایستگاه شاهرود با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری (ایستگاه شاهرود)، علوم آب و خاک، ۲۲، شماره ۴، صفحات ۳۹-۲۹.
۵. عابدینی، ع.، م. آزادی، و د. پرهیزکار، ۱۳۸۲، کنترل کیفی داده‌های همدیدی سطح زمین و جو بالا، تحقیقات جغرافیایی، ۱۸، شماره ۲، صفحات ۸۵-۷۴.
۶. گلشن، س.، م. رائینی سرجاز، و ر. نوروز ولاشیدی، ۱۳۹۳، بررسی و آشکارسازی اثر گرمایش جهانی بر تغییرات روند دمای خاک و برآورد آن با روش همبستگی رگرسیونی، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲، شماره ۴، صفحات ۱۳۸-۱۲۱.
۷. محمدی، م.، و م. فروزان فرد، ۱۳۹۵، بررسی روند درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در چند نمونه اقلیمی ایران، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، شماره ۲۵، صفحات ۱۲۷-۱۴۰.

نگردید. در مقیاس ماهانه نیز در ایستگاه‌های کرمان و زاهدان، روند افزایش دمای خاک در ماه‌های گرم سال و روند کاهش آن در ماه‌های سرد سال مشاهده شد. در حالی-که در ایستگاه بندرعباس روند افزایش دما در عمق ۵۰ سانتی‌متری و در ماه‌های سرد سال مشاهده شد. همچنین بررسی نتایج نهایی نشان داد که درجه حرارت هوا و لایه-های سطحی و عمقی خاک عمدتاً از روند مشابهی پیروی نمی‌کنند. به طوری که در فصل بهار در ایستگاه کرمان و بندرعباس همسویی بیشتری بین دمای هوا و لایه‌های سطحی خاک مشاهده شد. اما در ماه‌های گرم و در فصل تابستان نزدیکی بین روند تغییر دمای هوا و دمای اعماق خاک بیشتر بود. در ماه‌های سرد و فصل زمستان نیز همسویی بیشتری بین رفتار لایه‌های سطحی خاک و دمای هوا دیده شد و می‌توان اینگونه بیان کرد که روند نزولی درجه حرارت لایه‌های سطحی خاک تابع دمای هوا است و به دلیل ویژگی‌های خاک و تاثیر آن بر انتقال دما، تغییرات دما در اعماق بیشتر خاک با تاخیر زمانی بیشتر و با روند کندتر روی می‌دهد. در فصل پاییز نیز روند تغییرات دمای لایه سطحی خاک مشابه با تغییرات دمای هوا بود. در مجموع مطالب ذکر شده موید دو مطلب است. اول اینکه بررسی ارتباط بین دمای خاک و هوا به عواملی از جمله وجود مواد آلی، سطح سفره‌های آب زیرزمینی و جنس لایه‌های مختلف خاک بستگی دارد که نقش موثری در انتقال حرارت دارند. اما به نظر می‌رسد که شدت تغییرات دمای خاک در اعماق چه به صورت صعودی و چه به صورت نزولی معنی‌دارتر است. مطلب دوم آنکه بررسی تغییرات سالانه دمای هوا در ایستگاه‌های کرمان و زاهدان که دارای اقلیم خشک و فرا خشک هستند، نشان داد که روند تغییرات در بازه زمانی مورد نظر (۲۰۱۸-۱۹۵۷) افزایشی بوده که نشان‌دهنده تاثیر پذیری این دو منطقه از گرمایش جهانی است و اثرگذاری آن بر دمای خاک نیز تا عمق ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. اما روند خاصی در دمای هوا در ایستگاه بندرعباس مشاهده نشد که می‌تواند به دلیل اثر رطوبت موجود در هوا باشد.

- Temperature Time Series by Mann Kendall Test- A Case Study of Uupper Ganga Canal Command (1901-2002), *British Journal of Applied Science and Technology*, Vol 4, pp.4066-4082.
16. Qian, B. E.G. Gregorich, S. Gameda, D.W. Hopkins, and X.L. Wang, 2011, Observed Soil Temperature Trends Associated With Climate Change in Canada, *Journal of Geophysical Research*, Vol 116(D2), pp.1-16.
17. Svilicic, P. and V. Vucetic, 2015, Spatial and Seasonal Variability of Extreme Soil Temperature in Croatia, *Journal of Geophysical Research*, Vol 17, pp.26-36.
18. Yesilirmark, E., 2014, Soil Temperature Trends in Buyuk Menderes Basin, Turkey, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol 21, pp.859-866.
19. Zhang, H., E. Wang, D. Zhou, Z. Luo, and Z. Zhang, 2016, Rising Soil Temperature in China and Its Potential Ecological Impact. *Scientific Reports*, Vol 6, pp.1-8.
20. Zhang, Y., W. Chen, S.L. Smith, D.W. Riseborough, and J. Cihlar, 2005, Soil Temperature in Canada During the Twentieth Century: Complex Response to Atmospheric Climate Change, *Journal of Geophysical Research*, Vol 110, pp.1-15.
21. Zheng, D., E.R. Hunt, and S.W. Running, 1993, A Daily Soil Temperature Model Based On Air Temperature and Precipitation for Continental Applications, *Climate Research*, Vol 2, pp. 183-191.
22. Zuo, J. J. Xu, L. Weihong, and D. Yang, 2019, Understanding Shallow Soil Moisture Variation in The Data- scare Area and Its Relationship With Climate Change by GLDAS data. *Plos One*, Vol 14, pp.1-17.
۸. مزیدی، ا.، و ف. فلاح زاده، ۱۳۹۰، تحلیل روند دمای سالانه خاک در ایستگاه یزد، فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۲۴، صفحات ۳۹-۵۰.
۹. نجفی مود، م.ح.، ا. علیزاده، آ. محمدیان، و ج. موسوی، ۱۳۸۷، بررسی رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک و برآورد عمق یخبندان مطالعه موردی استان خراسان رضوی، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲، شماره ۲، صفحات ۴۶۶-۴۵۶.
10. Beltrami, H., 2001, On the Relationship Between Ground Temperature Histories and Meteorological Records: A Report on the Pomquent Station, *Global and Planetary Change*, Vol 29, pp.327-348.
11. Hopkins, S., J. Dettori, and J. Chapman, 2018, Parametric and Nonparametric Tests in Spine Research: Why Do They Matter? *Global Spine Journal*, Vol 8, pp.652-654.
12. Hu, Q., and S. Feng, 2003, A Daily Soil Temperature Dataset and Soil Temperature Climatology of The Contiguous United State, *Climate and Bio-atmospheric Sciences Group, School of Natural Resource Sciences*, pp.1139-1156.
13. Iqbal, M., J. Wen, X. Wang, Y. Lan, H. Tian, M. Anjum, and M. Adnan, 2018, Assessment of Air Temperature Trends in the Source Region of Yellow River and Its Sub-basins, China, *Asia- Pasific Journal of Atmospheric Sciences*, Vol 54, pp.111-123.
14. Kumar, K. N. Mishra, and S. Gupta, 2014, Trend Analysis of Temperature by Mann-Kendall Test in the High Altitude Regions of Uttarakhand, India, *Asian Academic Research Journal of Multidisciplinary*, Vol1, pp.387-399.
15. Mishra, N. D. Khare, R. Shukla, and K. Kumar, 2014, Trend Analysis of Air