بررسی روند تغییر دمای ژرفاهای خاک با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری (ایستگاه شاهرود)

سعید شیوخی سوغانلو، سحر گلشن و مجتبی خوش‌روش[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱)

چکیده

اثرات ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند با انتشار از سطح زمین به سوی ژرفای خاک، رژیم گرمایی خاک را تحت تأثیر قرار دهد. از طرفی، انرژی گرمایی نهفته در خاک، نقش بسیار مهمی را در تغییرات دمای خاک ایفا می‌کند. از این‌رو، در این پژوهش به‌منظور تشخیص روند تغییرات دمای ژرفاهای خاک، از داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه دمای هوا در ارتفاع دو متری (اسکرین) در طول سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۵۱ میلادی و دمای روزانه ژرفاهای خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری)، برای ساعت‌های ۳، ۹ و ۱۵ در طول دوره آماری سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۹۲ در ایستگاه هواشناسی شاهرود استفاده شد. برای تشخیص روند در سری‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه دمای ژرفاهای خاک، روش‌های پارامتری (تحلیل رگرسیونی و پیرسون) و ناپارامتری (من- کندال و اسپیرمن) به‌کار برده شد. بر اساس نتایج، آزمون تعیین روند نشانگر افزایش دمای خاک در تمامی ماه‌ها به‌جز ژانویه، فوریه و مارس بود. دمای خاک در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز افزایش یافته است ($P \leq ۰/۰۵$). در ادامه نیز تعیین روند سالانه دمای خاک نشان داد که به غیر از روش پارامتری ضریب همبستگی پیرسون، دمای خاک در تمامی ژرفاها دارای روند افزایشی بود ($P \leq ۰/۰۵$). بر پایه این یافته‌ها، می‌توان این‌گونه اظهار داشت که در طول دوره بررسی، دمای ژرفاهای خاک طی سال‌های اخیر افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: انرژی گرمایی، دمای روزانه، میانگین دمای سالانه، سری‌های زمانی

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: khoshravesh_m24@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

تغییرات فصلی در رشد و نمو گیاهان، توسط شرایط آب و هوایی کنترل می‌شود. از این‌رو شرایط اقلیمی پیرامونی بسته به مقیاس مکانی (اقلیم) و زمانی (آب و هوا)، اثرات بارز و متفاوتی بر کشاورزی می‌گذارد. به‌طوری‌که تمامی بوم سامانه‌های کشاورزی و تنوع آنها وابستگی زیادی به اقلیم منطقه دارد (۶). با توجه به اینکه تمامی فرآیندهای خاک به‌ویژه فعالیت‌های فیزیکی آن به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر دما قرار می‌گیرند، از این‌رو دمای خاک را می‌توان یکی از عوامل بسیار مهم در تبادل ماده و انرژی در خاک به‌شمار آورد. دمای خاک در ژرفاهای مختلف ناشی از فرایند انتقال گرما است. این انتقال گرما، خود به ویژگی‌های فیزیکی خاک نظیر نوع، جنس و رطوبت خاک بستگی دارد (۱۰).

گرم شدن سطح خاک به‌دلیل دریافت تابش خورشیدی، در رسانایی و ترابری پایین‌سو (خاک) و بالا سوی (هوا) گرما نقش به‌سزایی را ایفا می‌کند، به‌طوری‌که گرادیان دمایی دو سویه‌ای را در لایه زیست‌سپهر ایجاد می‌کند (۵). بنابراین میزان تغییرات دمای ژرفاهای مختلف خاک در یک مکان با مکان دیگر متفاوت بوده و ثابت نخواهد بود. نوسان‌های دمای خاک نشان می‌دهد که خاک دارای یک نوسان روزانه و یک نوسان سالانه است. همچنین روند تغییرات فصلی دمای خاک، با افت دما از سطح خاک به سوی ژرفای خاک در فصل‌های گرم همراه است. درحالی‌که از سطح خاک به سوی ژرفای خاک در در ازای فصل‌های سرد، افزایش دما دیده می‌شود (۳).

تغییرات دمای خاک در ژرفای بسیار زیاد و ژرفای سطحی، متفاوت است. به‌طوری‌که در ژرفاهای بسیار زیاد (۲۰۰-۱۰ متر) بیانگر بروز تغییر اقلیم است. این در حالی است که تغییرات دما در ژرفاهای سطحی خاک می‌تواند تغییرات کوتاه مقیاسی را به‌دنبال داشته باشد (۵). عوامل هواشناسی و محیطی با اثرگذاری بر رسانندگی گرمایی، نقش مهمی را در مهار آن ایفا می‌کنند (۵). بنابراین به‌دلیل تأثیر همین عوامل هواشناسی و ویژگی‌های فیزیکی خاک است که رسانایی گرمایی خاک و هوا متغیر است (۱۴ و ۱۸).

با فراهم آوردن دمای مطلوب برای جوانه‌زنی گیاهان، می‌توان هم ژرفا و هم زمان مناسبی را برای بذرکاری تعیین کرد. لذا گیاهان برای جوانه‌زنی بهتر و تسریع در آن، نیازمند دمای مطلوبی هستند. وجود دماهای بسیار زیاد و بسیار کم هر یک به نحوی می‌توانند جوانه‌زنی گیاهان را با تأخیر روبه‌رو سازند (۳). تسریع و کندی در جوانه‌زنی و درنهایت افزایش و کاهش عملکرد محصولات گیاهی ارتباط مستقیمی با نوسانات دمای ژرفاهای مختلف خاک دارند (۴).

پژوهش‌هایی در زمینه رژیم دمایی سطح خاک و گاه ژرفای خاک انجام شده که با استفاده از روش‌هایی نظیر سامانه اطلاعات جغرافیایی، معادلات موازنه انرژی، سری فوریه، شبکه عصبی و رگرسیون چند متغیره خطی به بررسی پرداخته‌اند.

گومان و لال (۱۳)، با مقایسه یافته‌های حاصل از نیمرخ‌های اندازه‌گیری شده دمای خاک با روش سری فوریه، دمای روزانه خاک در یک منطقه استوایی را پیش‌بینی کردند. بر پایه این یافته‌ها، همیستگی مطلوبی بین مقادیر پیش‌بینی شده در ژرفای ۱۳ سانتی‌متری خاک و مقادیر دمای اندازه‌گیری شده مشاهده شده است. همچنین، ویژگی‌های دمایی هوا و خاک را در یک دوره یک‌ساله در سطح، ژرفا و بالای سطح خاک بررسی کردند. نتایج نشان داد که در هر یک از سطوح پایینی و بالایی و ژرفای خاک، تغییرات دمایی متناسب با آنها تفاوت داشتند.

پوکلادنیکووا و همکاران (۱۷) با بررسی دمای اعماق خاک در ایستگاه هواشناسی پوهرلیک نشان دادند که میانگین درازمدت اعماق مختلف خاک از ۱۰°C (۲۰ سانتی‌متر) تا ۱۰/۴°C (۱۰۰ سانتی‌متر) متغیر بود. به‌طوری‌که گرم‌ترین ماه در اعماق ۵، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری مربوط به جولای و سردترین ماه مربوط به ژانویه بود. همچنین گرم‌ترین و سردترین ماه در اعماق ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری، به‌ترتیب در ماه‌های آگوست و فوریه مشاهده شد.

نتایج حاصل از پژوهش انصاری و همکاران (۲) در بررسی روند تغییرات دما با استفاده از آزمون ناپارامتری من‌کندال در

www.SID.ir

Archive of SID

حوضه آبخیز رودخانه کاجو، بیانگر وجود روند صعودی دما در طی دوره آماری بود. بر پایه نتایج به‌دست آمده از بررسی روند درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در چند نمونه اقلیمی ایران، محمدی و فروزان‌فرد (۸) اظهار داشتند که با افزایش عمق، دمای خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری همراه با شیب بیشتر و از این عمق به بعد با شیب ملایمی کاهش یافت. همچنین روند تغییرات دمای عمق‌های خاک در فصل تابستان و زمستان نشان داد که لایه‌های سطحی و عمقی خاک رفتار متناقضی را نشان می‌دهند. به‌طوری‌که دما در عمق‌های سطحی (۵ تا ۳۰ سانتی‌متری) دارای روند نزولی و در عمق‌های پایین‌تر (۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) روندی صعودی داشت. بنابراین در این پژوهش به بررسی تغییرات روند دمای خاک با استفاده از چندین روش مختلف پرداخته شد، تا بتوان این تغییرات که بسیار دارای اهمیت است را تعیین کرد که تا کنون توجه چندانی به آن نشده است.

مواد و روش‌ها

شهرستان شاهرود در حاشیه شمالی دشت کویر و در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی با ارتفاعی معادل ۱۳۸۰ متر از سطح دریا در شمال خاوری استان سمنان واقع شده است. متوسط دمای سالانه در این شهر ۱۴ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالانه ۱۸۰ میلی‌متر است. شاهرود به‌علت واقع شدن در حاشیه کویر از لحاظ آب‌های سطحی به‌صورت رودخانه‌های دائمی، سهمی نداشته و فقط رودخانه‌های سیلابی و فصلی در این شهر جاری است. در این پژوهش به‌منظور بررسی و آشکارسازی روند تغییر اقلیم دمای ژرفاهای خاک در سری‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه دمای هوا در ارتفاع دو متری (اسکرین) در طول سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۵۱ میلادی و دمای روزانه ژرفاهای خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری)، برای ساعت‌های ۳ صبح، ۹ صبح و ۱۵ عصر در طول دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۹۲ میلادی در ایستگاه هواشناسی شهرستان شاهرود تهیه شد. برای نشان دادن تغییرات دما در ژرفاهای خاک در دوره مورد نظر، در مرحله اول از دمای اندازه‌گیری شده در طی ساعت‌های ۳ صبح، ۹ صبح و ۱۵ عصر میانگین گرفته شد و سپس میانگین ماهانه، فصلی و سالانه برای هر عمق محاسبه شد. در پایان، آزمون‌های ناپارامتری من- کندال و ضریب همبستگی اسپیرمن (Spearman) و پارامتری (تحلیل رگرسیونی و پیرسون (Pearson)) برای تشخیص روند، اجرا شد.

آزمون‌های ناپارامتری

آزمون من‌کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) گسترش یافت (۱۵). این آزمون ناپارامتری به‌وسیله سازمان جهانی هواشناسی (WMO) در سال ۱۹۸۸ پیشنهاد شد که یکی از روش‌های مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی به‌شمار می‌آید. فرض صفر این آزمون مبتنی بر ناگهانی بودن و نبود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دلیل بر وجود روند در سری داده‌ها است. از برتری‌های این روش، اثرپذیری کم از مقادیر حدی است:

$$\begin{cases} x = \dfrac{s-1}{\mathrm{var}(s)} \\ x = \dfrac{s+1}{\sqrt{\mathrm{var}(s)}} \end{cases} \begin{cases} \text{if } s > 0 \\ \text{if } s = 0 \\ \text{if } s < 0 \end{cases} \qquad (1)$$

در رابطه (۲) S نشانه تفاوت مقادیر با یکدیگر و در رابطه (۳)، Var(s) پراش S است.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \mathrm{sgn}\left(x_j - x_k\right) \qquad (2)$$

$$\mathrm{var}(s) = \frac{n-(n-1)(2n-5)}{18} \qquad (3)$$

$$\beta = \sum_{i=1}^{m} t(t-1)(2t-5) \qquad (4)$$

در رابطه (۴)، t تعداد داده‌های مشاهده شده و m تعداد سری‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد.

در یک آزمون دو دامنه‌ای برای روندیابی سری داده‌ها،

www.SID.ir

Archive of SID

فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه (۵) برقرار باشد:

$$|Z| = Z_{\alpha/2} \quad (۵)$$

α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود Z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، α/۲ استفاده شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن Z، روند نزولی درنظر گرفته می‌شود.

ضریب همبستگی اسپیرمن در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسط چارلز اسپیرمن بیان شد که آن را با p نمایش می‌دهند. این ضریب همواره بین ۱+ و ۱- در نوسان است و از لحاظ سطح سنجش نیز ترتیبی و از نوع متقارن است.

$$P = ۱ - \frac{۶(\sum d_i^۲)}{n(n^۲ - ۱)} \quad (۶)$$

آزمون‌های پارامتری

آزمون تحلیل رگرسیون، یک آزمون پارامتری است که فرض نرمال بودن داده‌ها باید برای آن وجود داشته باشد. در تحلیل رگرسیون، داده‌های هواشناسی به‌وسیله استفاده از روش میانگین متحرک، خطی می‌شوند. یک رابطه رگرسیون خطی ساده برای به‌دست آوردن روند درازمدت داده‌ها به‌صورت زیر انتخاب می‌شود:

$$Y = a + bX \quad (۷)$$

ضریب همبستگی پیرسون از ضرایب مهم برای تعیین همبستگی بین دو متغیر با مقیاس‌های فاصله‌ای و نسبی است که دارای توزیع نرمال نیز باشند. این ضریب با علامت r نمایش داده می‌شود و بین ۱+ و ۱- تغییر می‌کند و از طریق فرمول (۸) محاسبه می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{i=۱}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=۱}^{n}(x_i - \bar{x})^۲ \sum_{i=۱}^{n}(y_i - \bar{y})^۲}} \quad (۸)$$

نتایج و بحث

انتقال دما به سطح خاک وابستگی بسیار زیادی به سرعت نفوذ گرمایی سنگ‌ها در خاک دارد. با این حال، عواملی چون قابلیت هدایت حرارتی، ظرفیت گرمایی، قابلیت انتشار و پذیرش حرارتی از جمله عوامل تأثیر گذار هستند که در انتقال گرما و اقلیم حرارتی خاک نقش اساسی را ایفا می‌کنند (۸). انرژی گرمایی دریافتی توسط سطح خاک، مدت زمان زیادی را سپری می‌کند تا به ژرفاهای پایین‌تر خاک برسد. از طرفی، تغییرات دما در خاک متفاوت است. به‌طوری‌که در مقایسه دو عمق ۱۲ و ۲۴ سانتی‌متری از عمق خاک، تغییرات دمایی در عمق خاک به ترتیب به نصف و یک چهارم می‌رسد (۱۶).

آزمون‌های تعیین روند ناپارامتری و پارامتری بر سری داده‌های زمانی ماهانه انجام و یافته‌های به‌دست آمده در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. بر پایه این یافته‌ها، می‌توان اینگونه اظهار داشت که با انجام آزمون روند با روش‌های ناپارامتری من- کندال و ضریب همبستگی اسپیرمن، تقریباً در تمامی ژرفاها روند تغییر دمای خاک در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس یکسان بود و تفاوت معنی‌داری دیده نشد. این در حالی است که نتایج به‌دست آمده از تعیین روند در سایر ماه‌های مورد بررسی معنی‌دار و متفاوت بود. به‌طوری‌که در بیشتر موارد نتایج نشان از وجود روند افزایشی و در برخی روند کاهشی بود. به‌طوری‌که در ژرفای ۱۰۰ سانتی‌متری، در ماه‌های آوریل و مه در روش آزمون ناپارامتری من- کندال دمای خاک روندی کاهشی داشت. اما در روش اسپیرمن، این روند افزایشی بود (جدول ۱).

همچنین در بررسی وجود روند در سری زمانی ماهانه با روش‌های پارامتری تحلیل رگرسیونی و ضریب همبستگی پیرسون، یافته‌های به‌دست آمده نیز متفاوت بود. با توجه به این نتایج، در روش تحلیل رگرسیونی در ماه ژانویه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در واقع هیچ روند تغییر دمایی در میان تمامی ژرفاهای خاک دیده نشد. این در حالی بود که ضریب همبستگی پیرسون، در ژرفاهای ۵ و ۱۰ سانتی‌متری خاک تفاوت معنی‌داری داشت که نشان از وجود روند افزایشی دمای خاک در این ژرفاها بود. همچنین، در طول ماه‌های ژوئن

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. بررسی روند تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من- کندال و اسپیرمن در سری زمانی ماهانه دمای ژرفاهای خاک

آزمون	ژرفای خاک (سانتی‌متر)	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئیه	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
من- کندال	۵	-۰/۱۱ns	۰/۲۲ns	۰/۷۵ns	۱/۶۵ns	۲/۳۴**	۴/۰۴**	۴/۵۱ns	۴/۷۵ns	۴/۱۷ns	۳/۲۴**	۱/۴۱ns	۰/۰۵ns
	۱۰	-۰/۱۵ns	-۰/۲۸ns	۰/۶۴ns	۲/۱۳*	۳/۳**	۵/۱۵ns	۵/۲۴ns	۴/۵۳ns	۴/۲۷**	۳/۲۲**	۱/۰۷ns	-۰/۲۲ns
	۲۰	-۰/۷۸ns	-۱/۴ns	-۰/۲۸ns	۰/۲ns	۱/۷۴ns	۳/۵۳**	۳/۹۶**	۳/۹۱**	۴/۴۴ns	۴/۰۴**	۲/۳۶*	۰/۰۵ns
	۳۰	-۱/۰۳ns	-۱/۸۷ns	-۰/۹۰ns	۰/۲۲ns	۲/۳۴*	۴/۷۲ns	۵/۵۶ns	۴/۸۶ns	۴/۹۳ns	۴/۷۶ns	۳/۴۹**	۰/۸۵ns
	۵۰	۱/۸۸ns	۰/۰۵ns	۰/۵۵ns	۱/۱۳ns	۲/۹۶ns	۵/۶۳ns	۶/۵۴ns	۵/۶۶ns	۵/۵ns	۵/۷۷ns	۵/۹۵ns	۴/۶۲ns
	۱۰۰	-۱/۴۸ns	-۴/۴۸ns	-۵/۰۹ns	-۴/۳۱**	-۳/۶**	۰/۵۳ns	۴/۲۴**	۵/۵۳ns	۵/۳ns	۵/۶۶ns	۶/۱۸ns	۳/۵۲**
اسپیرمن	۵	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۸ns	۰/۰۴۱ns	۰/۰۹۲*	۰/۲۳۱**	۰/۳۰۱**	۰/۳۶۱**	۰/۲۶۱**	۰/۱۵۹**	۰/۰۳۹ns	۰/۰۰۱ns
	۱۰	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۰۸ns	۰/۰۷۴ns	۰/۱۷**	۰/۳۶۹**	۰/۳۸۹**	۰/۳۱۶**	۰/۲۶۳**	۰/۱۵۲**	۰/۰۲۱ns	۰/۰۰۱ns
	۲۰	۰/۰۱۲ns	۰/۰۳۷ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۵۵ns	۰/۱۹۴**	۰/۲۳۷**	۰/۲۴**	۰/۳**	۰/۲۴۳**	۰/۰۹۳*	۰/۰۰۱ns
	۳۰	۰/۰۲۲ns	۰/۰۶ns	۰/۰۱ns	۰/۰۰۲ns	۰/۰۹۳*	۰/۳۳**	۰/۴۴**	۰/۳۷**	۰/۳۶**	۰/۳۳۶**	۰/۱۸**	۰/۰۱۳ns
	۵۰	۰/۰۵۳ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۴ns	۰/۰۲۲ns	۰/۱۴**	۰/۴۶۳**	۰/۵۹۳**	۰/۵۱**	۰/۴۷**	۰/۴۹۸**	۰/۵**	۰/۳۳**
	۱۰۰	۰/۰۴۱ns	۰/۰۴۱ns	۰/۴۳**	۰/۳۳**	۰/۲۳**	۰/۰۰۵ns	۰/۲۳۷**	۰/۴۸**	۰/۴۶۲**	۰/۴۹۳**	۰/۵۵**	۰/۱۸**

*و **و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح پنج درصد و یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. بررسی روند تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های پارامتری پیرسون و تحلیل رگرسیونی در سری زمانی ماهانه دمای ژرفاهای خاک

آزمون	ژرفای خاک (سانتی‌متر)	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئیه	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
پیرسون	۵	۰/۷۵*	۰/۷۵*	۰/۵۹ns	۰/۱۸ns	۰/۰۵ns	۰/۰۱ns	۰/۰۱ns	۰/۰۱ns	۰/۰۰۶ns	۰/۰۰۵ns	۰/۰۲ns	۰/۵۵ns
	۱۰	۰/۷۰*	۰/۵۲ns	۰/۸۸*	۰/۵۳ns	۰/۳۴ns	۰/۱ns	۰/۱۲ns	۰/۰۶ns	۰/۰۸ns	۰/۲ns	۰/۵۷ns	۰/۷۳ns
	۲۰	۰/۳۳ns	۰/۱۱ns	۰/۵۹ns	۰/۸۷*	۰/۱۹ns	۰/۰۰۱ns	۰/۱۱ns	۰/۲۴ns	۰/۱۱ns	۰/۱ns	۰/۰۱۵ns	۰/۷۸*
	۳۰	۰/۲۶ns	۰/۰۳ns	۰/۱۷ns	۰/۵ns	۰/۸۱*	۰/۱۸ns	۰/۰۸ns	۰/۲۹ns	۰/۴۵ns	۰/۰۰۹ns	۰/۰۲ns	۰/۵۹ns
	۵۰	۰/۰۹ns	۰/۸۵*	۰/۸۶*	۰/۳۰ns	۰/۰۷ns	۰/۰۰۱ns	۰/۲۱ns	۰/۱۸ns	۰/۳۳ns	۰/۱ns	۰/۰۳۹ns	۰/۰۰۱ns
	۱۰۰	−۱/۴۸ns	−۴/۴۸ns	−۵/۰۹ns	−۴/۳۱**	−۳/۶**	۰/۵۳ns	۰/۳۱ns	۰/۱ns	۰/۴۱ns	۰/۵۱ns	۰/۲۱ns	۰/۰۰۱ns
رگرسیون	۵	−۰/۳۱ns	۰/۳۲ns	۰/۵۴ns	۱/۳۳ns	۱/۹۵ns	۴/۴۸**	۵/۰۶**	۵/۱۹**	۳/۶۲**	۳/۷۰**	۲/۳۶*	۰/۵۹ns
	۱۰	۰/۳۷ns	۰/۶۳ns	۰/۱۴ns	۰/۶۲ns	۰/۹۶**	۱/۶۲**	۱/۵۵**	۱/۸۸**	۱/۷۴**	۱/۲۷**	۰/۵۷ns	۰/۳۴ns
	۲۰	۰/۹۷ns	۱/۵۸ns	۰/۵۳ns	۰/۱۶ns	۱/۳۱ns	۴/۱۶**	۴/۵۳**	۴/۳۴**	۴/۲۲**	۴/۳۴**	۲/۴۸*	۰/۲۷ns
	۳۰	−۱/۱۳ns	−۲/۱۵*	−۱/۳۶ns	−۰/۶۸ns	۰/۲۴ns	۱/۳۵ns	۱/۷۴ns	۲/۳۵*	۲/۵۷*	۲/۶۷**	۲/۲۹*	۰/۵۴ns
	۵۰	۱/۷۰ns	−۰/۱۹ns	۰/۱۷ns	۱/۰۴ns	۲/۷۵**	۷/۶**	۹/۵۲**	۷/۸۴**	۸/۲۹**	۸/۶۵**	۷/۶**	۰/۵۰۵**
	۱۰۰	−۱/۷۵ns	−۵/۵۳**	−۶/۷۴**	−۶/۲۲**	−۴/۱**	−۰/۱۲ns	۴/۷۱**	۶/۸۶**	۷/۹۴**	۹/۱**	۸/۵۷**	۳/۴۵**

* و ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح پنج درصد و یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. بررسی روند تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من- کندال و اسپیرمن در سری زمانی فصلی دمای ژرفاهای خاک

آزمون	ژرفای خاک (سانتی‌متر)	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
من- کندال	۵	۰/۹۷۳^{ns}	۲/۲۵۶**	۵/۱۶۷^{ns}	۱/۹۴^{ns}
	۱۰	۰/۶۶^{ns}	۲/۵۰۷**	۴/۹۹۴^{ns}	۲/۱۵۵**
	۲۰	۰/۴۸۶^{ns}	۲/۱۵۵**	۴/۶۸۱^{ns}	۲/۴۹۱**
	۳۰	-۱/۲۷۴^{ns}	۳/۱۲۸**	۵/۲۲۵^{ns}	۳/۷۶۵**
	۵۰	۱/۴۳۶^{ns}	۴/۲۲۹**	۵/۸۶۳^{ns}	۵/۵۵۶^{ns}
	۱۰۰	۲/۵۳۷**	-۳/۴۵۳**	۵/۶۴۲^{ns}	۵/۸۹۷^{ns}
اسپیرمن	۵	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۱۶۳**	۰/۳۹۸**	۰/۰۶۴*
	۱۰	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۳۰۲**	۰/۳۷۴**	۰/۰۷۷*
	۲۰	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۸۳*	۰/۳۳۴**	۰/۱*
	۳۰	۰/۰۳۱^{ns}	۰/۱۵۶**	۰/۴۲۲**	۰/۲۱**
	۵۰	۰/۰۲۸^{ns}	۰/۲۸۱**	۰/۵۳۴**	۰/۴۸۸**
	۱۰۰	۰/۱۰۴**	۰/۲۱۹**	۰/۴۹۸**	۰/۵۳۲**

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح پنج درصد و یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

تا نوامبر در روش تحلیل رگرسیونی، در بیشتر ماه‌ها روند افزایشی دما بسیار محسوس بود اما در همین ماه‌ها با استفاده از روش ضریب همبستگی پیرسون، هیچ روندی دیده نشد و تغییرات دمای خاک نسبتاً ثابت و یکسان بود (جدول ۲).

یافته‌های به‌دست آمده از تعیین روند تغییرات فصلی دمای ژرفاهای خاک با استفاده از روش‌های ناپارامتری، نشان داد که در هر دو روش من-کندال و ضریب همبستگی اسپیرمن، در فصل زمستان روند تغییرات دمای خاک معنی‌دار نبود و تنها در ژرفای ۱۰۰ سانتی‌متری روند افزایش دمای خاک دیده شد. این نتایج با یافته‌های محمدی و فروزان‌فرد (۸) مبنی بر روند افزایشی دمای خاک در فصل زمستان با توجه به افزایش عمق خاک، همخوانی داشت. همچنین، بر پایه این یافته‌ها، در روش من- کندال در تمامی ژرفاها دمای خاک در فصل بهار دارای روند افزایشی بود اما در فصل تابستان، روند تغییرات دمای ژرفاهای مختلف خاک تفاوت معنی‌داری نداشت. این در حالی است که در روش اسپیرمن، در تمامی ژرفاها روند تغییر دمای خاک دارای روندی افزایشی بود (جدول ۳). قهرمان و همکاران (۱۲) با بررسی روند تغییرات دمای سطح خاک در چند ایستگاه مختلف ایران، نیز وجود روند در دمای خاک تأیید کردند که با نتایج پژوهش حاضر کاملاً همخوانی داشت.

روند تغییرات فصلی دمای ژرفاهای خاک با استفاده از روش‌های پارامتری نشان داد که با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، در فصل زمستان، روند تغییرات دمای خاک در ژرفای ۵ و ۱۰ سانتی‌متری خاک دارای روند افزایشی بود. درحالی‌که در روش تحلیل رگرسیونی روندی در این ژرفاها دیده نشد. همچنین، در روش پیرسون، در تمامی ژرفاها، دمای خاک در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز، آزمون تعیین روند تفاوت معنی‌داری نداشت. اما در روش تحلیل رگرسیونی در فصل‌های تابستان، پاییز و بهار (به‌جز ژرفاهای ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متری)، روند تغییرات دمای خاک افزایشی بود (جدول ۴).

بررسی آزمون تعیین روند با استفاده از روش‌های ناپارامتری در سری زمانی سالانه دمای ژرفاهای خاک نشان داد که در

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. بررسی روند تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های پارامتری پیرسون و تحلیل رگرسیونی در سری زمانی فصلی دمای ژرفاهای خاک

آزمون	ژرفای خاک (سانتی‌متر)	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
پیرسون	۵	۰/۷۶*	۰/۰۰۵ns	۰/۰۱ns	۰/۰۰۱ns
	۱۰	۰/۶۹*	۰/۲۳ns	۰/۰۷ns	۰/۴۲ns
	۲۰	۰/۱۵ns	۰/۰۲ns	۰/۰۹ns	۰/۰۱ns
	۳۰	۰/۰۴ns	۰/۶۵ns	۰/۰۲ns	۰/۰۴ns
	۵۰	۰/۴۵ns	۰/۰۱ns	۰/۰۳ns	۰/۰۰۱ns
	۱۰۰	۰/۰۱ns	۰/۱۴ns	۰/۰۴ns	۰/۰۱ns
رگرسیون	۵	۰/۳۰ns	۲/۹**	۵/۲۵**	۲/۸۴**
	۱۰	−۰/۳۹ns	۱/۲ns	۲/۷۸*	۲/۰۳*
	۲۰	−۱/۴۴ns	۲/۲۶*	۴/۸۱**	۲/۶۶*
	۳۰	−۲/۰۴*	۰/۴۵ns	۲/۲۸*	۲/۰۱*
	۵۰	۰/۷۵ns	۴/۶۱**	۹/۱۱**	۸/۰۸**
	۱۰۰	۲/۶۱*	−۴/۳۸**	۷/۵۵**	۸/۷۲**

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح پنج درصد و یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۵. بررسی روند تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من- کندال و اسپیرمن در سری زمانی سالانه دمای ژرفاهای خاک

آزمون	ژرفای ۵ سانتی‌متری	ژرفای ۱۰ سانتی‌متری	ژرفای ۲۰ سانتی‌متری	ژرفای ۳۰ سانتی‌متری	ژرفای ۵۰ سانتی‌متری	ژرفای ۱۰۰ سانتی‌متری
من-کندال	۴/۰۲**	۳/۸۵۸**	۲/۶۶۵**	۳/۹۵۱**	۴/۲۷۶ns	۵/۵۳۸**
اسپیرمن	۰/۲۵۶**	۰/۲۱۷**	۰/۱۰۸**	۰/۲۳۵**	۰/۴۸۴**	۰/۲۸۴**

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح پنج درصد و یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

تمامی ژرفاها، به استثنای ژرفای ۵۰ سانتی‌متری خاک، در روش من-کندال، روند تغییرات دمای خاک افزایشی بود (جدول ۵). اسدی و همکاران (۱۵)، با تخمین دمای خاک با استفاده از روش‌های نوین داده‌کاوی نشان دادند که با افزایش ژرفای خاک میزان تأثیر پارامترهای هواشناسی و دقت پیش‌بینی دمای خاک کاهش می‌یابد. بالا بودن دقت مدل‌ها در لایه‌های سطحی خاک به‌واسطه تأثیرپذیری بیشتر دمای خاک از عوامل جوی و تأخیر زمانی کمتر برای انتقال حرارت از سطح به این لایه‌ها است. بهترین عملکرد از اجرای الگوریتم نزدیک‌ترین k همسایگی به‌دست آمد. گلشن و همکاران (۱۴)، با بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند دمای خاک در چند اقلیم متفاوت ایران نشان دادند که تقریباً در تمامی ژرفاهای مورد بررسی، دمای ژرفاهای خاک روند تغییرات فصلی و سالانه دما افزایشی بوده و با گذشت زمان در طی فصل‌ها و سال‌ها گرم‌تر شده است. این نتایج با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت داشت.

بررسی نتایج آزمون تعیین روند با استفاده از روش‌های پارامتری در سری زمانی سالانه دمای ژرفاهای خاک نشان داد که در تمامی ژرفاها، به استثنای ژرفاهای ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متری

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. بررسی روند تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های پارامتری پیرسون و تحلیل رگرسیونی در سری زمانی سالانه دمای ژرفاهای خاک

آزمون	ژرفای ۵ سانتی‌متری	ژرفای ۱۰ سانتی‌متری	ژرفای ۲۰ سانتی‌متری	ژرفای ۳۰ سانتی‌متری	ژرفای ۵۰ سانتی‌متری	ژرفای ۱۰۰ سانتی‌متری
پیرسون	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
رگرسیون	۴/۴۴**	۱/۲۱^{ns}	۲/۸۵**	۱/۲۲^{ns}	۷/۹۹**	۵/۲۷**

*، ** و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح پنج درصد و یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

خاک، در روش تحلیل رگرسیونی، تغییرات دمای خاک دارای روند افزایشی بود. درحالی‌که ضریب همبستگی پیرسون تفاوت چندانی در دمای ژرفاهای مختلف خاک نداشت (جدول ۶). محمدی و فروزان‌فرد (۸) گزارش کردند که روند تغییرات سالانه هوا در هر یک از عمق‌های مورد بررسی و ایستگاه‌های مختلف یکسان نبود. به‌طور مثال روند دمای خاک در عمق پنج سانتی‌متری را در ایستگاه بابلسر صعودی و همین روند را برای انزلی، نزولی بیان کردند. این یافته‌ها با نتایج این پژوهش در عمق‌های ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متری خاک، مبنی بر استخراج نتایج یکسان در وجود یا عدم وجود روند همخوانی داشت.

نتایج پژوهش اسدی و همکاران (۱۵) که به بررسی روند تغییرات دمای اعماق مختلف خاک در منطقه گرگان با استفاده از آزمون من- کندال پرداختند، نشان داد که در شش ماه اول سال، دمای خاک در تمام ژرفاها روند صعودی داشت ولی شش ماه دوم سال، هیچ‌گونه روندی در داده‌ها مشاهده نشد. در منطقه گرگان، فصول گرم سال در حال گرم‌تر شدن است.

نتیجه‌گیری

بررسی روند تغییرات سری‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه دمای ژرفاهای خاک با استفاده از روش‌های آزمون ناپارامتری در بیشتر موارد نتایجی مشابه و گاه نتایج متفاوتی را نشان داد. یافته‌ها نشان از افزایش دمای خاک در طول ماه‌های ژوئن تا نوامبر داشت. درحالی‌که در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس هیچ‌گونه روند معنی‌داری دیده نشد. آزمون روند فصلی دمای خاک نشان از افزایش دمای خاک در تمامی ژرفاها در فصل‌های بهار، پاییز و تابستان داشت. همچنین روند سالانه دمای خاک، حاکی از افزایش دمای خاک در تمامی ژرفاها بود. در واقع بر پایه یافته‌های این پژوهش، دمای ژرفاهای خاک در طی ماه‌های (ژوئن تا نوامبر)، فصل‌های (بهار، پاییز و تابستان) و در طی دوره بررسی شده افزایش یافته و گرم‌تر شده است.

منابع مورد استفاده

۱. اسدی، ل.، ا. هزار جریبی، خ. قربانی، ز. آقا شریعتمداری و م. ذاکری‌نیا. ۱۳۹۳. تخمین دمای خاک با استفاده از روش‌های نوین داده کاوی. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران* ۸(۱): ۱۵۲-۱۴۵.

۲. انصاری، م.، غ. ر. نوری و ص. فتوحی. ۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات دما، بارش و دبی با استفاده از آزمون ناپارامتری من‌کندال (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه کاچو استان سیستان و بلوچستان). *پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز* ۱۴: ۱۵۸-۱۵۲.

۳. پارسافر، ن و ص. معروفی. ۱۳۹۱. استخراج روابط رگرسیونی بین دمای خاک در اعماق مختلف و پارامترهای هواشناسی (مطالعه موردی: ایستگاه همدان). *علوم آب و خاک* ۱۶(۶۲): ۷۱-۶۱ .

۴. ثنایی‌نژاد، ح.، م. ادیب عباسی، م. موسوی بایگی و م. ط. حیدری گندمان. ۱۳۸۷. بررسی رژیم دمایی هوا و اعماق خاک و تعیین نواسانات ادواری آنها در ایستگاه‌های استان کردستان، *مجله علوم و صنایع کشاورزی* ۲۲: ۳۳-۲۵.

www.SID.ir

Archive of SID

۵. جعفری گلستانی، م.، م. رائینی سرجاز و م. ضیاءتبار احمدی. ۱۳۸۶. برآورد دمای ژرفای خاک با بهره‌گیری از روش تجزیه منحنی و همبستگی‌های رگرسیونی برای شهرستان ساری. *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی* ۵(۱۴): ۵۱-۳۸.

۶. فرزانه، ا.، س. ح. نعمتی و ن. وحدتی. ۱۳۹۰. تاثیر برخی پارامترهای هواشناختی (دما و نور) بر شاخص‌های عملکرد و صفات کمی و کیفی چهار رقم گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* MILL.)، *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)* ۳(۲۵): ۶۹۷-۶۸۸.

۷. گلشن، س.، م. رائینی سرجاز و ر. نوروز ولاشدی. ۱۳۹۳. بررسی تعییر اقلیم بر روند تغییرات دمای خاک در جند اقلیم متفاوت ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۸. محمدی، م و م. فروزان‌فرد. ۱۳۹۵. از بررسی روند درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در چند نمونه اقلیمی ایران. *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی* ۷(۲۵): ۱۴۰-۱۲۷.

۹. معروفی، ص. و ح. طبری. ۱۳۹۰. آشکارسازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی* ۲۶(۲): ۱۴۶-۱۲۵.

۱۰.نجفی مود، م. ح.، ا. علیزاده، آ. محمدیان و ج. موسوی. ۱۳۸۷. بررسی رابطه دمای اعماق مختلف خاک و برآورد عمق یخبندان (مطالعه موردی استان خراسان رضوی)، *مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)* ۲۲(۲): ۴۶۶-۴۵۶.

11. Ferguson, G. and H. Beltrami. 2006. Transient lateral heat flow due to land-use changes. *Earth and Planetary Science Letters* 24(2): 217-222.
12. Ghahreman, N., J. Bazrafshan and A. Gharekhani. 2010. Trend analysis of soil surface temperature in several regions of Iran. *In:* Proceeding of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia.
13. Ghuman, B. S. and R. Lal. 1991. Predicting diurnal temperature regimes of the central Appalachians. *Soil Science* 13(6): 247-252.
14. Hiraiwa, Y. and T. Kasubuchi. 2000. Temperature dependence of thermal conductivity of soil over a wide range of temperature. *Europian Journal of Soil Science* 51(14): 211-218.
15. Kendall, M. G. 1975. Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London.
16. Mazidi, A. and F. Fallah Zadeh. 2011. Study the process of annual soil temperature in Yazd station, *Geography and Development* 9(24): 39-50.
17. Pokladnikova, H., J. Roznovsky and T. Streda. 2008. Evaluation of Soil Temperature at Agroclimatological Station pohorelic. *Soil Water Research* 3(4): 223-230.
18. Turgay, P. and K. Ercan. 2005. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes* 4(21): 126-137.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 4, Winter 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of the Soil Depths Temperature Trend Using Parametric and Non-Parametric Methods (Shahrud Station)

S. Shiukhy Soqanloo, S. Golshan and M. Khoshravesh[1*]

(Received: February 11-2017 ; Accepted: September 23-2017)

Abstract

The effects of climate change can be released from the surface to the soil depth, thereby affecting soil thermal regime. Thermal energy in the soil plays a very important role in causing climate changes. In this study, for the assessment and detection of the climate changes, soil depths temperature, the measured data related to the daily air temperature at a height of 2 meters (screen) during the years (1951-2014), and the soil depths daily temperature (5-10-20-30-50 to 100 cm), for 3, 9 and 15 hours, were obtained during a period (1992-2014) in Shahrud station. The climate change detection was employed to compare the treatment mean. As well, for detection of trends related to the annual, seasonal and monthly time series and their relation to the soil depths temperature, parametric methods (regression analysis and Pearson) and nonparametric (Mann-Kendall, Spearman) were applied. The results showed that the soil temperature was increased in all months except January, February and March. Also, in the seasonal time series, the soil depths temperature was increased in all seasons except winter. In fact, based on the results, the soil temperature in spring, summer and autumn was increased. Detection trends of the annual soil depths temperature showed that, except for the Pearson correlation coefficient method, soil temperature was increased at all soil depths.

Keywords: Average of annual temperature, Daily temperature, Time series, Thermal energy

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
*: Corresponding Author, Email: khoshravesh_m24@yahoo.com

www.SID.ir