

بررسی روند تغییرات دمای اعماق مختلف خاک با استفاده از آزمون من-کندال (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک گرگان)

لیدا اسدی

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
lidaasadi69@yahoo.com

ابوطالب هزار جریبی

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
hezab10@yahoo.com

خلیل قربانی

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
kghorbani@alumni.ut.ac.ir

زهرا آقاشریعتمداری

استادیار گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران،
zagha@ut.ac.ir

مهدی ذاکری‌نیا

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
a_zakerinia@yahoo.com

چکیده

دمای خاک یکی از پارامترهای مهم در مطالعات هواشناسی و اقلیم‌شناسی کشاورزی هم‌چنین مسائل مرتبط با هیدرولوژی می‌باشد. این کمیت در اعماق ۵، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ سانتی‌متری، در ۳ نوبت زمانی از روز در ایستگاه سینوپتیک اندازه‌گیری می‌شود و تابع عوامل مختلفی مانند دمای هوا، رطوبت خاک و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد. بررسی روند تغییرات دمای خاک در طول زمان می‌تواند به‌عنوان نشانه‌ای برای تغییر اقلیم در نظر گرفته شود. آزمون ناپارامتری من-کندال، یکی از روش‌هایی است که برای بررسی روند در یک سری زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این

تحقیق ایستگاه سینوپتیک گرگان با دوره آماری ۱۸ ساله به عنوان منطقه مورد مطالعاتی تعیین شد. ابتدا متوسط ۳ نوبت برداشت روزانه محاسبه و سپس سری زمانی میانگین‌های نیم‌سال و سالانه دمای خاک در اعماق مختلف تشکیل شد و آزمون من-کندال بر روی هر سری داده اجرا شد. نتایج نشان داد که در شش ماه اول سال، دمای خاک در تمام اعماق روند صعودی دارد ولی شش ماه دوم سال، هیچ‌گونه روندی در داده‌ها مشاهده نمی‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در منطقه گرگان فصول گرم سال در حال گرم شدن می‌باشد.

کلید واژه‌ها: روند، دما، خاک، آزمون من-کندال، گرگان.

مقدمه

دمای خاک و چگونگی تغییرات آن 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 به‌طور مستقیم وابسته به دما است. علاوه بر آن تبخیر و تعرق، جوانه‌زنی، تهویه خاک، رشد گیاه، فعالیت ریشه و میکروارگانیسم‌های خاک تابع دمای آن هستند. بررسی و مطالعه رابطه دمای هوا و خاک از مهم‌ترین روابطی است که در پیش‌بینی سرما و برآورد شدت خسارت به محصولات کشاورزی می‌تواند کاربرد داشته باشد. میزان تأثیر فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی که درون خاک به‌وقوع می‌پیوندد، به‌ازای هر ۱۰ درجه سلسیوس افزایش دما، بیش از دو برابر می‌شود. علاوه بر این گاهی اوقات رشد بخش هوایی گیاه وابستگی نزدیک‌تری به درجه حرارت خاک نسبت به درجه حرارت هوا دارد. بدیهی است درجه حرارت نهایی (درجه حرارت بسیار بالا و بیش از حد پایین) تأثیر مخربی بر روی حیات گیاه دارد. بنابراین آگاهی از رژیم حرارتی خاک و نوسانات دمایی آن در امور کشاورزی از خسارات احتمالی جلوگیری کرده و موجب افزایش بازدهی محصولات می‌گردد، لذا بررسی روند دمای خاک کمک شایانی به بخش کشاورزی می‌نماید.

باگز (۱۹۸۲) در مقاله خود سعی نمود نقشه خاک استرالیا را به‌منظور پیش‌بینی توزیع دمای زمین تهیه نماید. وی با توجه به اینکه ساخت خانه‌های زیرزمینی در استرالیا هواداران زیادی پیدا کرده بود و در ضمن آمار درجه حرارت زمین برای مکان-یابی مناسب این‌گونه ساختمان‌ها در دسترس نبود اقدام به تهیه داده‌های طولانی‌مدت درجه حرارت زمین از ۲۰ مکان نمونه نمود که در ۵ ایالت استرالیا پراکنده بودند و با استفاده از آن داده‌ها، نقشه همدمای خاک را در اعماق مختلف ترسیم نمود. تونلهم (۱۹۹۰) با کمک مدل‌سازی عددی و با استفاده از دو پارامتر درجه حرارت هوا و توازن انرژی سطح خاک به مقایسه بین مقادیر دمای خاک اندازه‌گیری شده و مقادیر شبیه‌سازی شده در ناحیه سوئد شمالی پرداخت. میهالاکاکو (۲۰۰۱) به‌منظور مدل‌سازی و برآورد تغییرات روزانه و سالانه دمای سطح زمین از روش‌های مدل تجربی و نظریه شبکه عصبی استفاده نمود. وی اعتبار هر دو روش را نسبت به دستگاه‌های عظیم اندازه‌گیری دمای خاک در شهرهای آتن و دوبلین سنجید. در نهایت مقایسه هر دو مدل نشان داد که روش پیشنهادی در این تحقیق قادر به تخمین نسبی توزیع و پراکندگی دمای سطح زمین است. پاولو همکاران (۲۰۰۴) از یک مدل ساده به‌منظور پیش‌بینی درجه حرارت خاک در لایه‌های زیرین انواع جنگل در ۵۱ مکان استرالیای جنوبی استفاده نمودند. گهریک و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل انتقال درجه حرارت هوا به خاک شاخص‌های حرارتی حد رویش درختان را در منطقه آلپ سوئیس برآورد نمودند. آنها به‌دلیل در دسترس نبودن داده‌های خاک از مدل ASTRAMO استفاده کردند. این مدل با استفاده از درجه حرارت روزانه هوا، متوسط درجه حرارت روزانه محدوده ریشه گیاه (عمق ۱۰ سانتیمتری از سطح زمین) را پیش‌بینی می‌کند. پنگ و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی رابطه تنفس زمین با دما در اکوسیستم‌های گوناگون چین پرداختند. نتایج حاصل از ترکیب ۱۶۱ آمار اندازه‌گیری شده از ۵۲ برگ درخت پراکنده در محدوده مورد مطالعه نشان داد که مقدار Q_{10} (عاملی است که به‌ازای هر ۱۰ درجه افزایش دما، تنفس افزایش می‌یابد) بشدت وابسته به دمای اندازه‌گیری شده در عمق خاک است. همچنین انواع گوناگون اکوسیستم مقادیر متفاوتی از Q_{10} را نشان داد. در واکنش به دمای خاک در عمق ۵ سانتیمتری، چمن‌زارهای آلپی و توندرا بیشترین مقدار را نشان داد، در

حالی که مقدار آن برای جنگل‌های با درختان پهن‌برگ همیشه سبز به نصف رسید. بهیاری (۱۳۸۰) در پژوهشی به‌منظور پیش-بینی دمای حداقل خاک و روش‌های مبارزه با یخبندان و سرمازدگی در استان چهارمحال و بختیاری اقدام به بررسی دمای اعماق خاک در این استان نمودند و نتایج حاصل نشان داد که تغییرات ماهانه دمای خاک نسبت به زمان، موجی‌شکل است و هر چه عمق خاک بیشتر می‌شود دامنه تغییرات دما به‌طور نمایی کاهش می‌یابد. مهدویان (۱۳۸۳) در پروژه تحقیقاتی خود به تعریف رابطه و مدل همبستگی بین دمای حداقل زمین و حداقل هوا پرداخت و به این نتیجه رسید که بین این دو متغیر ضریب همبستگی کاملاً قوی است و مدل همبستگی از پتانسیل خوبی برای تعیین دمای حداقل زمین از طریق دمای حداقل هوا برخوردار است.

برائیان (۱۳۸۴) در پروژه‌های تحقیقاتی اقدام به بررسی تأخیر زمانی در اعماق خاک ایستگاه شهرکرد نمود. در این تحقیق رابطه دمای اعماق خاک با دمای هوا برآورد شده و R در این روابط در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. باقری (۱۳۸۴) با هدف مطالعه دمای خاک در بروز پدیده یخبندان در کبوترآباد اصفهان، به بررسی تغییرات سالانه، ماهانه و روزانه دمای اعماق مختلف خاک پرداخت و همبستگی‌های لازم بین پارامترهای حداقل هوا، حداقل خاک و حداقل سطح زمین را به‌دست آورد. بهیاری و همکاران (۱۳۸۶) در منطقه بروجن به بررسی دمای خاک پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که رابطه بین حداقل دمای هوا و حداقل دمای سطح خاک در تمامی ماه‌های سال از نوع خطی بوده، بیشترین همبستگی در ماه ژانویه (نیمه‌ی دوم دی تا نیمه‌ی اول بهمن) با مقدار ۰/۹۸ و کمترین آن در ماه مه (نیمه‌ی دوم اردیبهشت تا نیمه‌ی اول خرداد) مقدار ۰/۵۲ است. تغییرات دمای خاک به‌صورت موجی بوده و از سطح به عمق کم شده و حداکثر دما در ماه اوت (نیمه‌ی دوم مرداد تا نیمه‌ی اول شهریور) و با یک ماه تأخیر در عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک اتفاق افتاده است. نجفی‌مود و همکاران (۱۳۸۷) به‌منظور برآورد عمق یخبندان خاک و آرایه یک رابطه ساده و منطقی بین درجه حرارت هوا و اعماق مختلف خاک در سطح شهرستان‌های استان خراسان رضوی مطالعه‌ای بر روی داده‌های جمع‌آوری شده درجه حرارت هوا و اعماق خاک از ایستگاه‌های مختلف هواشناسی استان خراسان انجام داده و نتایج حاصل از این مطالعه منجر به ارائه یک معادله درجه دوم به‌ازای هر عمق خاک گردید.

با بررسی پیشینه تحقیق چنین استنباط می‌شود که مطالعه‌ای روی روند دمای خاک در ایران انجام نشده است، بنابراین هدف این مطالعه بررسی روند تغییرات دمای اعماق خاک در مقیاس‌های نیم‌سال و سالانه می‌باشد که با روش ناپارامتری-کندال اصلاح‌شده انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی این تحقیق ایستگاه شهر گرگان مرکز استان گلستان است و از نظر جغرافیایی در عرض ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی قرار گرفته است. به‌منظور بررسی روند دمای خاک در شهر گرگان، داده‌های روزانه درجه حرارت سطح اعماق مختلف خاک (اعماق ۵، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ سانتی‌متری) در ساعات ۰۳، ۰۹، ۱۵ در دوره‌ی آماری ۱۸ ساله (۱۳۷۱-۱۳۸۸) جمع‌آوری و مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. داده‌های مربوطه از سایت سازمان هواشناسی کشور و اداره کل هواشناسی استان گلستان تهیه و نواقص آماری تکمیل شد و سری زمانی داده‌های شش ماهه نیم‌سال اول و نیم‌سال دوم و داده‌های سالانه تولید شد. سپس برای تشخیص روند آزمون من-کندال بر روی آن‌ها اجرا گردید.

• آزمون ناپارامتری من-کندال

یکی از روش‌هایی که در بررسی وجود یا عدم وجود روند جهت تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هیدرولوژیکی به‌کار گرفته می‌شود استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. روش‌های آماری به دو صورت پارامتری و ناپارامتری قابل تقسیم‌اند که

روش ناپارامتری از کاربرد نسبتاً وسیعی برخوردار است. مبنای کلیه روش‌های آماری مطرح نمودن دو فرض صفر و یک می‌باشد که فرض صفر یعنی عدم وجود روند و تصادفی بودن داده‌ها و فرض یک به منزله وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. در روش پارامتری فرض بر آن است که داده‌ها از یک توزیع خاص آماری پیروی می‌نمایند اما در روش آزمون ناپارامتری لازم نیست داده از توزیع خاصی پیروی نماید و هیچ‌گونه محدودیتی برای انجام آزمون وجود ندارد و آزمون من-کندال جزو متداول‌ترین آزمون‌های ناپارامتری می‌باشد. آزمون من-کندال به شرح زیر می‌باشد:

این آزمون ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه شده است و سپس توسط کندالدر سال ۱۹۷۵ توسعه یافته است (سیرانو، ۱۹۹۹). این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود (لتن مایر و همکاران، ۱۹۹۴). مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از مرتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها می‌باشد که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و نیازی نیست که داده‌ها در قالب توزیع خاصی درآیند. از دیگر مزایای این روش اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی موجود در داده‌های سری زمانی می‌باشد (تورگی و ارکن، ۲۰۰۵).

مراحل انجام آزمون به ترتیب ذیل می‌باشد:

۱. در این آزمون، اگر X_1, X_2, \dots, X_n مشاهدات مورد نظر باشند، ابتدا اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر تعیین و سپس تابع علامت بر روی آن اعمال می‌گردد و سپس پارامتر S به صورت ذیل استخراج می‌گردد:

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

۲. تابع علامت به شرح زیر قابل محاسبه می‌باشد:

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

n ، تعداد مشاهدات سری، x_j و x_k ، داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند.

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان به‌جای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده کرده و مرتبه‌ها را به‌همین روش مقایسه نمود. به این دلیل، این آزمون یک آزمون بر پایه مرتبه داده‌ها می‌باشد.

۳. با فرض اینکه داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند، میانگین و واریانس S از روابط زیر به دست می‌آید:

$$E(S) = 0 \quad (۳)$$

$$\begin{cases} \operatorname{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18}, & n > 10 \\ \operatorname{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}, & n \leq 10 \end{cases} \quad (۴)$$

در رابطه بالا n ، تعداد داده‌ها، m ، تعداد گره‌ها (تعداد سری‌هایی که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد) و t ، تعداد داده در هر گره (فراوانی داده‌های با ارزش یکسان) می‌باشد.

منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیش از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره m امبرابر می‌باشد.

۴. آماره این آزمون (Z) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

این آزمون، یک آزمون دو طرفه است. بنابراین در صورتی که $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. α سطح معنی‌داری بوده و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد. با توجه به دو دامنه بودن آزمون از $\alpha/2$ استفاده می‌شود هنگامی که به وسیله بررسی آماره آزمون مشخص گردد که فرض صفر رد شده یعنی روند بین داده‌ها وجود داشته است اگر آماره آزمون محاسبه نمودیم بزرگتر از صفر باشد ($Z > 0$) باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی آماره آزمون محاسبه شده کوچکتر از صفر باشد ($Z < 0$) باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود.

حامد و رائو (۱۹۹۸) برای حذف ضرایب خود همبستگی معنی‌دار از سری زمانی، آزمون من-کندال اصلاح شده را ارائه کردند که برای این کار ابتدا آزمون ضریب خود همبستگی مرتبه k ام (Γ_k) بر اساس رابطه زیر انجام می‌شود:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

که در آن $k=1,2,\dots,n$ می‌باشد. اگر $\frac{1-1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq r_k \leq \frac{1+1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k}$ باشد آن‌گاه داده‌ها در سطح ۱۰ درصد مستقل فرض می‌شود و روند از همان روش من-کندال تشخیص داده می‌شود اما اگر ضریب خود همبستگی مرتبه k ام غیرمستقل و معنی‌دار فرض شود ابتدا واریانس اصلاح شده ($V(S)^*$) از رابطه ۷ محاسبه می‌شود:

$$Var(s)^* = Var(s) \frac{n}{n^*} \quad (7)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad (8)$$

که در آن Γ_i ضرایب همبستگی با تأخیر i می‌باشد که از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

• تخمین شیب خط روند با روش تخمین‌گر سن

تخمین شیب خط روند توسط سن (۱۹۶۸) برای تشخیص روند در یک سری زمانی داده‌ها ارائه شد. این روش، یک روش ناپارامتری است که با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری زمانی داده‌ها از رابطه ۹ محاسبه می‌کند. در روش سن برای هر دو جفت داده متوالی یک شیب محاسبه می‌شود. شیب‌های محاسبه شده تشکیل یک سری زمانی می‌دهند که میانه آنها شیب خط روند را نشان می‌دهد.

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{x_j - x_l}{j-l}\right) \quad \forall j > l \quad (9)$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند و X مقدار مشاهده λ و λ مقدار مشاهده λ می‌باشد. Z یک واحد زمانی بعد از λ می‌باشد. مقادیر مثبت (منفی) β نشان‌دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری داده‌هاست (سن ۱۹۶۸).

نتایج و بحث

در این پژوهش سه سری داده مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج آزمون روند بر سری داده‌های سالانه نشان می‌دهد که در هیچ‌یک از اعماق خاک روند افزایشی یا کاهشی دما مشاهده نمی‌شود، این نتیجه بر روی سری داده‌های شش ماه دوم سال نیز مشاهده شد ولی در سری داده‌های شش ماه اول سال در تمام اعماق خاک روند افزایشی مورد تأیید قرار گرفت. آزمون شیب خط سن نیز این امر را تأیید می‌کند و برای اعماق سطحی خاک شیب خط روندی بیشتری را نشان می‌دهد. (جدول (۲) و شکل (۱)). بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که در منطقه مطالعاتی در شش ماه اول سال دمای خاک در حال گرم شدن است و اقلیم منطقه در حال تغییر است.

جدول (۱): نتایج دست‌آمده از آزمون روند من-کندال بر روی داده‌های سالانه دمای اعماق خاک

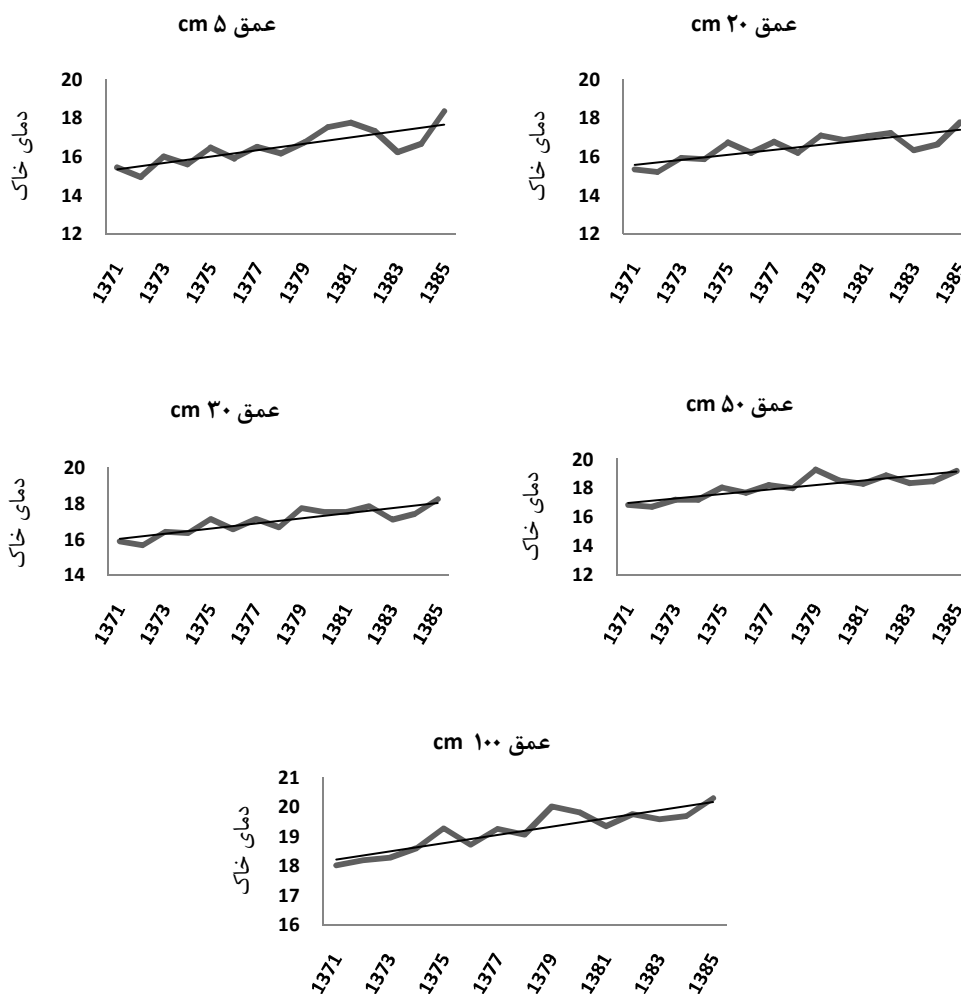
شیب سن	آماره آزمون	مشخصات سالانه ی دمای اعماق خاک
-۰.۰۱۲	۰.۸۹۳	میانگین دمای خاک عمق ۵ cm
۰.۰۱۹	۰.۶۸۵	میانگین دمای خاک عمق ۲۰ cm
۰.۰۱۸	۰.۷۵۳	میانگین دمای خاک عمق ۳۰ cm
-۰.۰۱۴	۰.۶۲۰	میانگین دمای خاک عمق ۵۰ cm
۰.۰۴۹	۰.۳۴۴	میانگین دمای خاک عمق ۱۰۰ cm

جدول (۲): نتایج دست‌آمده از آزمون روند من-کندال بر روی داده‌های دوره ایدما با اعماق خاک

شیب سن					آماره آزمون					مشخصات دوره - ایدما با اعماق خاک
cm۱۰۰	cm۵۰	cm۳۰	cm۲۰	cm۵	cm۱۰۰	cm۵۰	cm۳۰	cm۲۰	cm۵	
۰.۱۲۷	۰.۱۲۸	۰.۱۳	۰.۱۱۹	۰.۱۴۸	۰.۰۰۸*	۰.۰۰۸*	۰.۰۱۳*	۰.۰۲۲*	۰.۰۱۷*	نیمسال اول
۰.۰۰۲	-۰.۰۶۷	۰.۰۴۱	۰.۰۰۴	-۰.۰۰۵	۱.۰۰۰	۰.۳۸۷	۰.۴۸۴	۰.۵۹۲	۰.۳۰۳	نیمسال دوم

*: روند معنی‌دار در سطح ۵٪

در شکل (۱) نیز شکل روند صعودی دمای اعماق نشان داده شده است همان‌طور که نشان داده شد در نیم سال اول سطح خاک در حال گرم شدن است.



شکل (۱): روند تغییرات دمای خاک در اعماق مختلف در شش ماه اول سال

منابع

۱. باقری، ا. ۱۳۸۴. مطالعه دمای خاک در بروز پدیده یخبندان در کبوترآباد اصفهان، همایش علمی کاربردی راه‌های مقابله با سرمازدگی. اداره کل هواشناسی استان اصفهان.
۲. براتیان، ع. ۱۳۸۴. بررسی تأخیر زمانی دما در اعماق خاک در ایستگاه شهرکرد، سازمان هواشناسی کشور.
۳. بهیار، م.ب. ۱۳۸۰. پیش‌بینی دمای حداقل خاک و روش‌های مبارزه با یخبندان و سرمازدگی در استان چهارمحال بختیاری، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو.
۴. بهیار، م.ب و کمالی، غ.ع. ۱۳۸۶. رابطه دمای هوا با دمای سطح و اعماق مختلف خاک. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۸۶، ۲۳(۳): ۱۰۲-۸۱.
۵. مهدویان، ع.ر. ۱۳۸۳. بررسی رابطه بین دمای حداقل هوا، سازمان هواشناسی کشور.
۶. نجفی‌مود، م.ح، علیزاده، ا.، محمدیان، آ.، و موسوی، ج. 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) ۲. مشهد.
7. Bags, S.A. 1982. Remote prediction of ground temperature in Australian soil and mapping its distribution. Solar Energy. Vol. 30.

8. Gehrig-Fasel, J., Guisan, A., Zimmermann, N. E. 2008. Evaluating thermal treeline indicators based on air and soil temperature using an air-to-soil temperature transfer model. *Ecological Modelling*. Vol. 213.
9. Hamed, K.H., and Rao, A.R. 1998. A modified Mann–Kendall trend test for auto correlated data. *Journal of hydrology*. 204: 182–196.
10. Kendall, M.G. 1975. *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin, London. 272p.
11. Lyen, V., and Hollick, M. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modeling. Institute of Engineers Australia National Conference. Pub. 79/10, 89-93.
12. Mihalakakou, G.(2001). On estimating soil surface temperature profiles. *Energy & Building*. Vol. 34.
13. Peng, S, Wang, T, Sun, J, Shen, Z. 2009. Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems in China. *Soil Biology & Biochemistry*. Vol. 41.
14. Pual, K. I, Polglas, P. J, Smethuret, P.J, O'Connell, A. M, Carlyle, C. J, Khanna. 2004. temperature under a range of forest types. *Agric. Forest Meteorol*. Vol. 121.
15. Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. 63: 1379–1389.
16. Serrano, A., Mateos, V.L., and Garcia, J.A., 1999 . Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian peninsula for the period 1921-1995. *phys. Chem. EARTH(B)* . 24:1-2.85-90.
17. Thunholm, B. 1990. A comparison of measured and simulated soil temperatures using air temperature and soil surface energy balance as boundary conditions. *Agric. Forest Meteorol*. Vol. 53.
18. Turgay, P., and Ercan, K. 2005. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes* published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com).