

جغرافیا و توسعه شماره ۲۴ پاییز ۱۳۹۰

وصول مقاله : ۱۳۸۹/۷/۱۸

تأیید نهایی : ۱۳۸۹/۱۲/۱۸

صفحات : ۳۹ - ۵۰

روند دمای سالانه‌ی خاک در ایستگاه یزد

دکتر احمد مزیدی

فاطمه فلاحزاده

استادیار جغرافیا دانشگاه یزد

کارشناس ارشد جغرافیا طبیعی دانشگاه یزد

چکیده

هدف اصلی این تحقیق بررسی روند دمای اعماق خاک در ایستگاه یزد می‌باشد. بدین منظور داده‌های روزانه‌ی دمای خاک ایستگاه سینوپتیک یزد در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتری از سطح زمین در ساعات ۰۳، ۰۹ و ۱۵ گرینویچ در دوره‌ی آماری ۵ ساله (۱۳۸۴-۱۳۸۰) انتخاب و تجزیه و تحلیل بر روی آنها انجام گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین دامنه‌ی نوسان روزانه‌ی دما در لایه‌های نزدیک به سطح زمین (عمق ۵ سانتیمتری) در ساعت ۶/۵ صبح و در ماه فروردین می‌باشد که با افزایش عمق پیوسته از مقدار آن کاسته می‌شود، بطوری‌که در عمق ۱۰۰ سانتیمتری در ماه مرداد به کمترین مقدار خود می‌رسد. همچنین در عمق‌های ۵ و ۱۰ سانتیمتری حداکثر دما در اوایل تیرماه اتفاق افتاده است، در حالی‌که در عمق ۱۰۰ سانتیمتری با یک ماه تأخیر زمانی در اوایل مرداد رخ داده است. حداقل دما نیز در سطوح بالا (۵، ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری) در اوایل دی‌ماه و در اعماق پایین‌تر به تدریج تا اواخر دی اتفاق افتاده است که نشان می‌دهد موج گرمایی حداکثر روزانه دیرتر از موج گرمایی حداقل به ژرفایی معین می‌رسد.

کلیدواژه‌ها: یزد، دمای خاک، روند دما، دامنه‌ی نوسان روزانه، خاک.

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 تأثیر قرار می‌دهد، بلکه میزان و جهت کلیه‌ی فرآیندهای فیزیکی خاک به طور 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 (علوی‌پناه، ۱۳۸۵: ۱۲۸). بررسی و مطالعه‌ی رابطه‌ی 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 به وقوع می‌پیوندد، به ازای هر ۱۰ درجه سلسیوس افزایش دما، بیش از ۲ برابر می‌شود. علاوه بر این

گاهی اوقات رشد بخش هوایی گیاه وابستگی نزدیکی به درجه‌ی حرارت خاک نسبت به درجه حرارت هوا دارد (گایلون^۱، ۱۹۸۵: ۲۶). بدیهی است درجه‌ی حرارت نهایی (درجه‌ی 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. معمولاً تعویق زمانی موج حرارت در زمین بر اساس فرمول ذیل محاسبه می‌شود (کاوینی، ۱۳۸۰: ۶۵):

$$Z_2 - Z_1 = (X_2 - X_1) \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi}{k_{Hs} T}} \quad \text{فرمول ۱-۱}$$

در این معادله، $Z_2 - Z_1$ = زمان تأخیر حرارتی در بین عمق X_1 و X_2 ؛

k_{Hs} = قابلیت انتشار حرارتی خاک بر حسب سانتی‌متر مربع بر ثانیه؛

T = زمان یا دوره موج بر حسب ثانیه؛

بر اساس این معادله اگر بیشترین دما در ساعت ۱۲/۵ در سطح زمین باشد ۵ ساعت بعد به عمق ۸ سانتیمتری می‌رسد. طبق بررسی دگر^۲ حرکت امواج گرمایی در انتقال به قشرهای درونی زمین‌های همگن، به صورت خطی انجام می‌گیرد.

او با ترسیم مقادیر حداکثر دمای روزانه، نشان داد که رسیدن دمایی معین به عمق ۱۰ سانتی‌متری در حدود ۳ ساعت، به عمق ۳۰ سانتی‌متری ۱۲ ساعت و به عمق ۶۰ سانتی‌متری حدود ۳۳ ساعت طول می‌کشد (کاوینی و علیجانی، ۱۳۸۲: ۱۱۴). با توجه به این موارد، در مطالعه‌ی حاضر سعی شده است روند دمای خاک و همچنین نوسانات دمایی آن در ایستگاه یزد با توجه به موارد مطرح شده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

سابقه‌ی تحقیق

باگز^۳ در مقاله‌ی خود سعی نمود نقشه‌ی خاک استرالیا را به منظور 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 درجه‌ی حرارت زمین برای مکان‌یابی مناسب این‌گونه ساختمان‌ها در دسترس نبود اقدام به تهیه‌ی داده‌های طولانی‌مدت درجه‌ی حرارت زمین از ۲۰ مکان نمونه نمود که در ۵ ایالت استرالیا پراکنده بودند و با استفاده از آن داده‌ها، نقشه‌ی

1-Gaylon
2-Decker
3-Baggs

همدمای خاک را در اعماق مختلف ترسیم نمود (باگز، ۱۹۸۲: ۳۵۱). تونهلیم^۱ 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 ناحیه‌ی سوئد شمالی پرداخت (تونهلیم، ۱۹۹۰: ۵).

می‌هالاکاکو^۲ به منظور مدل‌سازی و برآورد تغییرات روزانه و سالانه‌ی دمای سطح زمین از روش‌های مدل تجربی و نظریه‌ی شبکه‌ی عصبی استفاده نمود. وی اعتبار هر دو روش را نسبت به دستگاه‌های عظیم اندازه‌گیری دمای خاک در شهرهای آتن و دوبلین سنجید. در نهایت مقایسه‌ی هر دو مدل نشان داد که روش پیشنهادی در این تحقیق قادر به تخمین نسبی توزیع و پراکندگی دمای سطح زمین است (می‌هالاکاکو، ۲۰۰۱: ۲۷۱). پاول^۳ و همکاران از یک مدل ساده به منظور پیش‌بینی درجه حرارت خاک در لایه‌های زیرین انواع جنگل در ۵۱ مکان استرالیای جنوبی استفاده نمودند (پاول، ۲۰۰۴: ۱۶۷).

گهریگ^۴ و همکاران با استفاده از مدل انتقال درجه حرارت هوا به خاک شاخص‌های حرارتی حد رویش درختان را در منطقه‌ی آلپ سوئیس برآورد نمودند آنها به دلیل در دسترس نبودن داده‌های خاک از مدل ASTRAMO استفاده کردند. این مدل با استفاده از درجه حرارت روزانه‌ی هوا، متوسط درجه‌ی حرارت روزانه‌ی محدوده‌ی ریشه‌ی گیاه (عمق ۱۰ سانتیمتری از سطح زمین) را پیش‌بینی می‌کند (گهریگ، ۲۰۰۱: ۳۴۵-۳۵۵). پنگ^۵ و همکاران به بررسی رابطه‌ی تنفس زمین با دما در اکوسیستم‌های گوناگون چین پرداختند. نتایج حاصل از ترکیب ۱۶۱ آمار اندازه‌گیری شده از ۵۲ برگ درخت پراکنده در محدوده‌ی مورد مطالعه نشان داد که مقدار Q_{10} (عاملی است که به ازای هر ۱۰ درجه افزایش دما، تنفس افزایش می‌یابد) به شدت وابسته به دمای اندازه‌گیری شده در عمق خاک است. همچنین انواع گوناگون اکوسیستم مقادیر متفاوتی از Q_{10} را نشان داد. درواکنش به‌دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری، چمنزارهای آلپی و توندرا بیشترین مقدار را نشان داد، در حالی که مقدار آن برای جنگل‌های با درختان پهن برگ همیشه سبز به نصف رسید (پنگ، ۲۰۰۹: ۱۰۰۸).

بهیار و همکاران در پژوهشی به منظور پیش‌بینی 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 ماهانه‌ی دمای خاک نسبت به زمان،

1-Thunholm
2-Mihalakakou
3-Pual
4-Gehrig
5-Peng

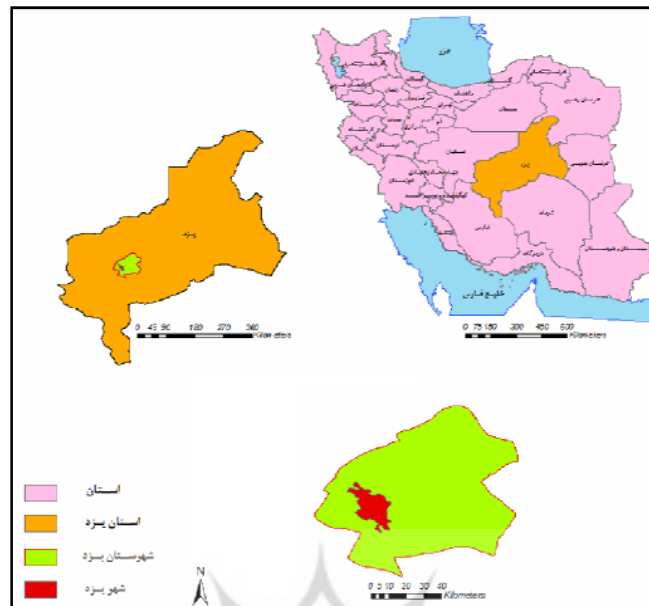
موجی شکل است و هر چه عمق خاک بیشتر می‌شود دامنه‌ی تغییرات دما به‌طور نمایی کاهش می‌یابد (بهیار و همکاران، ۱۳۸۰). مهدویان در پروژه‌ی تحقیقاتی خود به تعریف رابطه و مدل همبستگی بین دمای حداقل زمین و حداقل هوا پرداخت و به این نتیجه رسید که بین این دو متغیر ضریب همبستگی کاملاً قوی است و مدل همبستگی از پتانسیل خوبی برای تعیین دمای حداقل زمین از طریق دمای حداقل هوا برخوردار است (مهدویان، ۱۳۸۳: ۱۰).

براتیان در پروژه‌ای تحقیقاتی اقدام به بررسی تأخیر زمانی در اعماق خاک ایستگاه شهر کرد نمود. در این تحقیق رابطه‌ی دمای اعماق خاک با دمای هوا برآورد شده است و R در این روابط در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد (براتیان، ۱۳۸۴). باقری با هدف مطالعه‌ی دمای خاک در بروز پدیده‌ی یخبندان در کبوترآباد اصفهان، به بررسی تغییرات سالانه، ماهانه و روزانه‌ی دمای اعماق مختلف خاک پرداخت و همبستگی‌های لازم بین پارامترهای حداقل هوا، حداقل خاک و حداقل سطح زمین را به دست آورد (باقری، ۱۳۸۴: ۵). بهیار و همکاران در منطقه‌ی بروجن به بررسی دمای خاک پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که رابطه‌ی 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 به صورت 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 (بهیار، ۱۳۸۶: ۸۱).

نجفی و همکاران به منظور برآورد عمق یخبندان خاک و آرایه‌ی 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 آرایه یک معادله درجه‌ی دوم به ازای هر عمق خاک گردید (نجفی و همکاران، ۱۳۸۷: ۴۶۶-۴۵۶).

موقعیت جغرافیایی

منطقه‌ی مورد مطالعه ایستگاه سینوپتیک یزد می‌باشد. این ایستگاه در مختصات ۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲۳۷ متر می‌باشد. شکل (۱) موقعیت شهر یزد را در استان و کشور نشان می‌دهد. خاک شهر یزد آهکی-قلیایی و شور می‌باشد و حاوی ۷۵ درصد ماسه، ۱۲ درصد رس و ۱۳ درصد سیلت (لای) می‌باشد نوع بافت آن نیز ماسه‌ای-رسی می‌باشد (شرکت کویر جنوب یزد، ۱۳۸۷، نتایج آزمایش).



شکل ۱: موقعیت شهر یزد در استان و کشور

مأخذ: نگارندگان

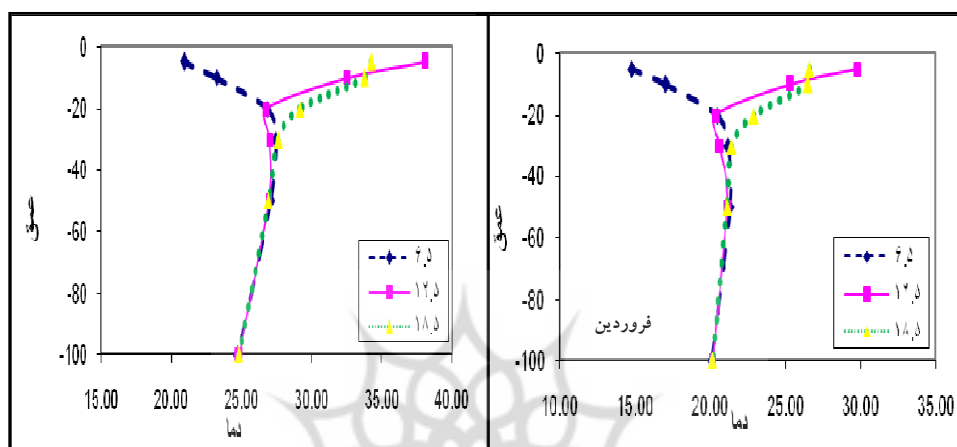
مواد و روش‌ها

به منظور بررسی روند دمای خاک در شهر یزد، داده‌های روزانه درجه حرارت سطح زمین و اعماق مختلف خاک (عمق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتری) در ساعات ۶/۵، ۱۲/۵ و ۱۸/۵ در دوره‌ی آماری ۵ ساله (۱۳۸۴-۱۳۸۰) جمع‌آوری و مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. داده‌های مربوطه از سایت سازمان هواشناسی کشور و اداره کل هواشناسی استان یزد تهیه گردید. جهت تکمیل نواقص آماری از روش رگرسیون استفاده شد. سعی شد در تمام موارد ضریب همبستگی (r) بین دو متغیر معنی‌دار باشد (حافظ‌نیا، ۱۳۸۵: ۲۴۸). در مواردی که همبستگی معنی‌دار نبود از ایستگاه کليما تولوژی مرکز پژوهشی یزد وابسته به وزارت نیرو که در مجاورت ایستگاه یزد قرار دارد و از نظر خصوصیات آب و هوایی به هم شبیه هستند استفاده شد. آزمون همگنی نیز برای داده‌ها انجام شد تا داده‌ی خارج از رده یا اشتباه نداشته باشیم.

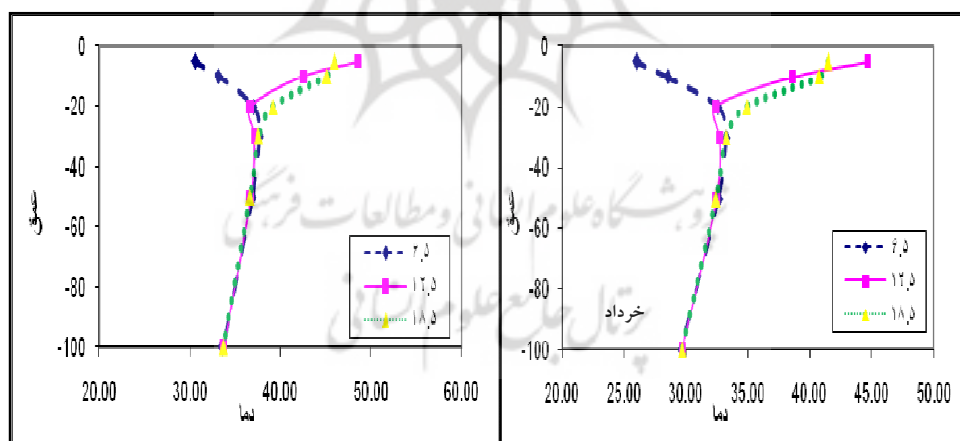
بحث

انتقال گرما و اقلیم حرارتی خاک توسط چهار عامل حرارتی کنترل می‌شود که شامل قابلیت هدایت حرارتی، ظرفیت گرمایی، قابلیت انتشار حرارتی و پذیرش حرارتی (کاوینی، ۱۳۸۰: ۶۰). با گرم شدن سطح زمین، موج گرمایی پس از مدت‌زمانی نسبتاً زیاد به قشرهای عمیق‌تر سطح زمین نفوذ می‌کند. معمولاً تغییرات دما در خاک به صورت تصاعد هندسی است. مثلاً در عمق

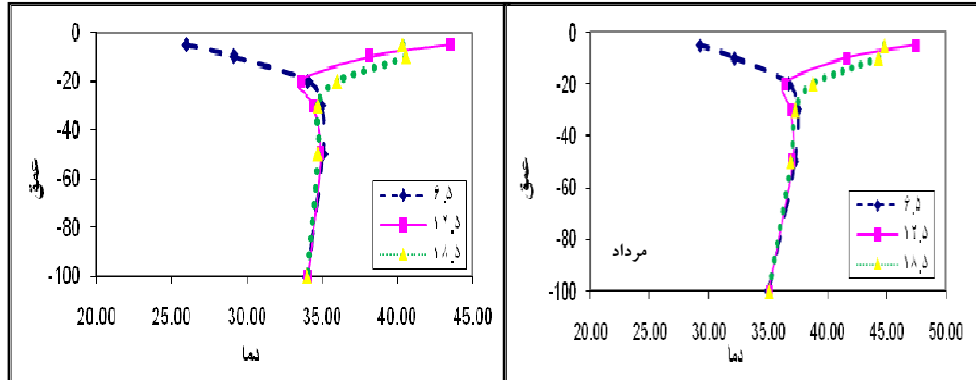
۱۲ سانتیمتری دما به نصف و در عمق ۲۴ سانتیمتری به یک چهارم می‌رسد. برای بررسی این امر در ایستگاه یزد نمودارهای تغییرات دما در خاک در ماههای مختلف با استفاده از نرم‌افزار اکسل تهیه و مورد پردازش قرار گرفت. شکل‌های ۲ الی ۷ تغییرات ماهانه‌ی درجه حرارت در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتری خاک را در ماههای مختلف سال نشان می‌دهد.



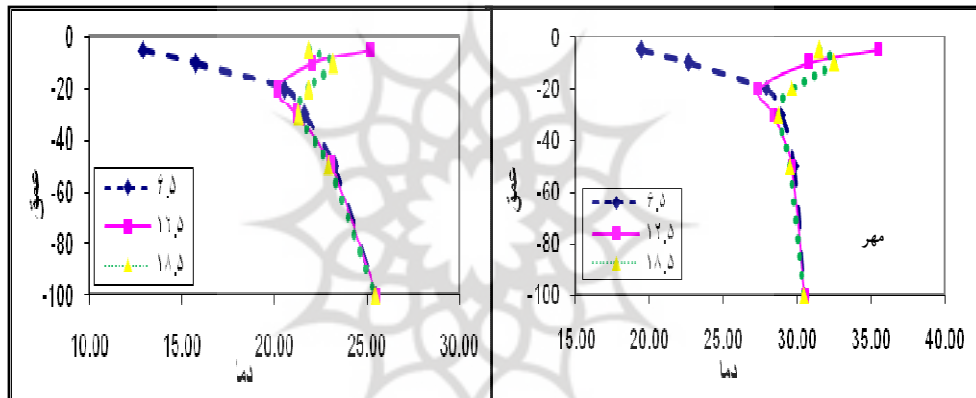
شکل ۲: برش قائم دمای اعماق خاک در ایستگاه یزد (ماه فروردین و اردیبهشت)
مأخذ: نگارندگان



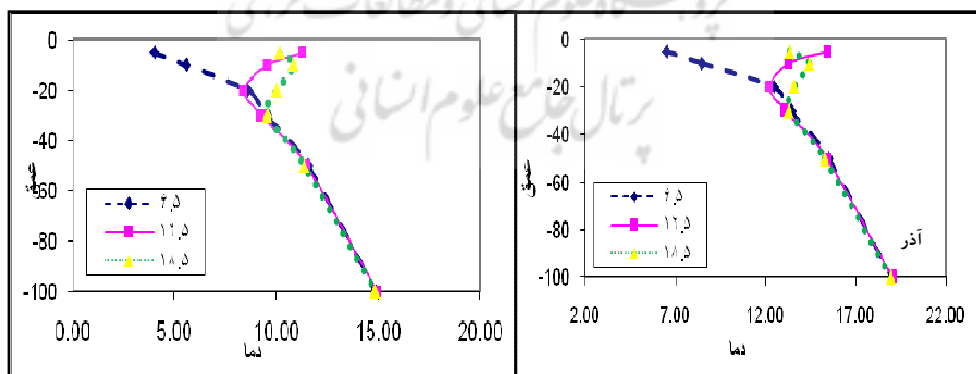
شکل ۳: برش قائم دمای اعماق خاک در ایستگاه یزد (ماه خرداد و تیر)
مأخذ: نگارندگان



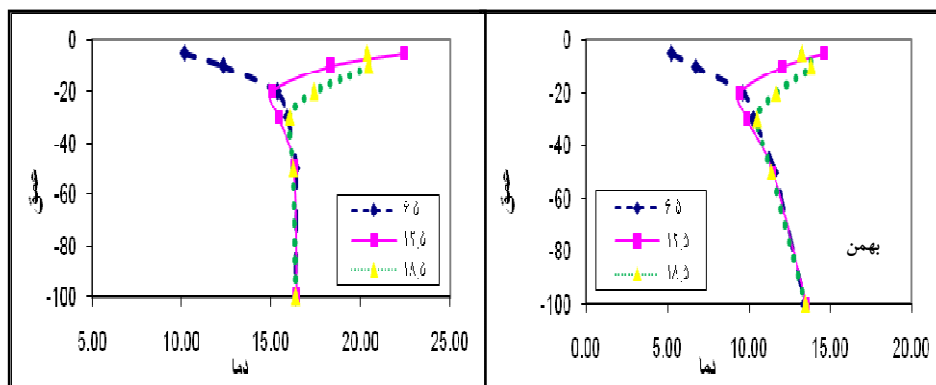
شکل ۴: برش قائم دمای اعماق خاک در ایستگاه یزد (ماه مرداد و شهریور)
 مأخذ: نگارندگان



شکل ۵: برش قائم دمای اعماق خاک در ایستگاه یزد (ماه مهر و آبان)
 مأخذ: نگارندگان



شکل ۶: برش قائم دمای اعماق خاک در ایستگاه یزد (ماه آذر و دی)
 مأخذ: نگارندگان



شکل ۷: برش قائم دمای اعماق خاک در ایستگاه یزد (ماه بهمن و اسفند)
مأخذ: نگارندگان

چنانکه از نمودارها مشهود است روند دمای خاک در فصول مختلف متغیر است. معمولاً تغییرات ماهانه‌ی دما تا عمق حدود ۳۵ سانتیمتری مشاهده می‌شود اما از این عمق به بعد روند کاهشی یا افزایشی دارد. این روند در ۶ ماهه‌ی اول سال به سمت اعماق خاک کاهشی است. بطوری‌که در فروردین به ازای هر ۳۰ سانتیمتر ۱ درجه دمای خاک کاهش یافته از اردیبهشت تا تیرماه این مقدار به ۱/۵ درجه در مرداد ۱ و در شهریور به ۰/۵ درجه رسیده است. اما در ۶ ماهه دوم سال این روند افزایشی می‌باشد. بطوری‌که در مهرماه با رفتن به اعماق خاک در هر ۳۰ سانتیمتر، دما حدود ۰/۵ درجه افزایش یافته است. در آبان به ۲/۵ درجه در آذر ۳/۵ در دی ۳ بهمن ۲ و در نهایت در اسفند به صفر می‌رسد. این افزایش در ماههای آذر و دی به حداکثر خود رسیده است. بطوری‌که در برخی روزها با یک متر کاهش حدود ۹ درجه افزایش دما مشاهده می‌شود که این امر نشان از سرمای سطحی خاک به دلیل نفوذ توده هوای سرد و تشعشع سطحی خاک است که باعث سرد شدن سریع خاک می‌شود. داده‌ها نشان می‌دهند تغییرات دما در سطح خاک در طول روز زیاد است اما به سمت اعماق خاک دامنه نوسان روزانه کاهش می‌یابد. بطوری‌که در عمق ۵ سانتیمتری در فروردین ماه به حدود ۱۶ درجه، در عمق ۱۰ سانتیمتری به ۹ و در ۲۰ سانتیمتری به ۳ درجه و در نهایت در ۳۵ تا ۴۰ سانتیمتری به صفر درجه رسیده است و از این عمق به پایین، روند عادی دما مشاهده می‌شود. دامنه نوسان دما در ماههای مختلف سال نیز متفاوت است. جدول ۱ میانگین دامنه‌ی نوسان دمای روزانه‌ی دما را در عمق ۵ سانتیمتری برای ماههای سال نشان می‌دهد. چنانکه مشهود است از بهمن تا تیر دامنه‌ی نوسان روزانه افزایش و از مرداد تا بهمن روند کاهشی مشاهده می‌شود.

جدول ۱: دامنه‌ی نوسان روزانه‌ی دما در عمق ۵ سانتیمتری خاک یزد بر حسب سانی گراد

فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۱۶	۱۸	۲۰	۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۳	۱۱	۹	۱۰	۱۴

بررسی کلی نمودارها نشان می‌دهد در ساعت ۶/۵ صبح دمای سطح خاک پایین بوده ولی به سمت اعماق بیشتر تا عمق حدود ۴۰ سانتیمتری افزایش می‌یابد که این امر نشان می‌دهد سرما هنوز به داخل خاک نفوذ نکرده است. در ساعت ۱۲/۵ دمای سطح خاک به شدت افزایش یافته که نشان از گرم شدن سطح خاک به علت تابش زیاد خورشید است اما به سمت عمق خاک تا حدود ۲۰ سانتیمتری دما کاهش می‌یابد و در این عمق به حداقل خود رسیده است. این موضوع نشان‌دهنده‌ی این است که سرمای ۶/۵ صبح اکنون به این عمق خاک رسیده یعنی پس از ۶ ساعت سرما تا عمق ۲۰ سانتیمتری نفوذ می‌کند. در ساعت ۱۸/۵ با کم شدن تابش خورشید، دمای سطحی کاهش می‌یابد اما به طرف درون خاک تا عمق حدود ۱۰ سانتیمتری دما افزایش و از آن عمق به بعد دوباره کاهش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که گرمای ساعت ۱۲/۵ پس از ۶ ساعت اکنون به عمق ۱۰ سانتیمتری رسیده است.

در تمامی طول سال در درون خاک کمترین مقدار دما در عمق ۵ سانتیمتری و در ساعت ۶/۵ صبح رخ داده و حداکثر دما نیز در ماههای آذر و دی در عمق ۱۰۰ سانتیمتری و در بقیه ایام سال در عمق ۵ سانتیمتری در ساعت ۱۲/۵ ظهر اتفاق افتاده است. در ساعت ۶/۵ عصر حداقل دما در شش ماه گرم سال در عمق ۱۰۰ سانتیمتری و در شش ماه سرد سال تقریباً در عمق ۳۰ سانتیمتری اتفاق می‌افتد و حداکثر آن در ماههای سرد سال (آبان، آذر، دی و اوایل بهمن) در عمق ۱۰۰ سانتیمتری و در بقیه ایام سال در عمق ۵ و ۱۰ سانتیمتری می‌باشد.

نتیجه

با بررسی شرایط دمایی خاک در ایستگاه یزد مشخص شد که در عمق ۵ و ۱۰ سانتیمتری حداکثر دما در اوایل تیرماه اتفاق می‌افتد، ولی با افزایش عمق زمان رسیدن به دمای حداکثر به تعویق می‌افتد، بطوری‌که در عمق ۱۰۰ سانتیمتری با یک ماه تأخیر زمانی در اوایل مرداد اتفاق می‌افتد. حداقل دما نیز در سطوح بالاتر (۵، ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری) در اوایل دی‌ماه و در اعماق پایین‌تر بتدریج تا اواخر دی اتفاق می‌افتد. در ماههای گرم سال (فروردین تا شهریور) با افزایش عمق خاک دما کاهش می‌یابد و اختلاف بین دمای اعماق خاک در اوایل تیر به بیشترین مقدار خود می‌رسد، ولی دامنه‌ی تغییرات روزانه‌ی دما کاهش می‌یابد. در ماههای

سرد سال (مهر تا بهمن) هر چه بر عمق خاک افزوده شود دما نیز افزایش می‌یابد و از میزان اختلاف بین دمای اعماق خاک نسبت به تابستان کاسته می‌شود و بر مقدار نوسانات روزانه دما افزوده می‌گردد. بطور کلی لایه‌های سطحی زمین بیشترین نوسان روزانه دما را نشان می‌دهند و این نوسان با افزایش عمق به مرور کاهش می‌یابد. بنابراین اعماق ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتری کمترین دامنه‌ی تغییرات روزانه‌ی دما را دارند و این اعماق در ماههای گرم سال سردتر و در ماههای سرد سال گرمتر از سایر اعماق می‌شوند. چنانکه در مورد زیرزمین‌ها، سرداب‌ها و آب چشمه‌ها نیز این امر مشهود است. معمولاً دامنه‌ی نوسان دمای ماهانه‌ی خاک تا عمق ۴۰ سانتیمتری مشاهده می‌شود و از آنجا به بعد روند عادی دما (کاهشی یا افزایشی) مشاهده می‌گردد. در نتیجه این عمق تقریباً دمای متوسط ماهانه منطقه را نشان می‌دهد. کمترین دمای مشاهده شده در درون خاک در تمام ماههای سال مربوط به عمق ۵ سانتیمتری بوده که نشان از نفوذ سریع دمای سطحی به‌داخل خاک و تأثیرپذیری سریع‌تر لایه‌های بالایی از سطح خاک است اما بیشترین دمای خاک همیشه در سطوح بالای خاک نیست. بطوری‌که عمق ۱۰۰ سانتیمتری در ماههای سرد (آذر و دی) گرمتر از لایه‌های بالایی می‌باشد. دلیل این امر احتمالاً ناشی از سردی زمین در فصل سرد بوده که گرمای روزانه نمی‌تواند تأثیر زیادی در عمق خاک داشته باشد. مجموع موارد نشان از نفوذ بهتر سرما در خاک می‌باشد یعنی موج سرما نسبت به موج گرمایی بهتر در خاک نفوذ می‌کند علت این امر ناشی از طول موج بزرگتر سرما بوده و امواج بلندتر بهتر در خاک نفوذ می‌کنند.

منابع

- ۱- باقری، اعظم (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، علی (۱۳۸۴). بررسی تأخیر زمانی دما در اعماق خاک در ایستگاه شهر کرد، سازمان هواشناسی کشور.
- ۳- بهیار، محمدباقر و همکاران (۱۳۸۰). پیش‌بینی دمای حداقل خاک و روش‌های مبارزه با یخبندان و سرمازدگی در استان چهارمحال و بختیاری، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو.
- ۴- بهیار، محمدباقر و غلامعلی کمالی (۱۳۸۶). رابطه دمای هوا با دمای سطح و اعماق مختلف خاک، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۸۶. مشهد
- ۵- حافظ‌نیا، محمدرضا (۱۳۸۵). مقدمه‌ای بر روش تحقیق در علوم انسانی، چاپ دوازدهم. انتشارات سمت.
- ۶- شرکت کویر جنوب یزد (۱۳۸۷). آزمایشگاه تجزیه خاک، آب و گیاه، نتایج آزمایش خاک.
- ۷- علوی‌پناه، کاظم (۱۳۸۵). سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۸- کاویانی، محمدرضا (۱۳۸۰). میکروکلیماتولوژی، چاپ اول، انتشارات سمت.
- ۹- کاویانی، محمدرضا و بهلول علیجانی (۱۳۸۲). مبانی آب و هواشناسی، چاپ نهم. انتشارات سمت.
- ۱۰- کلانتری، خلیل (۱۳۸۵). پردازش و تحلیل داده‌ها در تحقیقات اجتماعی - اقتصادی با استفاده از نرم‌افزار SPSS، چاپ دوم. انتشارات شریف.
- ۱۱- مهدویان، عبدالرضا (۱۳۸۳). بررسی رابطه بین دمای حداقل زمین و حداقل هوا، سازمان هواشناسی کشور.
- ۱۲- نجفی‌مود، محمدحسین؛ امین‌علی‌زاده؛ آزاده محمدیان و جواد 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) ۲. مشهد.
- 13- Baggs, S.A (1982). Remote prediction of ground temperature in Australian soils and mapping its distribution. Solar Energy. Vol. 30.
- 14- Gaylon, S. C (1985). Soil physics with BASIC: transport models for soil-plant systems. Technology & Engineering. 150 pages.

- 15- 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.
- 16- Mihalakakou, G.(2001). On estimating soil surface temperature profiles. *Energy & Building*. Vol. 34.
- 17- Peng, S, Piao, S, Wang, T, Sun, J, Shen, Z (2009). Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems in China. *Soil Biology & Biochemistry*. Vol. 41.
- 18- Pual, K. I, Polglase, P. J, Smethuret, P. J, O'Connell, A. M, Carlyle, C. J, Khanna, P. K (2004). Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. *Agric. Forest Meteorol*. Vol. 121.
- 19- Thunholm, B (1990). Acomparison of measured and simulated soil temperatures using air temperature and soil surface energy balance as boundery conditions. *Agric. Forest Meteorol*. Vol. 53.

