



## Determining the relationship between air temperature and soil temperature at different depths in Jahrom station

Shahmirzaei Jeshvaghani, S.<sup>1</sup>  | Mazidi, A.<sup>2</sup>  | mohammadi, Y.<sup>3</sup>  | Safari, M.<sup>4</sup> 

1. **Corresponding author**, Master of Hydrology and Meteorology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: [s.shahmirzaei@yahoo.com](mailto:s.shahmirzaei@yahoo.com)
2. Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: [payamyazd@gmail.com](mailto:payamyazd@gmail.com)
3. Master of Hydrology and Meteorology, Fars Meteorological Department, Shiraz, Iran. E-mail: [iau\\_shiraz@yahoo.com](mailto:iau_shiraz@yahoo.com)
4. Master of Hydrology and Meteorology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: [safarimostafa1366@gmail.com](mailto:safarimostafa1366@gmail.com)

(Received: ( 12 Mar 2023, Revised: 26 Apr 2023, Accepted: 3 Sep 2023, Published online: 3 Sep 2023)

### Abstract

The study of soil temperature at different depths is important for climatology (especially at the micro-scale), agriculture and industry, and affects many soil processes. The method used is descriptive-analytical and its purpose is to determine the linear and non-linear relationships of air temperature and temperature depth of 5, 10, 20, 30, 50 and 100 cm during the statistical period of 1386 to 1390 in Jahrom station... Hourly statistics of air temperature and temperature of different soil depths were obtained from Fars Meteorology and linear and non-linear relationships were extracted for each soil depth using regression method. The results showed that based on the correlation coefficient and determination coefficient, linear regression has better results than non-linear relationships and in linear relationships, the correlation coefficient between air temperature and soil depth temperature for all seasons is significant at the 99% level. The highest correlation coefficient in all seasons was usually at the depth of the soil surface, especially at a depth of 5 cm at 18:30 and the lowest correlation coefficient in all seasons was at a depth of 1 meter at 6:30. As the depth increases, the correlation coefficient and determination coefficient have a decreasing trend. The highest range of temperature fluctuations in the soil occurred at 6:30 and at depths of 5 to 20 cm, and the increase in soil temperature compared to the increase in air temperature in spring and autumn is more than in other seasons.

**Keywords:** Air temperature, soil temperature, regression, microclimate, Jahrom.

**Cite this article:** Shahmirzaei jeshvaghani, S., Mazidi, A., Mohammadi, Y., & Safari, M. (2023). Determining the relationship between air temperature and soil temperature at different depths in Jahrom station. *Journal of the Nivar*, 47(120-121), 89-104. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.386671.1241>



## تعیین رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک در ایستگاه جهرم

سعید شاهمیرزائی جشوقانی<sup>۱</sup> | احمد مزیدی<sup>۲</sup> | یاسر محمدی<sup>۳</sup> | مصطفی صفری<sup>۴</sup>

۱. نویسنده مسئول، کارشناس ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، ایران. رایانامه: [s.shahmirzai@yahoo.com](mailto:s.shahmirzai@yahoo.com)

۲. دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، ایران. رایانامه: [payamyazd@gmail.com](mailto:payamyazd@gmail.com)

۳. کارشناس ارشد آب و هواشناسی، اداره کل هواشناسی فارس، شیراز، ایران. رایانامه: [iau\\_shiraz@yahoo.com](mailto:iau_shiraz@yahoo.com)

۴. کارشناس ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، ایران. رایانامه: [safarimostafa1366@gmail.com](mailto:safarimostafa1366@gmail.com)

(دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲)

### چکیده

مطالعه دمای خاک در اعماق مختلف، از نظر اقلیم‌شناسی (به خصوص در مقیاس خرد)، کشاورزی و صنعت مهم می‌باشد و بسیاری از فرایندهای خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. روش مورد استفاده توصیفی-تحلیلی بوده و هدف آن تعیین روابط خطی و غیرخطی دمای هوا و دمای عمق‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری در ساعت‌های ۶:۳۰، ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ طی دوره آماری ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۱ در ایستگاه جهرم می‌باشد. آمار ساعتی دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک از اداره کل هواشناسی استان فارس دریافت شد و با استفاده از روش رگرسیون روابط خطی و غیرخطی برای هر عمق خاک استخراج شد. نتایج نشان می‌دهد روابط خطی در مقایسه با روابط غیرخطی نتایج بهتری از نظر همبستگی و ضریب تبیین داشت و در روابط خطی، ضریب همبستگی بین دمای هوا با دمای اعماق خاک برای همه فصول در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. بیشترین ضریب همبستگی در تمام فصول معمولاً در اعماق سطحی خاک و مخصوصاً در عمق ۵ سانتی‌متری در ساعت ۱۸:۳۰ است و پایین‌ترین ضریب همبستگی در تمام فصول در عمق یک متری و در ساعت ۶:۳۰ بوده است و با افزایش عمق، همبستگی و ضریب تبیین روندی کاهشی دارد. بیشترین دامنه نوسان دمای خاک در ساعت ۶:۳۰ و در عمق‌های ۵ تا ۲۰ سانتی‌متری اتفاق افتاده و افزایش دمای خاک نسبت به افزایش درجه دمای هوا در فصل بهار و پاییز بیشتر از فصول دیگر است.

**کلمات کلیدی:** دمای هوا، دمای خاک، رگرسیون، میکروکلیم، جهرم

### مقدمه

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). دمای خاک نقش کلیدی در اکوسیستم‌های مختلف با تأثیر بر فرآیندهایی مانند پاسخ هیدرولوژیکی خاک، تجمع و تخریب مواد آلی، رشد گیاه، مواد مغذی کانی‌سازی، انتشار کربن، زمان مناسب کاشت و حتی فعالیت میکروارگانیسم‌ها دارد (برار و همکاران، ۱۹۹۲؛ پنگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ هو و همکاران، ۲۰۱۶؛ سیتاک اوغلو، ۲۰۱۷). تغییرات دمای خاک می‌تواند ویژگی‌های خاک

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 قابل‌تأمل است (احمدی و رادمش، 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 تأثیر قرار دهد (گلشن و همکاران، ۱۳۹۳). تغییر دمای خاک ناشی از گرمایش اقلیمی، ممکن است حتی در مواردی منجر به ذوب

همکاران، ۲۰۰۵)، مدل‌های تحلیلی مبتنی بر انتقال حرارت هدایتی (ازجینرو همکاران، ۲۰۱۳؛ کلییل و همکاران، ۲۰۱۵؛ بادیک و همکاران، ۲۰۱۶) و مدل‌های عددی که گرمای پیچیده و انتقال جرم خاک را در نظر می‌گیرند (لیوو همکاران، ۲۰۰۵؛ بلغیت و بنیک، ۲۰۱۴؛ گائوو همکاران، ۲۰۱۶). این سه نوع مدل محدودیت‌های خود را دارند از جمله اینکه معادلات خطی به دلیل ساختار ساده و خطی خود قدرت پیش‌بینی معقولی ندارند، در حالی که استفاده از مدل‌های عددی و تحلیلی به دلیل پیچیدگی و تقاضای بالای داده‌ها دشوار است (سینگ و همکاران، ۲۰۱۸).

هری هارن و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی به تخمین دمای اعماق خاک با استفاده از روش موجک هار پرداختند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که دمای خاک نسبت به تغییرات پارامترهای حرارتی خاک چندان حساس نمی‌باشد و علاوه بر این، استفاده از موجک هار دقیق، ساده، سریع، انعطاف پذیر، راحت، هزینه‌های محاسباتی کوچک و از نظر محاسباتی جذاب است. ازجینرو و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله‌ای با عنوان یک روش عملی برای پیش‌بینی تغییرات درجه حرارت خاک برای تولید انرژی مبدل‌های حرارتی، از پارامترهای تغییرات کوتاه مدت آب و هوا، تغییرات فصلی، رطوبت خاک و هدایت حرارتی خاک استفاده کردند. کایسی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی درجه حرارت خاک یک ایستگاه را با استفاده از درجه حرارت ایستگاه‌های همسایه بدون در نظر گرفتن سایر متغیرها یا پارامترهای مرتبط با خواص خاک ارزیابی کردند. برای این منظور، درجه حرارت خاک در عمق‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک در هشت ایستگاه ترکیه اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که مدل ANN یک مدل توسعه یافته یک پیش‌بینی ساده و دقیق برای تعیین درجه حرارت خاک فراهم می‌کند. علاوه بر این، داده‌های مفقود در ایستگاه مورد مطالعه می‌تواند با دقت بالایی تعیین شود. هو و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به منظور برآورد درجه حرارت دقیق‌تر خاک، در تانگولا از چینگهای تبت دریافتند که مدل انتقال حرارت بهبود یافته در مقایسه با مدل‌های سنتی، پروفیل درجه حرارت خاک را بهتر می‌تواند برآورد کند. باتیر و همکاران

را تغییر دهد و بر این اساس نتایج زیست محیطی قابل توجهی با تغییر در تعادل کرین دارد (قیان و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین اطلاعات در مورد دمای خاک در فرآیندهای تصمیم‌گیری مهم است. دمای خاک با افزایش عمق تغییر می‌کند، اما این تغییر در لایه‌های عمیق‌تر بسیار کوچک‌تر از نزدیک سطح خاک است و بنابراین، ارزیابی دقیق دمای خاک باید در اعماق مختلف انجام شود. به عنوان مثال، دمای خاک در خاک سطحی (کمتر از ۵ سانتی‌متر) بر کاشت بذر تأثیر می‌گذارد، در حالی که اطلاعات مربوط به دمای خاک در عمق ۱۰-۱۵ سانتی‌متر برای پیوند درخت مورد نیاز است (سیتاک اوغلو، ۲۰۱۷). متأسفانه، داده‌های توزیع شده فضایی دمای خاک در بسیاری از مناطق جهان وجود ندارد (هو و همکاران، ۲۰۱۶). زیرا اندازه‌گیری‌های دقیق گران و زمان‌بر هستند (ناپاگودا و تیلاکارانت، ۲۰۱۲). تخمین دمای خاک در همه مناطقی که دارای منابع آب سطحی می‌باشند، به دلیل تأثیرگذاری آن بر روی دریاچه سد، مدلسازی بارش رواناب، عملکرد حوضه رودخانه، مدیریت آب و آبیاری برای محاسبه میزان آب مورد نیاز گیاه و برنامه ریزی آن بسیار مهم است. تخمین دمای خاک ابزار مناسبی برای تعیین تاریخ کشت و کنترل جوانه‌زنی گیاهان است که در بخش کشاورزی دارای اهمیت فراوان است (حسین زاده طلائی، ۲۰۱۴). برای غلبه بر چالش کمی‌سازی دمای خاک برای مناطق بزرگ، محققان بر روی مدل‌سازی و پیش‌بینی دمای خاک با استفاده از تکنیک‌های مختلف متمرکز شده‌اند (ساندور و فودور، ۲۰۱۲). مدل‌سازی دقیق دمای خاک، زمان، هزینه‌ها و نگهداری ابزار را کاهش می‌دهد (ماریاناجی و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر این، بسیاری از عوامل محیطی از جمله متغیرهای هواشناسی (مانند تابش خورشیدی، رطوبت هوا، فشار و دما، بارندگی، ساعات آفتابی و سرعت باد)، شرایط توپوگرافی و عوامل خاک مانند محتوای آب خاک، بافت و پوشش سطحی بر دمای خاک تأثیر می‌گذارند (پاول و همکاران، ۲۰۰۴؛ صمدیان فرد، ۲۰۱۸؛ زین الدین، ۲۰۱۹). از آنجایی که دمای خاک همبستگی قوی با متغیرهای هواشناسی دارد، مدل‌های متعددی بر اساس این روابط توسعه یافته‌اند، مانند مدل‌های خطی (کانگ و همکاران، ۲۰۰۰؛ باند-لامبرتی و

به طوری که در عمق ۱۰۰ سانتی متری در مرداد به کمترین مقدار خود می‌رسد. خوشخو و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی با هدف ارزیابی مدل COUP برای شبیه‌سازی عمق نفوذ یخبندان خاک در ایستگاه سینوپتیک بیجار برای بازه زمانی ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ ابتدا مدل را اجرا کردند سپس با به کارگیری روش برآورد عدم قطعیت درست نمایی تعمیم یافته GLUE مدل را مورد واسنجی قرار دادند. نتایج حاصل از اعتبار سنجی مدل نشان داد که در بیشتر موارد تطابق قابل قبولی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد و مدل توانسته است روند تغییرات داده‌های مشاهداتی را دنبال کند. نورزاده نامقی و همکاران (۱۳۹۴) به منظور ارزیابی مالچ‌های مختلف آلی و غیر آلی بر دما و رطوبت خاک، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بر روی درختان ۲۰ ساله پسته در منطقه‌ی فیض‌آباد محلات استان خراسان رضوی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام دادند. نتایج نشان داد که محتوی رطوبتی تمام تیمارهای مالچ در مقایسه با شاهد افزایش یافت و دما در تیمارهای مالچ پلاستیکی به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سایر تیمارها بالاتر بود و تیمارهای مالچ‌های آلی به‌خصوص چیس چوب باعث کاهش دما در مقایسه با شاهد در عمق ۵۰-۶۰ سانتیمتری خاک شدند. محمدی و فروزانفر (۱۳۹۵) در پژوهشی با توجه به اهمیت تغییر اقلیم و تغییرات درجه حرارت خاک مرتبط با گرمایش جهانی از یک سو و نقش درجه حرارت خاک از سویی دیگر، به بررسی روند تغییرات درجه حرارت اعماق مختلف خاک در دوره آماری (۲۰۰۸-۱۹۹۴) پرداختند. نتایج نشان داد که درجه حرارت در اعماق مختلف و در مکان‌های مختلف دارای روند یکسانی نیست. نصیریان و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر دو دمای مختلف خاک (۲۳ و ۳۳ درجه سانتیگراد) روی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مقدار گلوکز در بافت‌های جوانه و کورم زعفران در طول دوره خواب (تیر تا مهرماه) بررسی کردند. نتایج نشان داد دمای خاک به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مقدار گلوکز را تحت تأثیر قرار داد. در دمای بالای خاک (۳۰ درجه سانتیگراد) آنزیم‌های مورد مطالعه غیرفعال بودند و روند ثابتی در طول آزمایش نشان دادند. مزیدی و همکاران (۱۳۹۷) در

(۲۰۱۷) به منظور اندازه‌گیری و مدل‌سازی تغییرات درجه حرارت خاک و اثرات آن بر پرمافراست در شمال غرب آلاسکا، روند گرمایش زمین را برای یک دوره ۱۰ ساله با استفاده از تعادل دمای عمق اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان داد که تغییرات در عرض جغرافیایی در مناطق قطبی به میزان قابل توجهی موجب گرم شدن کره زمین شده است. ژو و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله‌ای با عنوان کنترل مواد آلی خاک بر روی حرارت خاک پویایی در عرض‌های جغرافیایی بلند شمالی، به بررسی نفوذ حرارتی که یک پارامتر کلیدی در رژیم گرمایی خاک می‌باشد پرداختند. از اندازه‌گیری ماهانه خاص دمای خاک در حدود ۲۰۰ سایت در مناطق با عرض جغرافیایی بالا دریافتند که، در میان خواص خاک آزمایش شده از جمله SOC، بافت خاک، تراکم فله و رطوبت خاک، SOC عامل غالب کنترل تنوع انتشار در سایت‌ها است. ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی با عنوان درک تغییر دمای خاک در اعماق مختلف به بررسی اثرات دمای هوای سطحی، پوشش برف و حافظه خاک بر روی دمای خاک در اعماق مختلف پرداختند. در این مطالعه، اثرات قابل توجهی از دمای سطحی بر روی دمای خاک زیرین پیدا شد و زمان صرف شده برای انتشار به سمت پایین تا ۳۲۰ سانتی‌متر می‌تواند تا ۱۰ ماه باشد. نتایج نشان داد در عمق عمیق‌تر (یعنی ۳۲۰ سانتی‌متر)، اثرات دمای هوا از یک فصل خاص ممکن است از اثرات حافظه خاک (شرایط حرارتی قبلی آن) فراتر رود. در لایه‌های کم‌عمق‌تر (به‌عنوان مثال، >۸۰ سانتی‌متر)، اثرات دمای هوا ممکن است توسط پوشش برف مسدود شود، که منجر به همبستگی ضعیفی بین دمای هوا و دمای خاک می‌شود.

مزیدی و فلاح‌زاده (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای با عنوان روند دمای سالانه‌ی خاک در ایستگاه یزد، داده‌های روزانه‌ی دمای خاک در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتری از سطح زمین در ساعات ۳ و ۹ و ۱۵ گریونیچ در دوره آماری ۵ ساله (۱۳۸۴-۱۳۸۰) را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین دامنه‌ی نوسان روزانه‌ی دما در لایه‌های نزدیک به سطح زمین در عمق ۵ سانتیمتری در ساعت ۶:۳۰ صبح در ماه فروردین می‌باشد که با افزایش عمق پیوسته از مقدار آن کاسته می‌شود

می‌کند و در ارتباط مستقیم با تغییرات دمای سطح و عمق خاک می‌باشد و همچنین به‌خاطر اینکه شهر جهرم یکی از هسته‌های جمعیتی استان فارس می‌باشد و به‌خاطر وضعیت دمایی این منطقه و تأثیر آن بر دمای خاک و به‌تبع آن میزان تبخیر و پروژدهای صنعتی موجود در منطقه مورد مطالعه مانند عبور خط لوله انتقال گاز و آب از این منطقه و لوله کشی آب شهری از دمای خاک تأثیر می‌پذیرند و نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌تواند مسئولان و کشاورزان را در انتخاب نوع کشت، زمان کشت، شیوه‌های آبیاری و استفاده از ابزارهای صنعتی متناسب با وضعیت دمایی این منطقه یاری رساند. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند کشاورزان و مسئولان را در اتخاذ تصمیمات بهتر برای پیشبرد اهداف و رفع مشکلات یاری کند.

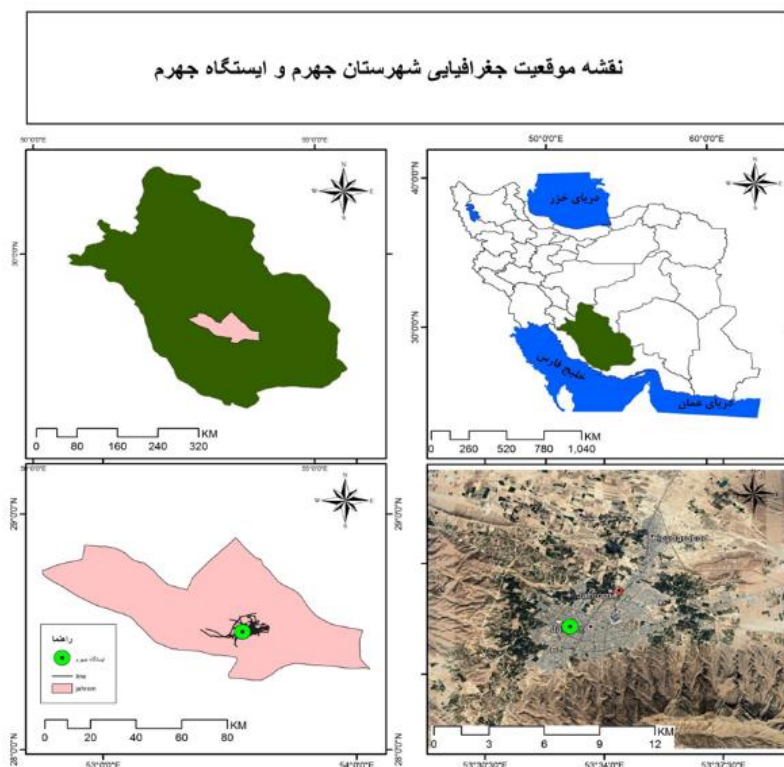
## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه

منطقه مورد مطالعه، شهرستان جهرم واقع در نیمه جنوبی استان فارس می‌باشد. این منطقه بین عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴ دقیقه شرقی قرار گرفته است. شهرستان جهرم منطقه‌ای نیمه کوهستانی به مساحت ۳۹۲۵ کیلومتر مربع است. ارتفاع متوسط مرکز این شهرستان حدود ۱۰۵۰ متر است. از نظر آب و هوا، جهرم در منطقه نیمه خشک گرم قرار گرفته و آب و هوای آن گرم و در نواحی کوهستانی معتدل است. میانگین میزان بارندگی در جهرم حدود ۲۸۵ میلی‌متر در سال می‌باشد. درجه حرارت متوسط سالیانه این شهر ۲۰/۶ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال، دی‌ماه با میانگین درجه حرارت ۹/۵ درجه سانتی‌گراد و گرم‌ترین ماه سال، تیرماه با میانگین ۳۱/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این منطقه یکی از قطب‌های کشاورزی در استان فارس است. ایستگاه جهرم در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۰۸۲ متری از سطح دریا قرار گرفته است (شکل ۱).

مقاله‌ای با عنوان تعیین رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک در ایستگاه آباد به بررسی روابط دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک از روش رگرسیون و همبستگی به‌صورت فصلی پرداختند. نتایج حاصل از آن نشان داد که ضریب همبستگی دمای هوا و دمای اعماق خاک و نیز تمام اعماق نسبت به هم برای تمام فصول و در ایستگاه مورد مطالعه در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عمق خاک مقدار این ضریب و نیز ضریب تعیین کاهش می‌یابد. منصوری فرید (۱۳۹۸) در پژوهشی با عنوان پیش‌بینی تغییرات دمای خاک در اعماق مختلف نسبت به دمای هوا و بررسی پخش حرارت در عمق خاک پرداختند. اهداف تحقیق شامل اصلاح رابطه کوزودا به‌عنوان یک روش ساده جهت پیش‌بینی دمای خاک در عمق با رگرسیون غیر خطی و آنالیزهای آماری، مدل سازی عددی پخش حرارت در خاک، پیش‌بینی تغییرات دمای خاک در عمق و بازه‌های زمانی مختلف با استفاده از الگوریتم‌های شبیه‌سازی، می‌باشد. آتش پرور و شمس نیا (۱۴۰۰) در مقاله‌ای به برآورد میانگین مکانی دمای خاک در عمق‌های مختلف با استفاده از داده‌های هواشناسی در ایستگاه‌های کشاورزی استان فارس پرداختند. در تحقیق حاضر با استفاده از روابط همبستگی بین پارامترهای مختلف هواشناسی و دمای خاک در پنج ایستگاه کشاورزی در شهرستان‌های مختلف استان فارس در عمق‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتری، معادلاتی کاربردی جهت تخمین دمای خاک ماهانه تعیین گردید. مطالعه‌ای که بر روی نتایج کار محققان صورت گرفت نشان داد که اکثر محققان از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش‌های آماری در پژوهش خود استفاده کرده‌اند. این بیانگر کارآمد بودن روش‌های آماری و معادلات رگرسیونی در بررسی دمای خاک است.

هدف از این تحقیق بررسی رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک در ایستگاه جهرم است. این منطقه یکی از قطب‌های کشاورزی در استان فارس است. مهم‌ترین محصولات کشاورزی در این منطقه شامل درختان خرما و مرکبات می‌باشد که ریشه آنها تا اعماق بیشتر از یک متر خاک نفوذ



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور ایران و استان فارس

## داده‌ها

پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک در ایستگاه جهرم طی دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۲۱ انجام شد. این ایستگاه از نوع سینوپتیک تکمیلی اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی جهرم می‌باشد. ابتدا برای این پژوهش داده‌های مورد نیاز از اداره کل هواشناسی استان دریافت گردید. برای بررسی رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک از داده‌های دمای اندازه‌گیری شده (دمای هوا و دمای اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک به شکل ساعتی (ساعت‌های ۶:۳۰، ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰) و روزانه از ابتدای سال ۲۰۰۷ تا انتهای سال ۲۰۲۱ میلادی و برای یک دوره ۱۵ ساله در ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه، استفاده شد. جهت انجام تحلیل‌های آماری و ترسیم شکل‌ها و جداول مورد نیاز، داده‌های روزانه و ساعتی ثبت شده در منطقه مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار اکسل مرتب شد و برای بررسی همبستگی و روابط خطی و غیر خطی دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک از روش رگرسیون خطی و غیرخطی و همبستگی پیرسون در

نرم‌افزار spss استفاده گردید و نتایج آن به صورت جداولی ارائه شد و مورد تحلیل قرار گرفت.

## نتایج و بحث

جهت مطالعه رابطه دمای هوا و دمای اعماق متفاوت خاک در ایستگاه جهرم طی دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۱ میلادی و برای زمان‌های ۶:۳۰، ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ از روش رگرسیون خطی و همبستگی به شکل فصلی استفاده گردیده است. با توجه به اینکه داده‌ها از نوع کمی و فاصله‌ای هستند برای بررسی همبستگی، از همبستگی پیرسون و برای به دست آوردن معادلات مربوط به هر عمق از رگرسیون خطی و برای بررسی سطح معناداری روابط از آماره significant استفاده شد. ضریب‌های همبستگی و معادله رگرسیون خطی برای دمای هوا و اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک توسط تحلیلگر SPSS محاسبه گردید و به صورت طبقه بندی شده در جداول ۱ تا ۴ آورده شد. در روابط زیر متغیر Y نشان‌دهنده دمای اعماق خاک (متغیر وابسته) و متغیر X نشان‌دهنده دمای هوا (متغیر مستقل) می‌باشد.

جدول ۱. روابط خطی بین دمای هوا و دمای اعماق خاک در فصل بهار دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۲۱

ساعت ۱۸:۳۰			ساعت ۱۲:۳۰			ساعت ۶:۳۰			عمق (cm)
R <sup>2</sup>	R	معادله	R <sup>2</sup>	R	معادله	R <sup>2</sup>	R	معادله	
0.888	0.943	Y = -1.295+1.175X	0.829	0.910	Y = -2.704+1.187X	0.840	0.917	Y = 4.921+0.956X	5
0.878	0.937	Y = 3.143+0.950X	0.855	0.924	Y = 0.777 + 0.876X	0.806	0.898	Y = 7.283+0.992X	10
0.848	0.921	Y = 3.867+0.813X	0.846	0.920	Y = -0.041+0.822X	0.746	0.864	Y = 9.697+0.951X	20
0.838	0.915	Y = 2.942+0.780X	0.831	0.912	Y = 0.436+0.802X	0.734	0.857	Y = 10.713+0.913X	30
0.815	0.903	Y = 3.285+0.746X	0.808	0.899	Y = 1.588+0.765X	0.705	0.840	Y = 11.227+0.872X	50
0.736	0.858	Y = 5.057+0.629X	0.720	0.849	Y = 3.735+0.639X	0.660	0.812	Y = 11.474+0.738X	100

جدول ۲. روابط خطی بین دمای هوا و دمای اعماق خاک در فصل تابستان دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۲۱

ساعت ۱۸:۳۰			ساعت ۱۲:۳۰			ساعت ۶:۳۰			عمق (cm)
R <sup>2</sup>	R	معادله	R <sup>2</sup>	R	معادله	R <sup>2</sup>	R	معادله	
0.688	0.829	Y = 9.269+0.913X	0.430	0.655	Y = 6.188+0.959X	0.717	0.847	Y = 12.099+0.698X	5
0.521	0.722	Y = 17.001+0.623X	0.493	0.702	Y = 8.632 + 0.709X	0.638	0.799	Y = 19.952+0.515X	10
0.560	0.748	Y = 20.270+0.426X	0.477	0.691	Y = 13.069+0.539X	0.530	0.728	Y = 25.199+0.371X	20
0.466	0.683	Y = 21.563+0.347X	0.465	0.682	Y = 15.959+0.466X	0.469	0.685	Y = 27.123+0.303X	30
0.405	0.637	Y = 24.321+0.264X	0.364	0.603	Y = 20.474+0.354X	0.425	0.652	Y = 28.711+0.237X	50
0.024	0.155	Y = 30.104+0.067X	0.025	0.159	Y = 29.182+0.087X	0.049	0.221	Y = 30.756+0.075X	100

جدول ۳. روابط خطی بین دمای هوا و دمای اعماق خاک در فصل پاییز دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۲۱

عمق (cm)	ساعت ۶:۳۰			ساعت ۱۲:۳۰			ساعت ۱۸:۳۰		
	R <sup>2</sup>	R	معادله	R <sup>2</sup>	R	معادله	R <sup>2</sup>	R	معادله
5	0.852	0.923	Y=4.240+1.057X	0.916	0.957	Y=-3.810+1.183X	0.916	0.957	Y=0.138+1.174X
10	0.779	0.883	Y=8.037+1.058X	0.883	0.940	Y=-2.456+0.973X	0.903	0.950	Y=2.219+1.081X
20	0.708	0.842	Y=11.250+1.010X	0.861	0.928	Y=-1.245+0.911X	0.878	0.937	Y=3.228+0.959X
30	0.672	0.820	Y=13.127+0.941X	0.858	0.926	Y=0.632+0.879X	0.857	0.926	Y=4.152+0.899X
50	0.654	0.809	Y=14.946+0.873X	0.848	0.921	Y=3.412+0.816X	0.835	0.914	Y=6.440+0.832X
100	0.593	0.770	Y=18.116+0.699X	0.780	0.883	Y=8.760+0.663X	0.756	0.870	Y=11.375+0.671X

جدول ۴. روابط خطی بین دمای هوا و دمای اعماق خاک در فصل زمستان دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۲۱

عمق (cm)	ساعت ۶:۳۰			ساعت ۱۲:۳۰			ساعت ۱۸:۳۰		
	R <sup>2</sup>	R	معادله	R <sup>2</sup>	R	معادله	R <sup>2</sup>	R	معادله
5	0.761	0.873	Y=4.189+0.736X	0.791	0.889	Y=0.323+0.917X	0.878	0.937	Y=2.154+0.914X
10	0.622	0.788	Y=7.447+0.611X	0.727	0.852	Y=1.091+0.704X	0.850	0.922	Y=3.936+0.793X
20	0.475	0.689	Y=10.006+0.489X	0.668	0.817	Y=2.936+0.557X	0.786	0.886	Y=4.574+0.647X
30	0.400	0.633	Y=11.298+0.413X	0.641	0.801	Y=4.586+0.499X	0.718	0.847	Y=5.659+0.529X
50	0.323	0.569	Y=12.628+0.318X	0.567	0.753	Y=7.144+0.405X	0.606	0.778	Y=7.864+0.412X
100	0.125	0.353	Y=14.546+0.150X	0.325	0.570	Y=11.360+0.229X	0.324	0.569	Y=11.809+0.234X

در فصل بهار (جدول ۱) دمای اعماق مختلف خاک و دمای هوا نسبت به هم همبستگی بالایی دارند و در سطح ۹۹ درصد معنی دار است. میزان همبستگی در ساعت‌های ۶:۳۰ و ۱۸:۳۰ هرچه از عمق ۵ سانتی متری به ۱۰۰ سانتی متری برویم کمتر شده ولی در ساعت ۱۲:۳۰ همبستگی دمای هوا با دمای عمق ۱۰ سانتیمتری بیشتر از عمق ۵ سانتیمتری خاک شده و بعد دوباره

روند کاهشی به خود گرفته است. بالاترین ضریب همبستگی ۰/۹۴ و در عمق ۵ سانتی متری و ساعت ۱۸:۳۰ و ضریب تبیین ۰/۸ می‌باشد و این نشان خواهد داد که دمای هوا و دمای خاک در این عمق همبستگی بالایی با یکدیگر دارند. همه معادلات در جدول ۱ با مقدار  $\text{sig}=0/000$  در سطح ۹۹ درصد معنی دار بودند. با استفاده از معادله مربوطه در عمق ۵ سانتیمتری و در



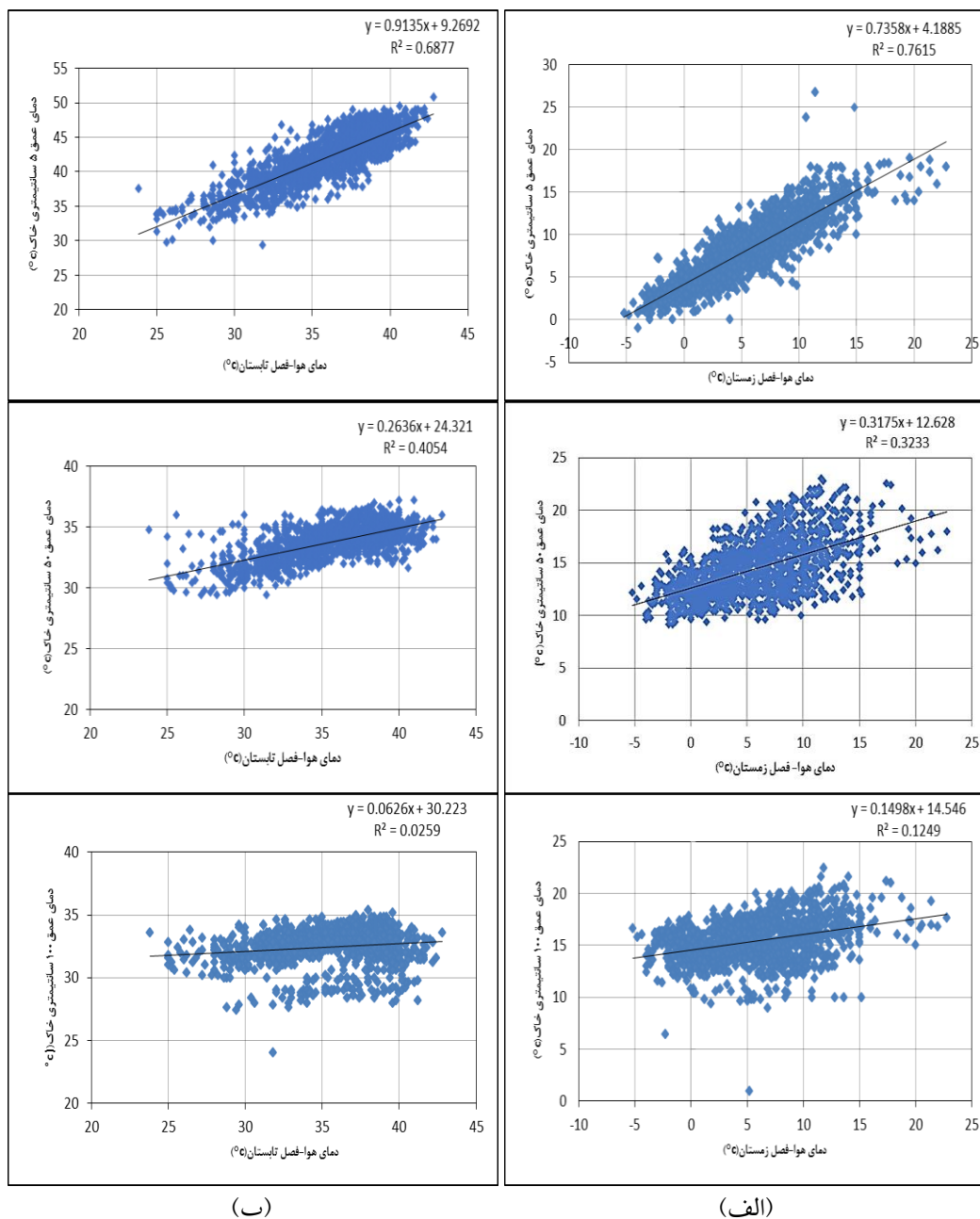
تأثیرپذیرند. پایین‌ترین ضریب همبستگی  $0/770$  در عمق  $100$  سانتی متری خاک و در ساعت  $6:30$  با ضریب تبیین  $0/593$  بوده است و طبق معمول همبستگی کمی در این عمق برقرار است. در فصل زمستان (جدول ۴) هم همبستگی خوبی در سطح  $99$  درصد بین دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک مشاهده می‌گردد و با افزایش عمق از  $5$  سانتی متر به  $100$  سانتی متری میزان ضریب همبستگی کمتر و کمتر خواهد شد. بالاترین ضریب همبستگی  $0/937$  در عمق  $5$  سانتی متری در ساعت  $18:30$  با ضریب تبیین  $0/878$ ، بوده به طوری که به ازای هر درجه افزایش دمای هوا، دمای عمق  $5$  سانتیمتری خاک  $0/914$  درجه افزایش می‌یابد و این نشان می‌دهد در فصل زمستان بیشترین تأثیر دمای هوا بر عمق  $5$  سانتیمتری خاک می‌باشد. همه معادلات در سطح  $99$  درصد معنی دار بودند. کمترین همبستگی  $0/353$  در عمق  $100$  سانتی متری در ساعت  $6:30$  با ضریب تبیین  $0/125$  می‌باشد که بیانگر تأثیر کم دمای هوا بر دمای خاک در این عمق می‌باشد به طوری که دمای خاک به ازای هر درجه افزایش دمای هوا،  $0/150$  درجه بالا خواهد رفت.

با توجه به اینکه در این پژوهش، هدف تعیین رابطه دمای هوا با دمای اعماق مختلف خاک در ایستگاه مورد مطالعه می‌باشد و چون یکی از پیش فرض‌های برخی آزمون‌های آماری (مانند همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی) خطی بودن رابطه متغیرها با یکدیگر است، در نتیجه قبل از اجرای این آزمون‌ها باید از خطی بودن رابطه متغیرها مطمئن شد. یکی از روش‌های پرکاربرد برای بررسی خطی بودن رابطه، استفاده از نمودار پراکندگی است. به همین منظور ابتدا برای نمونه، نمودار پراکندگی برای عمق‌های  $5$ ،  $50$  و  $100$  سانتیمتری و در فصل زمستان و ساعت  $6:30$  (شکل ۳- الف) و تابستان و ساعت  $18:30$  (شکل ۳- ب) ترسیم شد و مورد بررسی قرار گرفت.

ساعت  $18:30$ ، به اندازه هر درجه افزایش دمای هوا، دمای خاک در این عمق  $1/175$  درجه زیاد می‌شود و پایین‌ترین ضریب همبستگی  $0/812$  در عمق یک متری و در ساعت  $6:30$  با ضریب تبیین  $0/660$  خواهد بود. و این نشانگر تأثیر پایین دمای هوا بر دمای خاک در این عمق است. به این صورت که دمای خاک برای هر درجه افزایش دمای هوا،  $0/738$  افزایش می‌یابد.

در فصل تابستان (جدول ۲) دمای اعماق مختلف خاک و دمای هوا نسبت به هم همبستگی بالایی دارند و در سطح  $99$  درصد معنی دار هستند. روند کلی همبستگی به این صورت می‌باشد که با افزایش عمق خاک، میزان همبستگی کاهش می‌یابد ولی فقط در ساعت  $12:30$  و عمق  $10$  سانتیمتری و همچنین در ساعت  $18:30$  و عمق  $20$  سانتیمتری ناهنجاری مشاهده می‌شود و همبستگی به جای کاهش، افزایش پیدا کرده است. همه معادلات در جدول ۲ با مقدار  $sig=0/000$  در سطح  $99$  درصد معنی دار بودند. بیشترین همبستگی در عمق  $5$  سانتیمتری و ساعت  $6:30$  با مقدار  $0/847$  و ضریب تبیین  $0/717$ ، اتفاق افتاده است و بر طبق معادله مربوطه برای هر درجه افزایش دمای هوا، دمای خاک  $0/698$  درجه بالا می‌رود. پایین‌ترین همبستگی  $0/155$  در عمق  $100$  سانتی متری و در ساعت  $18:30$  می‌باشد.

در فصل پاییز (جدول ۳) دمای هوا و دمای عمق‌های مختلف خاک همبستگی بالایی داشته به نحوی که در سطح  $99$  درصد معنی دار هستند و تحقیقات نشانگر این موضوع است که هرچه به اعماق خاک برویم ضریب همبستگی و ضریب تبیین کاهش می‌یابد و هیچ‌گونه ناهنجاری در این روند مشاهده نمی‌شود. بالاترین ضریب همبستگی  $0/957$  و در عمق  $5$  سانتی متری و به طور مشترک در ساعت‌های  $12:30$  و  $18:30$  می‌باشد. همه روابط رگرسیونی در این فصل هم در سطح  $99$  درصد معنی دار بودند و نشان می‌دهد که این دو فاکتور نسبت به همدیگر



شکل ۲. نمودار پراکنش دمای هوا با دمای خاک در عمق‌های ۵، ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتری الف- در فصل زمستان و در ساعت ۶:۳۰ و ب- در فصل تابستان و در ساعت ۱۸:۳۰

دمای هوا با دمای عمق ۱۰۰ سانتیمتری خاک وجود دارد و دقت پیش‌بینی بالا نیست. بنابراین هرچه به عمق خاک اضافه می‌شود از شیب خط و همبستگی (R) و ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) کاسته شده و رابطه بین دمای هوا و دمای اعماق خاک ضعیف‌تر می‌شود و تأثیر دمای هوا بر روی دمای خاک کمتر شده ولی همه نمودارها همبستگی و رابطه خوبی را بین دمای هوا و دمای خاک نشان دادند (شکل ۲). برای بررسی بیشتر و مقایسه نتایج روابط خطی با روابط غیرخطی و برای اینکه مشخص شود کدام نوع رابطه ضریب تبیین و در نتیجه قدرت پیش‌بینی بهتری برای دمای

با توجه به شکل (۲) و مشاهده شیب خط رگرسیون و ضریب تبیین و تمرکز نقاط در هر نمودار، ملاحظه می‌شود که بین متغیر مستقل (دمای هوا) و متغیر وابسته (دمای عمق خاک) و در دو فصل زمستان و تابستان و برای نمونه در عمق‌های ۵، ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتری، رابطه خطی و در جهت مثبت وجود دارد. هر چند در بعضی از عمق‌های خاک (مثلاً در عمق ۱۰۰ سانتیمتری) و در فصل تابستان ساعت ۱۸:۳۰، شیب خط رگرسیون و ضریب تبیین به حداقل خود رسیده است و نقاط تمرکز خوبی در اطراف خط رگرسیون ندارند و نشان می‌دهد احتمالاً رابطه ضعیفی بین

اعماق مختلف خاک دارد، روابط غیرخطی بین دمای هوا با دمای اعماق مختلف خاک نیز بررسی شد. برای جلوگیری از زیاد شدن حجم مطالب و با توجه به اینکه نتایج روابط غیرخطی با روابط خطی اختلاف زیادی نداشته است، فقط برای عمق‌های ۵ و ۵۰ سانتیمتری و در دو فصل زمستان و تابستان، روابط غیرخطی بررسی شد.

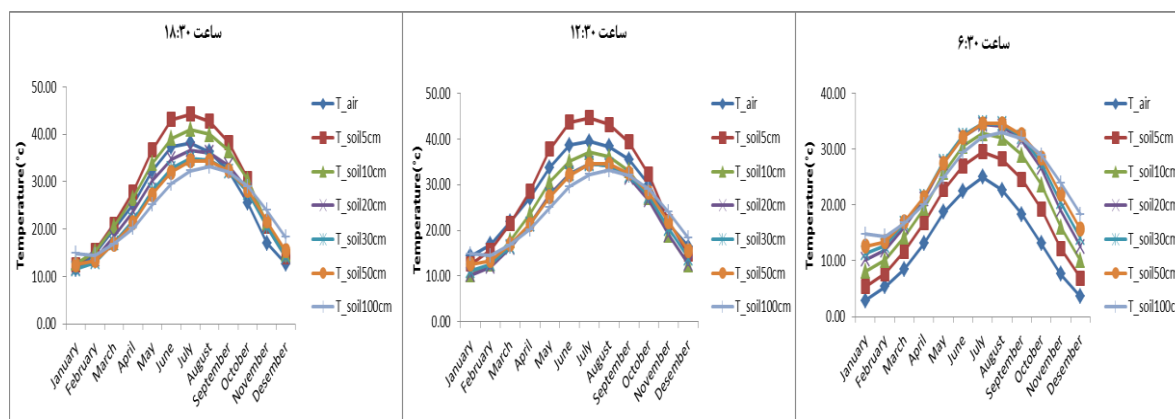
جدول ۵. بررسی معناداری روابط غیرخطی برای عمق‌های ۵ و ۵۰ سانتیمتری

ساعت ۱۸:۳۰			ساعت ۱۲:۳۰			ساعت ۶:۳۰			تابع	فصل	عمق
sig	R <sup>2</sup>	F	sig	R <sup>2</sup>	F	sig	R <sup>2</sup>	F			
0.000	0.878	9688.55	0.000	0.79	5100.73	0.000	0.76	4299.98	خطی	زمستان	۵
0.000	0.800	5399.11	0.000	0.70	3209.32	-	-	-	لگاریتمی		
0.000	0.884	5136.00	0.000	0.80	2697.63	0.000	0.76	2178.71	درجه ۲		
0.000	0.848	7522.26	0.000	0.7۱	3291.17	-	-	-	توانی		
0.000	0.6۹	3031.86	0.000	0.43	1035.75	0.000	0.7۲	3483.11	خطی	تابستان	
0.000	0.68	2954.46	0.000	0.43	1047.62	0.000	0.7۲	3512.40	لگاریتمی		
0.000	0.6۹	1518.23	0.000	0.43	527.74	0.000	0.72	1776.92	درجه ۲		
0.000	0.69	3107.04	0.000	0.43	1041.88	0.000	0.74	3924.24	توانی		
0.000	0.606	2067.27	0.000	0.57	1761.38	0.000	0.323	640.80	خطی	زمستان	۵۰
0.000	0.512	1411.88	0.000	0.47	1193.75	-	-	-	لگاریتمی		
0.000	0.646	1226.00	0.000	0.6۱	1049.32	0.000	0.32	321.89	درجه ۲		
0.000	0.515	1431.60	0.000	0.47	1206.88	-	-	-	توانی		
0.000	0.405	938.97	0.000	0.36	786.518	0.000	0.4۳	1018.64	خطی	تابستان	
0.000	0.407	946.28	0.000	0.37	808.10	0.000	0.44	1104.57	لگاریتمی		
0.000	0.409	476.27	0.000	0.385	430.61	0.000	0.460	585.15	درجه ۲		
0.000	0.414	974.09	0.000	0.377	833.05	0.000	0.4۵	1108.44	توانی		

و در فصل زمستان بهترین رابطه، رابطه خطی و برای فصل تابستان، رابطه غیرخطی توانی مناسب تر می‌باشد. در حالت کلی با توجه به اختلاف اندک سطح معناداری و ضریب تبیین بین روابط خطی با انواع روابط غیرخطی، کاربرد روابط خطی برای پیش‌بینی دمای اعماق مختلف خاک از روی دمای هوا برای ایستگاه جهرم مناسب تر می‌باشد. با توجه به داده‌های موجود و با

با توجه به جدول ۵ و مقدار Sig=0.000، همه روابط خطی و غیرخطی برای هر دو فصل و در زمان‌های ۶:۳۰، ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ در سطح ۹۹ درصد معنی دار هستند. بر طبق جدول ۵، با توجه به ضریب تبیین و آماره F برای عمق ۵ سانتیمتری در فصل زمستان و در هر سه زمان مورد نظر، بهترین رابطه، رابطه خطی و در فصل تابستان، رابطه غیرخطی توانی می‌باشد. برای عمق ۵۰ سانتیمتری

استفاده از نمودار خطی به بررسی تغییرات ماهانه دمای اعماق مختلف خاک و دمای هوا در ساعت‌های ۶:۳۰، ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ در دوره آماری ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۱ اقدام گردید.

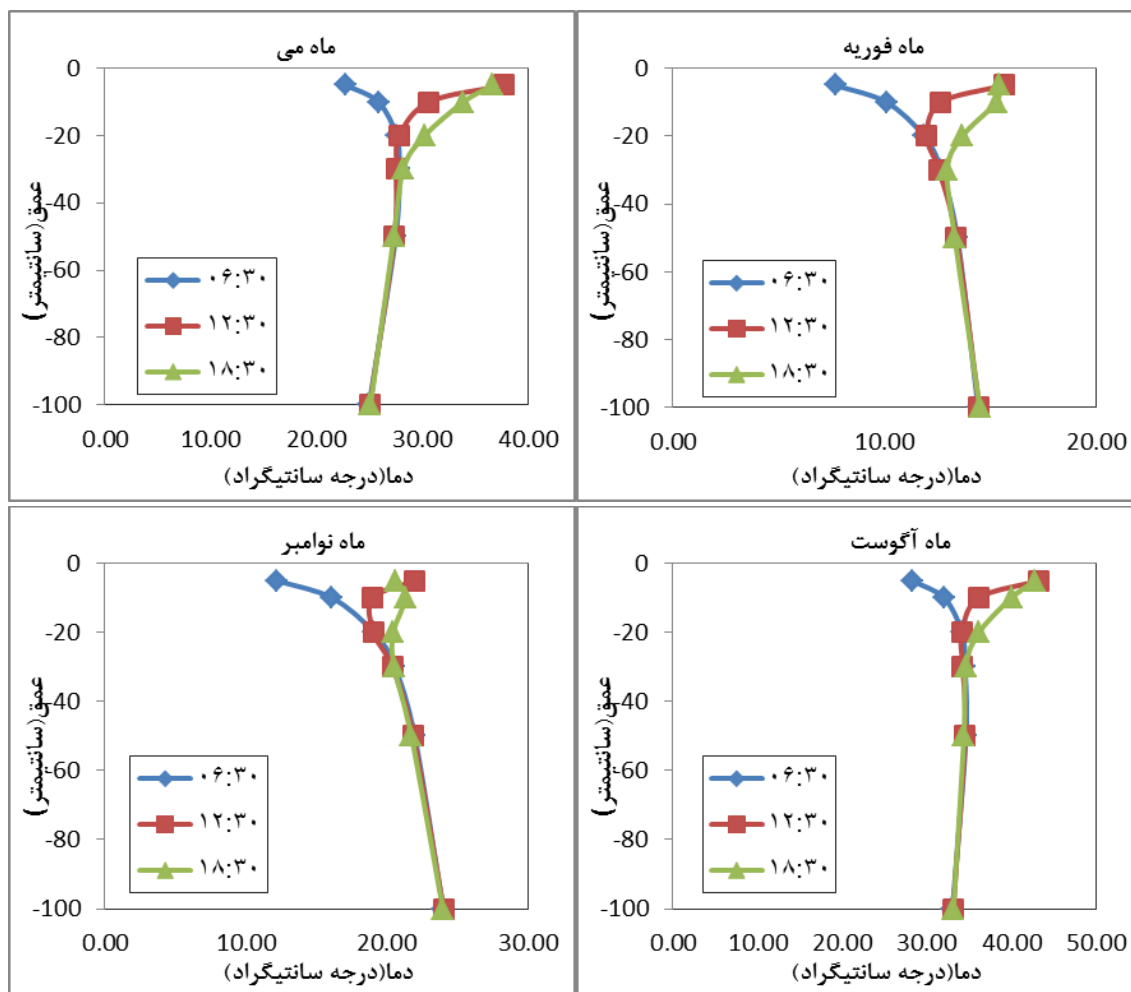


شکل ۳. تغییرات ماهانه دمای اعماق مختلف خاک در ایستگاه جهرم دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۲۱

اعماق دارد. ولی در ساعت‌های ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ عمق ۵ سانتیمتری چون در مقابل تابش خورشید و هوای گرم مجاور قرار گرفته، بیشترین دما و عمق ۱۰۰ سانتیمتری کمترین دما را در طول ماه‌های مختلف دارد. دلیل این امر احتمالاً به این خاطر است که سرمای شبانگاه و صبحگاهی برای اینکه به داخل خاک نفوذ کنند مدت زمانی طول می کشد لذا هنوز این سرما نتوانسته به اعماق خاک نفوذ نماید اما با تابش خورشید و گرم شدن سطح زمین گرمای هوا نیز مدتی نیاز دارد تا به داخل خاک نفوذ نماید. با غروب خورشید و سرد شدن سطح زمین درون خاک هنوز گرم است به طوری که عمق ۵ و ۱۰ سانتیمتری در ساعت ۱۸:۳۰ گرمتر از دمای هوا می باشند. به عبارتی گرمای ظهر به این اعماق نفوذ کرده است.

برای بررسی تغییرات دمای اعماق مختلف خاک در ساعت‌های ۶:۳۰، ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ برای چهار ماه که تغییرات محسوس تر بود و به نمایندگی از چهار فصل سال ماه‌های فوریه، می، آگوست و نوامبر انتخاب شدند و نمودارهای مربوطه ترسیم شد.

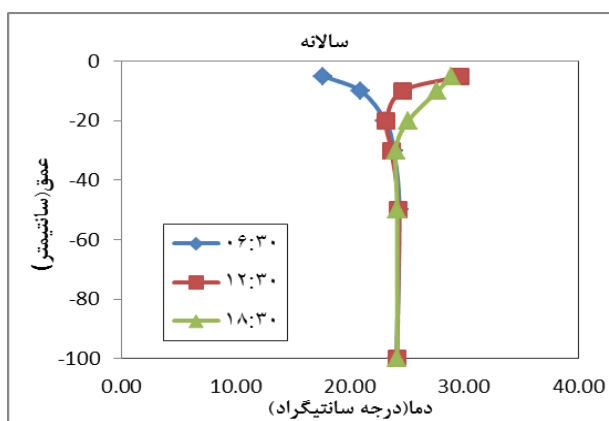
بر اساس شکل ۳، در ماه‌های سرد سال یعنی در فصل زمستان و پاییز و به ترتیب در سمت چپ و راست نمودارهای بالا اختلاف دمای سطح با عمق خاک کم می‌باشد اما در ماه‌های گرم و مخصوصاً در ساعت‌های ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ این اختلاف بیشتر شده است به طوری که حتی دمای عمق ۵ سانتیمتری از دمای هوا بیشتر شده که این مورد به دلیل جنس خاک منطقه مورد نظر در جذب انرژی خورشید و دمای ویژه خاک می‌باشد. در ساعت ۶:۳۰ در همه ماه‌ها، دمای اعماق مختلف خاک بیشتر از دمای هوا بوده و عمق ۵ سانتیمتری چون کمترین فاصله را از سطح زمین داشته، کمترین اختلاف را با دمای هوا و عمق ۱۰۰ سانتیمتری خاک بیشترین دما را در طول ماه‌های مختلف و بیشترین اختلاف را با دمای هوا در این ساعت دارد. شرایط دمایی عمق ۱۰۰ سانتیمتری نشان می دهد که در ماه‌های سرد سال، سرما معمولاً به این عمق کمتر نفوذ کرده و شرایط میانگین دمایی بالاتری را نسبت به بقیه اعماق خاک نشان می دهد به طوری که عمق ۱۰۰ سانتیمتری دمای بالاتری نسبت به بقیه



شکل ۴. تغییرات دمای عمق‌های خاک در ایستگاه جهرم در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۰۷

ابتدا دمای خاک کاهش و بعد افزایش یافته‌است. در ماه نوامبر و ساعت ۱۸:۳۰ ابتدا در فاصله ۵ تا ۱۰ سانتیمتری، دمای خاک افزایش یافته و بعد بین عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتری، دمای خاک کاهش یافته و بعد از آن تا عمق ۱۰۰ سانتیمتری دمای خاک روند افزایشی به خود گرفته‌است. نکته جالبی که با کمی دقت در شکل شماره ۴ مشاهده شد این است که در هر چهار ماه و در هر سه زمان مورد نظر و از عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتیمتری، دمای یکسان می‌باشد و نمودارها بر هم منطبق شده‌اند. این نشان می‌دهد که دامنه نوسان روزانه دمای ماه‌های مختلف در سطح خاک زیاد و به تدریج کاهش یافته به طوری که در عمق ۳۰ سانتی متری خاک به صفر رسیده‌است و دمای این عمق تقریباً متوسط دمای روزانه می‌باشد. نتایج و تحلیل این شکل‌ها همچنین نشان می‌دهد که طول موج بلند (سرما) نسبت به طول موج کوتاه (گرما) بهتر و سریع‌تر در خاک نفوذ می‌کند.

مطابق شکل ۴ در ماه فوریه در ساعت ۶:۳۰ هر چه از سطح به عمق می‌رویم به تدریج دمای خاک افزایش می‌یابد به طوری که از عمق ۵ تا ۲۰ سانتیمتری این افزایش محسوس‌تر بوده ولی از عمق ۲۰ تا ۱۰۰ سانتیمتری این افزایش دما کمتر شده‌است ولی در ساعت‌های ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ به ترتیب تا عمق ۲۰ و ۳۰ سانتیمتری ابتدا دما کاهش یافته و بعد از آن دما افزایش پیدا کرده‌است و از عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتیمتری، دمای خاک در هر سه زمان مورد نظر یکسان بوده‌است. در ماه می و ساعت ۶:۳۰ و تا عمق ۳۰ سانتیمتری، دمای خاک افزایش یافته و از ۳۰ تا ۱۰۰ سانتیمتری کاهش یافته‌است ولی در ساعت‌های ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ هر چه از سطح به عمق برویم، دما کاهش می‌یابد. در ماه آگوست هم تقریباً تغییرات دمای اعماق خاک شبیه ماه می بوده‌است. در ماه نوامبر و ساعت ۶:۳۰ از سطح به عمق به تدریج دمای خاک افزایش یافته ولی در ساعت ۱۲:۳۰ تا عمق ۱۰ سانتیمتری،



شکل ۵. تغییرات دمای عمق‌های خاک در ایستگاه چهارم برای متوسط سالانه در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۰۷

متری در ساعت ۱۸:۳۰ می‌باشد به طوری که بیشترین همبستگی و ضریب تبیین در بین همه فصول در فصل پاییز در عمق ۵ سانتیمتری و به طور مشترک در ساعت‌های ۱۸:۳۰ و ۱۲:۳۰ و به میزان ۰/۹۵۷ می‌باشد و کمترین ضریب همبستگی و ضریب تبیین نیز در تمام فصول در عمق یک متری و معمولاً در ساعت ۶:۳۰ است. کمترین همبستگی در فصل تابستان و در عمق یک متری و ساعت ۱۸:۳۰ به میزان ۰/۱۵۵ بوده است. ضریب تبیین در تمام فصول سال و در عمق یک متری خاک کمتر از دیگر اعماق بوده که این نشان دهنده تأثیر اندک دمای هوا بر دمای خاک در این عمق می‌باشد. بیشترین ضریب تبیین و در نتیجه بیشترین تأثیرگذاری دمای هوا بر دمای خاک در فصل پاییز و عمق ۵ سانتیمتری و ساعت‌های ۱۸:۳۰ و ۱۲:۳۰ اتفاق افتاده است. مطابق شکل ۴ در این پژوهش، مزیدی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی که در ایستگاه یزد انجام دادند به نتایج مشابهی رسیدند و مشخص شد بیشترین دامنه نوسان دما در ساعت ۶:۳۰ و در اعماق سطحی خاک (در این پژوهش ۵ تا ۲۰ سانتیمتری) اتفاق افتاده است و از عمق ۳۰ تا ۱۰۰ سانتیمتری دما تغییرات محسوسی نداشته است. آتش‌پرور و شمس‌نیا (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای که بر روی ۵ ایستگاه در استان فارس انجام دادند، به نتایج مشابه با این پژوهش رسیدند (مطابق جداول ۱ تا ۴) که هر چه به عمق خاک اضافه شود از همبستگی و ضریب تبیین بین دمای هوا با دمای اعماق خاک کاسته می‌شود. با توجه به نتایج و معادلات به دست آمده برای ایستگاه چهارم در استان فارس، در کل روابط خطی نتایج بهتری داشته و می‌توان از معادلات به دست آمده برای

مطابق شکل ۵ و در مقیاس سالانه و در ساعت ۶:۳۰، از عمق ۵ تا ۳۰ سانتیمتری دمای خاک افزایش داشته و بعد از آن تقریباً تا عمق ۱۰۰ سانتیمتری ثابت مانده است. برای ساعت‌های ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ به ترتیب از عمق ۵ تا ۲۰ و ۳۰ سانتیمتری دمای خاک کاهش یافته و بعد از آن تقریباً ثابت مانده است و تغییرات قابل توجهی نداشته است.

### نتیجه‌گیری

منطقه مورد مطالعه منطقه‌ای نیمه کوهستانی در استان فارس به مساحت ۳۹۲۵ کیلومتر مربع است. برای نشان دادن روابط دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک از روش رگرسیون و همبستگی به صورت ساعتی و فصلی استفاده گردیده است و معادلات رگرسیون خطی و غیرخطی و ضرایب همبستگی و ضریب تبیین بین دمای هوا با اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ سانتی متری خاک به دست آمده و به شکل جداولی ارائه شده و نتایج حاصل از آن نشان داد که ضرایب همبستگی دمای هوا و دمای اعماق خاک برای همه فصول و در ایستگاه مورد مطالعه در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین پژوهش نشان داد که با افزایش عمق خاک مقدار این ضریب و نیز ضریب تبیین کاهش می‌یابد و تنها در فصل بهار و تابستان و در ساعت ۱۲:۳۰ در عمق ۱۰ سانتیمتری و همچنین در فصل تابستان ساعت ۱۸:۳۰ و در عمق ۲۰ سانتیمتری، ضریب همبستگی به جای کاهش، افزایش یافته است. بالاترین ضریب همبستگی در تمام فصول معمولاً در اعماق سطحی خاک و مخصوصاً در عمق ۵ سانتی

۸. منصوری فرید، ح.، ۱۳۹۸، پیش‌بینی تغییرات دمای خاک در اعماق مختلف نسبت به دمای هوا و بررسی پخش حرارت در عمق خاک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده صنایع و مکانیک، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین‌زهره.

۹. نصیریان، ف.، ن. فرهادی، م. مقدم، و ف. قناتی، ۱۳۹۵، تأثیر دمای خاک بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مقدار گلوکز کورم زعفران در طول دوره خواب، نوزدهمین کنگره ملی و هفتمین کنگره بین‌المللی زیست‌شناسی ایران، تبریز، <https://civilica.com/doc/687718>.

۱۰. نورزاده نامقی، م.، غ. داوری‌نژاد، ح. انصاری، س. ح. نعمتی، و ا. زارع فیض‌آبادی، ۱۳۹۴، ارزیابی تأثیر انواع مالچ‌های آلی و غیر آلی بر محتوی دما و رطوبت خاک در پسته (*Pistacia vera L*)، نهمین کنگره علوم باغبانی ایران، اهواز، <https://civilica.com/doc/724670>.

11. Badache M, Eslami-Nejad P, Ouzzane M, Aidoun Z, and Lamarche L. 2016. A new modeling approach for improved ground temperature profile determination. *Renew. Energy*, 85, pp.436–444.

12. Batir, Joseph F., Matthew J. Hornbach, and David D. Blackwell. "Ten Years of Measurements and Modeling of Soil Temperature Changes and Their Effects on Permafrost in Northwestern Alaska." *Global and Planetary Change* 148 (2017): 55-71. Doi: 10.1016/j.gloplacha.2016.11.009.

13. Belghit A, and Benyaich M. 2014. Numerical Study of Heat Transfer and Contaminant Transport in an Unsaturated Porous Soil. *Water Resour. Prot.*, 6(13), p.1238.

14. Bond-Lamberty B, Wang C, Gower S T. 2005. Spatiotemporal measurement and modeling of standlevel boreal forest soil temperatures. *Agric. For. Meteorol.* 131: 27–40.

15. Brar GS, Steiner JL, Unger PW, and Prihar SS. 1992. Modeling sorghum seedling establishment from soil wetness and temperature of drying seed zones. *Agron J*: 905–910.

16. Citakoglu H. 2017. Comparison of artificial intelligence techniques for prediction of soil temperatures in Turkey. *Theor. Appl. Climatol.*, 130 (1–2):545–556.

تخمین دمای خاک در زمان‌هایی که فاقد آمار هست استفاده نمود.

## منابع

۱. آتش‌پرور، س.، و س.ا. شمس‌نیا، ۱۴۰۰، برآورد میانگین مکانی دمای خاک در عمق‌های مختلف با استفاده از داده‌های هواشناسی در ایستگاه‌های کشاورزی استان فارس، تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۱۱۶ تا ۱۲۷.

۲. احمدی، ف.، و ف. رادمنش، 1393، بررسی روند تغییرات متوسط دمای ماهانه و سالانه نیمه شمالی کشور در نیم قرن اخیر، آب و خاک، 28، شماره 4، صفحات ۸۶۵–۸۵۵.

۳. خوشخو، ی.، پ. ایران‌نژاد، ع. خلیلی، ح. رحیمی، و ع.ا. لیاقت، ۱۳۹۲، ارزیابی مدل coup برای شبیه‌سازی عمق نفوذ یخبندان خاک در ایستگاه سینوپتیک بیجار، نشریه هواشناسی کشاورزی جلد ۱، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۲، صفحات ۱۱ تا ۲۰.

۴. گلشن، س.، م. رائینی سرجاز، و ر. نوروز ولاشدی، 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 ۱۲۱–۱۳۸.

۵. محمدی، م.، و م. فروزانفرد، ۱۳۹۵، بررسی روند درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در چند نمونه اقلیمی ایران، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، شماره ۲۵، صفحات ۱۴۰–۱۲۷.

۶. مزیدی، ا.، و ف. فلاح‌زاده، ۱۳۹۰، روند دمای سالانه خاک در ایستگاه یزد، جغرافیای توسعه، شماره ۲۴، پاییز ۱۳۹۰، صفحات ۳۹ تا ۵۰.

۷. مزیدی، ا.، غ. مظفری، و ف. جهانی دوقزلو، ۱۳۹۷، تعیین رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک در ایستگاه آباد، دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، اردیبهشت ۱۳۹۷، ایران.

28. Paul KI, Polglase PJ, Smethurst PJ, O'Connell AM, Carlyle CJ, and Khanna PK. 2004. Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. *Agric. For. Meteorol.*, 121(3-4), pp.167-182.
29. Peng S, Piao S, Wang T, Sun J, Shen Z. 2009. Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems in China. *Soil Biol. Biochem.* 41, 1008-1014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.10.023>.
30. Qian B, Gregorich EG, Gameda S, Hopkins DW, and Wang XL. 2011. Observed soil temperature trends associated with climate change in Canada. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 116(D2).
31. Samadianfard S, Ghorbani MA. and Mohammadi B. 2018. Forecasting soil temperature at multiple depth with a hybrid artificial neural network model coupled-hybrid firefly optimizer algorithm. *Inf. Process. Agric.*, 5(4), pp.465-476.
32. Sandor R, and Fodor N. 2012. Simulation of soil temperature dynamics with models using different concepts. *Sci. World J.*, 590287. <https://doi.org/10.1100/2012/590287>.
33. Xing L, Li L, Gong J, Ren C, Liu J, Chen H. 2018. Daily Soil Temperatures Predictions for Various Climates in United States Using Data-Driven Model. *Energy*, 160: 430-440. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544218312921>
34. Zeynoddin M, Bonakdari H, Ebtehaj I, Esmailbeiki F, Gharabaghi B. and Haghi DZ, 2019. A reliable linear stochastic daily soil temperature forecast model. *Soil Tillage Res*, 189, pp.73-87.
35. Zhang, H. X., N. M. Yuan, Z. G. Ma, and Y. Huang, 2021: Understanding the soil temperature variability at different depths: Effects of surface air temperature, snow cover, and the soil memory. *Adv. Atmos. Sci.*, 38(3), 493-503. <https://doi.org/10.1007 / s00376-020-0074-y>.
36. Zhu, D., Ciais, P., Krinner, G., Maignan, F., Jornet Puig, A., & Hugelius, G. (2019). Controls of soil organic matter on soil thermal dynamics in the northern high latitudes. *Nature Communications*, 10(1). doi:10.1038/s41467-019-11103-1.
17. Cleall PJ, Muñoz-Criollo JJ, and Rees SW. 2015. Analytical solutions for ground temperature profiles and stored energy using meteorological data. *Transp. Porous Media*, 106(1), pp.181-199.
18. Gao Y, Fan R, Li H, Liu R, Lin X, Guo H. and Gao Y. 2016. Thermal performance improvement of a horizontal ground-coupled heat exchanger by rainwater harvest. *Ener. Buil*, 110, pp.302-313.
19. Hariharan, G., Kannan, K., & Sharma, K. R. (2009). Haar wavelet in estimating depth profile of soil temperature. *Applied Mathematics and Computation*, 210(1), 119-125. doi: 10.1016/j.amc.2008.12.036.
20. Hosseinzadeh Talaee P. 2014. Daily soil temperature modeling using neuro-fuzzy approach. *Theor. Appl. Climatol.* 118: 481-489.
21. Hu G, Lin Z, Wu X, Ren L, Wu T, Xie C, Qiao Y, Shi J, Cheng G. 2016. An analytical model for estimating soil temperature profiles on the Qinghai-Tibet plateau of China. *J. Arid. Land* 8 (2), 232-240.
22. Kang S, Kim S, Oh S, Lee D. 2000. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover and air temperature. *For. Ecol. Manage.* 136: 173-184.
23. Kisi, O., Tombul, M., & Kermani, M. Z. (2015). Modeling soil temperatures at different depths by using three different neural computing techniques. *Theoretical and applied climatology*, 121(1-2), 377-387.
24. Liu BC, Liu W. and Peng SW. 2005. Study of heat and moisture transfer in soil with a dry surface layer. *Int. J. Heat Mass Transf.*, 48(21-22):4579-4589.
25. Maryanaji Z, Merrikhpour H. and Abbasi H. 2017. Predicting soil temperature by applying atmosphere general circulation data in west Iran. *J Water Clim Chan*, 8(2), pp.203-218.
26. Napagoda NA, and Tilakaratne CD. 2012. Artificial neural network approach for modeling of soil temperature: a case study for Bathalagoda area. *Sri Lankan J Appl Stat*, 13, pp.39-59.
27. Ozgener O, Ozgener L, and Tester, JW. 2013. A practical approach to predict soil temperature variations for geothermal (ground) heat exchangers applications. *Int. J. Heat Mass Transf.*, 62, pp.473-480.