

برآورد میانگین مکانی دمای خاک در عمق‌های مختلف با استفاده از داده‌های هواشناسی در ایستگاه‌های کشاورزی استان فارس

سیمین آتش پرور^۱، سید امیر شمس نیا^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷)

(تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵)

چکیده

دمای خاک یکی از پارامترهای مهم در مطالعات هواشناسی کشاورزی می‌باشد و بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. متأسفانه به علت فقدان داده‌های دمای خاک در بسیاری از اقلیم‌ها و مناطق کشور، همواره این موضوع در انجام پروژه‌ها و تحقیقات کشاورزی مورد بحث بوده است. در تحقیق حاضر با استفاده از روابط همبستگی بین پارامترهای مختلف هواشناسی و دمای خاک در پنج ایستگاه کشاورزی در شهرستان‌های مختلف استان فارس (شیراز، آباده، داراب، زرکان و جهرم) در عمق‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری، معادلاتی کاربردی جهت تخمین دمای خاک ماهانه تعیین گردید. در این راستا از معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده در شهرستان آباده، متغیرهای هواشناسی سرعت باد، بارندگی و حداکثر دما، در شهرستان داراب متغیرهای رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار هوا، بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما، در شهرستان جهرم متغیرهای سرعت باد، فشار هوا، حداکثر دما و حداقل دما، در شهرستان شیراز متغیرهای ساعات آفتابی، سرعت باد، فشار هوا، بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما و در شهرستان زرکان نیز متغیرهای ساعات آفتابی، سرعت باد، فشار هوا، بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما بر دمای خاک تأثیرگذار بوده است. به‌طور کلی در تمام ایستگاه‌ها جهت برآورد دمای خاک در اعماق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری به پارامترهای کمتری نیاز است و با افزایش عمق، اهمیت پارامترهای هواشناسی و نقش تاثیرگذار آن‌ها در تخمین دمای خاک بیشتر می‌گردد. همچنین تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در اقلیم‌های مختلف یکسان نمی‌باشد. بر طبق ضرایب مربوط به معادلات ارائه شده، بیشترین تاثیرگذاری مربوط به دمای حداکثر و کمترین تاثیرگذاری بر دمای خاک در اعماق مختلف، مربوط به ساعت آفتابی می‌باشد. با افزایش عمق نیز ضرایب تبیین روندی کاهشی دارد. در تمام ایستگاه‌ها ضریب تبیین در اعماق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری بین ۰/۹۸ تا ۰/۹۹ و در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری بین ۰/۸۷ تا ۰/۹۲ بدست آمده است که نشان می‌دهد با افزایش عمق، این ضریب تا حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج و معادلات به دست آمده جهت هر ایستگاه و اقلیم‌های متفاوت در استان فارس، می‌توان از معادلات به دست آمده جهت تخمین دمای خاک در مناطق فاقد آمار استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای هواشناسی، دمای خاک، رگرسیون خطی چند متغیره، همبستگی

آتش پرور س.، شمس نیا س.ا. 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. صفحه: ۱۱۶-۱۲۷.

۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی علوم خاک، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی آب، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

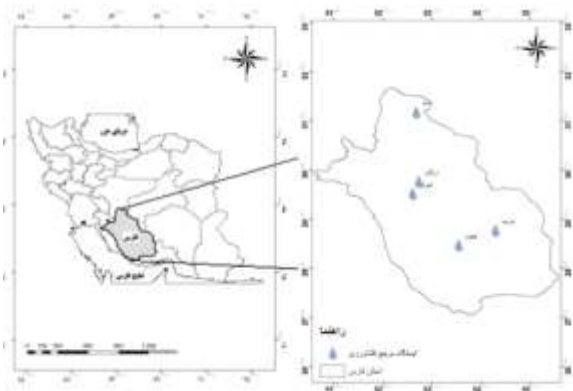
* پست الکترونیک: ashamsnia_82@yahoo.com

مقدمه

بسیاری از فرآیندهای موجود در اکوسیستم در لایه‌های سطحی خاک اتفاق می‌افتد (Buring, 1984). همچنین درجه حرارت خاک یکی از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار بر فرآیندهای اکولوژیکی و بیوشیمیایی می‌باشد که بر روی شروع رشد فصلی، تجزیه کربن آلی خاک و قابلیت استفاده نیتروژن برای گیاه تأثیر دارد (Trumbore *et al.*, 1996). گونه‌های مختلف گیاهی به دماهای متفاوتی نیازمندند و باردهی آن‌ها در محدوده‌ی معینی از درجه-حرارت به بیشترین مقدار می‌رسد (Alizadeh, 2011). از طرف دیگر، تغییر اقلیم و گرمایش جهانی یکی از اصلی‌ترین نگرانی‌های جامعه‌ی امروزی می‌باشد. بیشتر گزارش‌های روند گرمایشی بر پایه‌ی افزایش روند درجه حرارت استوار می‌باشد (Tretkoff, 2011). اما باید توجه داشت که روند درجه حرارت خاک یکی از مهمترین نشانگرهای تغییر اقلیم می‌باشد که به ندرت به آن پرداخته شده است (Qian *et al.*, 2011). دمای خاک یکی از عوامل بسیار مهم در مدیریت بخش کشاورزی می‌باشد. بنابراین تحقیق و تفحص در باب این مسئله در زمینه کشاورزی لازم و ضروری می‌باشد. سبزی پرور و همکاران (Sabziparvar *et al.*, 2010) با استفاده از روابط رگرسیونی، ارتباط میان پارامترهای هواشناسی و دمای خاک را بررسی و در چند اقلیم مختلف روابطی را جهت تخمین دمای خاک به دست آوردند. مزیدی و فلاح زاده (Mazidi & Falahzadeh, 2011)، با استفاده از روش رگرسیون خطی به تحلیل روند دمای سالانه خاک در ایستگاه یزد پرداختند. با بررسی شرایط دمایی خاک در ایستگاه یزد مشخص شد که در عمق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری حداکثر دما در اوایل تیر ماه اتفاق می‌افتد. ولی با افزایش عمق، زمان رسیدن به دمای حداکثر به تعویق می‌افتد، به طوری که 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 دی ماه و در اعماق پایین‌تر به تدریج تا اواخر دی ماه اتفاق می‌افتد. کیخسروی و همکاران (Kaykhosravi *et al.*, 2016)، با استفاده از روش رگرسیون خطی به تخمین دمای خاک بر اساس داده‌های هواشناسی در منطقه

ارسنجان پرداختند. در کل مشکل کمبود اطلاعات دمای خاک در کشورهای دیگر نیز وجود داشته و باعث ایجاد مسائلی در امور کشاورزی این کشورها نیز گردیده است. گومان و لال (Ghuman & Lal, 1981) با استفاده از روش سری فوریه و مقایسه نتایج آن با نیمرخ‌های اندازه‌گیری شده دمای خاک به پیش بینی دمای روزانه خاک در یک منطقه استوایی پرداختند. نتیجه این مطالعه نشان داد که بین مقادیر دمای اندازه‌گیری شده با مقادیر پیش‌بینی شده از سری فوریه در عمق ۱۳ سانتی‌متری خاک همبستگی خوبی برقرار است. ماکلین و آیرس (Maclean & Ayres, 1985) با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره، ارتباط بین دمای خاک و پارامترهای هواشناسی را تعیین و با ارائه مدل به برآورد دمای خاک در اعماق ۱، ۲، ۵ و ۱۰ سانتی‌متری پرداختند. متغیرهای مورد استفاده شامل دمای هوا و ابرناکی در روز، برآورد دمای هوا در دو روز قبل، نسبت ساعات آفتابی و روز فصل بود (Maclean & Ayres, 1985). مونت و هرماندز (Mount & Hernandez, 2001) تغییرات دمای خاک را با استفاده از روابط رگرسیونی در مکان‌های بایر و جنگلی نیویورک بررسی و مقایسه نمودند. اندازه‌گیری‌ها پنج‌بار در روز و در عمق ۵۰ سانتی‌متری و ارتفاع ۱ متری (بخش جنگلی) و در عمق‌های ۲۰، ۳۸ و ۵۰ سانتی‌متری (بخش بایر) انجام شد. نتایج نشان‌دهنده آن بود که میانگین دمای سالانه خاک و تفاوت میانگین دمای ماهانه بین زمستان و تابستان در زمین بایر بیشتر از جنگل است (میانگین دمای سالانه خاک در محیط بایر ۱۱/۲ درجه سانتی‌گراد گرمتر از محیط جنگلی بود). همچنین دیده شد که میانگین سالانه‌ی دمای هوا در زمین‌های بایر بیشتر از نواحی جنگلی است. بارمان و همکاران (Barman *et al.*, 2017) در پژوهشی در دشت گنکیک هند معادلاتی تجربی را با استفاده از دوره آماری ۳۰ ساله دمای هوا و دمای خاک در سه عمق ۵، ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری و با استفاده از روابط رگرسیونی ارائه نمودند. نتایج نشان داد در عمق ۵ سانتی‌متری معادله رگرسیونی دقت بالاتری داشت و بهتر دمای خاک را نشان می‌دهد. به‌طور کلی نبود اطلاعات کافی و مناسب از دمای

بین متغیرهای هواشناسی و دمای خاک در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری بر اساس ضریب تبیین تعیین گردید.



شکل ۱- موقعیت (مختصات جغرافیایی) ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان فارس

Figure 1. Location (geographical coordinates) of the studied stations in Fars province

سپس با استفاده از رگرسیون خطی چندمتغیره تحت نرم افزار SPSS روابط تجربی برای هر منطقه و اقلیم در عمق‌های مورد مطالعه به صورت جداگانه ارائه شد. برای ارزیابی دقت روابط تجربی ارائه شده، مقادیر میانگین ماهانه‌ی دمای خاک برآورد شده با هر یک از روابط با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. اعتبارسنجی روابط تجربی به‌دست آمده با استفاده از آماره‌ی ضریب تبیین R^2 انجام پذیرفت. رگرسیون خطی چند متغیره با در نظر گرفتن بیش از یک متغیر مستقل و با محدود کردن تعداد متغیرهای وابسته عبارتست از:

معادله (۱)

$$\{ \displaystyle Y_{i} = \beta_{0} + \beta_{1} X_{i1} + \beta_{2} X_{i2} + \dots + \beta_{p} X_{ip} + \epsilon_{i} . \}$$

در رابطه مذکور در نظر گرفته می‌شود که n مشاهده از یک متغیر وابسته و p متغیر مستقل وجود دارد. پس Y_i ، i آمین مشاهده از متغیر وابسته است، X_{ij} نیز i آمین مشاهده از j آمین متغیر مستقل است که $j = 1, 2, 3, \dots, p$ می‌باشد و مقادیر β_i بیانگر متغیرهای تخمین زده شده است.

همچنین در ایستگاه‌های مختلف جهت تعیین روابط- تجربی مناسب از شاخص‌های واسنجی ضریب تبیین و ضریب تبیین تعدیل شده استفاده گردیده است. تفاوت

خاک باعث به‌وجود آمدن مشکلات عمده‌ای در امور کشاورزی می‌گردد. لذا با توجه به کمبود اطلاعات دمای خاک در بیشتر مناطق و فقدان آن در شهرهای فاقد ایستگاه‌های سینوپتیک، هدف تحقیق حاضر تعیین ارتباط میان پارامترهای هواشناسی و دمای خاک با استفاده از روابط رگرسیونی چندمتغیره و تخمین دمای خاک در عمق‌های مختلف در ایستگاه‌های مرجع کشاورزی استان فارس می‌باشد. در این راستا با استفاده از روابط حاصله معادلاتی ارائه می‌گردد که می‌تواند در تخمین داده‌های دمای خاک در مناطق فاقد اطلاعات مفید باشد.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر، دمای خاک در پنج منطقه (شهرستان) مختلف در استان فارس مورد بررسی قرار گرفته است. بدین صورت که ایستگاه‌های سینوپتیک شیراز و زرقان به عنوان نماینده‌ی اقلیم نیمه خشک در مرکز استان فارس، ایستگاه سینوپتیک آباده به عنوان نماینده اقلیم خشک در شمال استان فارس و ایستگاه‌های سینوپتیک داراب و جهرم نیز به عنوان نماینده‌ی اقلیم خشک در جنوب استان فارس بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن مورد مطالعه قرار گرفتند (Shamsnia, 2018). در این تحقیق، داده‌های هواشناسی اعم از میانگین دمای هوا، حداقل دمای روزانه هوا، حداکثر دمای روزانه هوا، فشار هوا، میانگین سرعت باد، بارندگی، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی به عنوان متغیرهای مستقل و دمای خاک به عنوان متغیر وابسته در دوره اقلیمی ۱۱ ساله ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ میلادی که از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی استان فارس اخذ شده است، مورد تحلیل قرار گرفتند. موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

داده‌های دمای خاک در ۶ عمق (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری) و در سه زمان در طول روز (ساعت ۳، ۹ و ۱۵) با استفاده از دماسنج دمای خاک در ایستگاه‌های هواشناسی استان فارس اندازه‌گیری می‌شود که میانگین این سه مقدار به عنوان میانگین روزانه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه متغیرهای هواشناسی بسیاری بر دمای خاک در اقلیم‌های مختلف، تأثیرگذارند، در این تحقیق، ابتدا همبستگی

به ۳۵ درجه سانتیگراد رسیده است. در ایستگاه زرقان نیز که از نظر اقلیمی مشابه ایستگاه شیراز می‌باشد، روند تغییرات مشابه می‌باشد و حداکثر دما در ماه July به حدود ۳۵ درجه سانتیگراد در عمق ۵ سانتی‌متری و در ماه December به حدود ۱۵ درجه سانتیگراد رسیده است.

تحلیل همبستگی و ارائه روابط تجربی

شهرستان‌های مختلف در این تحقیق با توجه به اقلیم-بندی دومارتن به عنوان نماینده‌های اقلیم خشک و اقلیم نیمه خشک در شمال، جنوب و مرکز استان فارس انتخاب شده‌اند. به منظور تعیین میزان اثر متغیرهای رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد، فشار هوا، بارندگی، میانگین دما، حداکثر دما و حداقل دما بر دمای خاک در این شهرستان‌ها، از تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره استفاده شده و نتایج تحلیل رگرسیون مدل مربوطه، ارائه شده است. شاخص‌های واسنجی روابط تجربی برای ایستگاه‌های مختلف در جداول (۱ تا ۵) نشان داده شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می‌گردد که همبستگی خطی مثبت و قوی بین متغیرها وجود دارد و مقدار R به دست آمده به عدد $+1$ نزدیک است. در تمام ایستگاه‌ها ضریب تبیین در اعماق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری بین $0/98$ تا $0/99$ و در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری بین $0/87$ تا $0/92$ بدست آمده است که نشان می‌دهد با افزایش عمق، ضریب تبیین تا حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. در جداول مذکور مقدار خطای استاندارد نیز نشان می‌دهد با افزایش عمق خطا بیشتر می‌شود و لذا عمق ۵ سانتی‌متری بیشترین دقت را دارا می‌باشد.

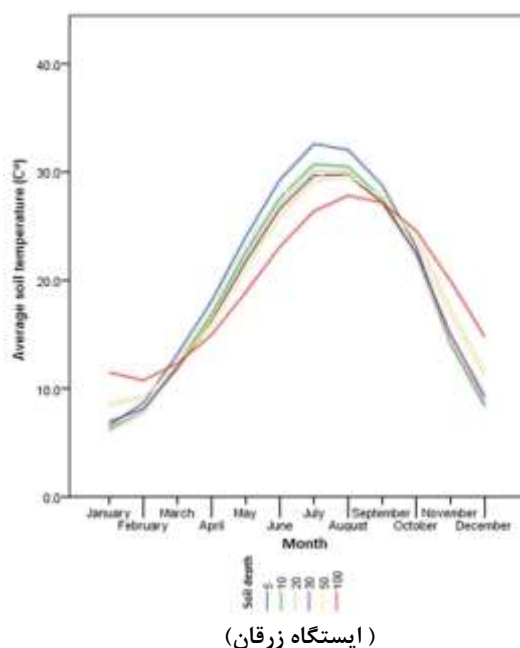
مقدار ضریب تبیین تعدیل یافته و خطای استاندارد نشان می‌دهد که مدل مورد استفاده قوی بوده و این مدل قادر است داده‌ها را به خوبی برازش کند. با توجه به مطالب گفته شده و نزدیک بودن اعداد به عدد یک می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای مستقل توانسته‌اند میزان زیادی از واریانس متغیر وابسته را تبیین کنند و مدل مورد استفاده مناسب بوده است.

مهم میان ضریب تبیین و ضریب تعدیل شده این است که ضریب تبیین فرض می‌کند که هر متغیر مستقل مشاهده شده در مدل، تغییرات موجود در متغیر وابسته را تبیین می‌کند. بنابراین درصد نشان داده شده توسط ضریب تبیین با فرض تاثیر همه متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته می‌باشد. در صورتی که درصد نشان داده شده توسط ضریب تبیین تعدیل شده فقط حاصل از تاثیر واقعی متغیرهای مستقل مدل بر وابسته است و نه همه متغیرهای مستقل. تفاوت دیگر این است که مناسب بودن متغیرها برای مدل توسط ضریب تبیین حتی با وجود مقدار بالا قابل تشخیص نیست در صورتی که می‌توان به مقدار برآورد شده ضریب تبیین تعدیل شده اعتماد کرد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین ضریب همبستگی مربوط به عمق ۵ سانتی‌متری است و با افزایش عمق میزان ضریب همبستگی کاهش می‌یابد.

نتایج و بحث

میانگین دمای خاک در عمق‌های مختلف برای هر کدام از ایستگاه‌ها به صورت جداگانه در شکل‌های (۲ تا ۴) نشان شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین دمای خاک (۳۵ درجه سانتیگراد) در ماه July و در عمق ۵ سانتی‌متری بوده است و با افزایش عمق، دما کاهش می‌یابد و در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری زمان رخداد بیشترین دما با تاخیر یک ماهه در ماه August رخ داده است. در ماه‌های January و December این روند برعکس شده و بیشترین دمای خاک مربوط به عمق‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری می‌باشد. مشابه این روند در ایستگاه داراب نیز دیده می‌شود با این تفاوت حداکثر دما در ماه July در عمق ۵ سانتی‌متری به ۴۰ درجه سانتیگراد رسیده است. نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش مزیدی و فلاح زاده (Mazidi & Falahzadeh, 2011) نیز همخوانی دارد.

در ایستگاه چهارم نیز بیشترین دمای خاک (۴۰ درجه سانتیگراد) در ماه July و در عمق ۵ سانتی‌متری بوده و با افزایش عمق، دما کاهش یافته و در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری زمان رخداد بیشترین دما با تاخیر یک ماهه در ماه August رخ داده است. در ایستگاه شیراز در مرکز استان فارس نیز حداکثر دما در ماه July در عمق ۵ سانتی‌متری



(ایستگاه زرقان)

شکل ۴- تغییرات ماهانه دمای خاک (برحسب سانتی‌گراد) در کل دوره‌ی آماری (۲۰۰۷-۲۰۱۷) در اعماق مورد مطالعه (ایستگاه زرقان)

Figure 4. Monthly changes of soil temperature (in terms of Celsius) in the statistical period (2007-2017) at (Zarghan Station) the studied depths.

بین متغیرهای هواشناسی و دمای خاک در اعماق مختلف در دوره آماری مورد مطالعه با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره و با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ضرایب و نتایج رگرسیون مربوط به هر شهرستان، روابط تجربی در اعماق مختلف و برای اقلیم-های مورد مطالعه به صورت مجزا ارائه شده است. روابط و معادلات بدست آمده در جداول (۱ تا ۵) نشان داده شده است.

با توجه به محاسبات صورت گرفته شده و نتایج بدست آمده در شهرستان آباد، در عمق ۵ سانتی‌متری دو متغیر فشار هوا و حداکثر دمای هوا، در عمق ۱۰ سانتی‌متری متغیرهای فشار هوا، حداکثر دما و حداقل دما، در عمق ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری تنها متغیر حداکثر دما، در عمق ۵۰ سانتی‌متری متغیرهای سرعت باد و حداکثر دما و در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری متغیرهای رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار هوا و حداکثر دما بر دمای خاک بیشترین تأثیر را دارند.

در ایستگاه‌های شیراز و زرقان نیز بیشترین ضریب همبستگی مربوط به عمق ۵ سانتی‌متری است و کمترین ضریب مربوط به عمق ۱۰۰ سانتی‌متری است. تحقیقات مشابه دیگر در مناطق مختلف هم در کشورهای دیگر و هم ایران صورت گرفته است. سبزی پرور و همکاران (Sabziparvar *et al.*, 2010) با مطالعه‌ای که بر روی برآورد دمای خاک با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره انجام دادند، با احتساب پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه، میانگین دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی به عنوان پارامترهای ورودی مدل به ترتیب در بهترین و بدترین حالت به ضریب همبستگی ۰/۹۴ در اعماق ۵-۲۰ سانتی‌متری در ایستگاه زاهدان و ۰/۶۴ در عمق ۵ سانتی‌متری در ایستگاه رامسر دست یافتند. در تحقیق حاضر نیز تمامی ضرائب همبستگی در تمامی عمق‌ها و در تمامی شهرستان‌ها بالاتر از ۰/۹ بوده که نشان از وجود همبستگی بسیار بالا دارد. با توجه به نتایج همبستگی به دست آمده

جدول ۱- روابط تجربی بدست آمده برای شهرستان آباده
Table 1. Experimental relations obtained for Abadeh city

Depth	Modified R ²	Standard Error	Experimental Equation
5	0.989	1.0952	$ST = -0.115 \times (P) + 0.105 \times (T_{Max}) + 145.176$
10	0.987	1.1861	$ST = -0.101 \times (P) + 1.123 \times (T_{Max}) + 95.315$
20	0.984	1.2201	$ST = 1.130 \times (T_{Max})$
30	0.981	1.2971	$ST = 1.118 \times (T_{Max})$
50	0.960	1.7234	$ST = -0.732 \times (W) + 1.062 \times (T_{Max})$
100	0.914	2.0864	$ST = 0.066 \times (RH) - 0.053 \times (W) + 0.297 \times (P) + 0.977 \times (T_{Max}) - 295.321$
Total	0.950	2.0800	$ST = -0.404 \times (W) + 0.016 \times (R) + 1.086 \times (T_{Max})$

ST: Soil Temperature, P: Air Pressure, T_{Max}: Maximum Temperature, T_{Min}: Minimum Temperature, W: Wind Speed, R_H: Relative Humidity, R: Rainfall, S: Sunshine Hours

جدول ۲- روابط تجربی بدست آمده برای شهرستان داراب
Table 2. Experimental relations obtained for Darab city

Depth	Modified R ²	Standard Error	Experimental Equation
5	0.990	0.9922	$ST = 0.007 \times (R) + 1.030 \times (T_{Max}) + 0.092 \times (T_{Min})$
10	0.988	1.0544	$ST = -0.730 \times (W) + 0.008 \times (R) + 1.025 \times (T_{Max}) + 0.115 \times (T_{Min})$
20	0.984	1.1864	$ST = 0.051 \times (RH) - 1.043 \times (W) - 0.009 \times (R) + 1.051 \times (T_{Max}) + 0.134 \times (T_{Min})$
30	0.979	1.2869	$ST = 0.06 \times (RH) - 1.3 \times (W) + 0.01 \times (R) + 1.029 \times (T_{Max}) + 0.161 \times (T_{Min})$
50	0.967	1.5088	$ST = 0.073 \times (RH) - 1.855 \times (W) + 0.142 \times (P) + 0.01 \times (R) + 0.0995 \times (T_{Max}) + 0.198 \times (T_{Min}) - 154.361$
100	0.922	2.0113	$ST = 0.087 \times (RH) - 2.962 \times (W) + 0.264 \times (P) + 0.011 \times (R) + 0.912 \times (T_{Max}) + 0.294 \times (T_{Min}) - 277.791$
Total	0.956	1.8685	$ST = 0.056 \times (RH) - 1.38 \times (W) + 0.085 \times (P) + 0.009 \times (R) + 1.007 \times (T_{Max}) + 0.166 \times (T_{Min}) - 95.529$

ST: Soil Temperature, P: Air Pressure, T_{Max}: Maximum Temperature, T_{Min}: Minimum Temperature, W: Wind Speed, R_H: Relative Humidity, R: Rainfall, S: Sunshine Hours

جدول ۳- روابط تجربی بدست آمده برای شهرستان جهرم
Table 3. Experimental relations obtained for Jahrom city

Depth	Modified R ²	Standard Error	Experimental Equation
5	0.989	1.1362	$ST = -0.265 \times (P) + 1.005 \times (T_{Max}) + 253.529$
10	0.987	1.1232	$ST = -0.182 \times (P) + 0.977 \times (T_{Max}) + 177.074$
20	0.980	1.2583	$ST = -1.436 \times (W) + 0.942 \times (T_{Max})$
30	0.972	1.4294	$ST = -2.083 \times (W) + 0.900 \times (T_{Max})$
50	0.954	1.7323	$ST = -2.891 \times (W) + 0.861 \times (T_{Max})$
100	0.875	2.4335	$ST = -3.836 \times (W) + 0.519 \times (T_{Max}) + 0.324 \times (T_{Min}) + 253.529$
Total	0.934	1.2914	$ST = -1.877 \times (W) - 0.099 \times (P) + 0.867 \times (T_{Max}) + 0.098 \times (T_{Min}) + 96.309$

ST: Soil Temperature, P: Air Pressure, T_{Max}: Maximum Temperature, T_{Min}: Minimum Temperature, W: Wind Speed, RH: Relative Humidity, R: Rainfall, S: Sunshine Hours

جدول ۴- روابط تجربی بدست آمده برای شهرستان شیراز
Table 4. Experimental relations obtained for Shiraz city

Depth	Modified R ²	Standard Error	Experimental Equation
5	0.990	1.0306	$ST = 0.017 \times (R) + 1.082 \times (T_{Max})$
10	0.988	1.0499	$ST = 0.019 \times (R) + 1.083 \times (T_{Max})$
20	0.986	1.0647	$ST = -0.011 \times (S) - 1.172 \times (W) + 0.109 \times (P) + 0.019 \times (R) + 1.062 \times (T_{Max}) + 0.106 \times (T_{Min}) - 115.047$
30	0.980	1.1768	$ST = -0.014 \times (S) - 1.744 \times (W) + 0.149 \times (P) + 0.019 \times (R) + 1.048 \times (T_{Max}) + 0.125 \times (T_{Min}) - 153.577$
50	0.967	1.3826	$ST = -0.017 \times (S) - 2.320 \times (W) + 0.236 \times (P) + 0.021 \times (R) + 0.997 \times (T_{Max}) + 0.186 \times (T_{Min}) - 238.865$
100	0.917	1.7788	$ST = -0.048 \times (RH) - 3.781 \times (W) + 0.343 \times (P) + 0.026 \times (R) + 0.869 \times (T_{Max}) + 0.238 \times (T_{Min}) - 239.259$
Total	0.938	2.1369	$ST = -0.012 \times (S) - 1.617 \times (W) + 0.143 \times (P) + 0.020 \times (R) + 1.023 \times (T_{Max}) + 0.133 \times (T_{Min}) - 146.717$

ST: Soil Temperature, P: Air Pressure, T_{Max}: Maximum Temperature, T_{Min}: Minimum Temperature, W: Wind Speed, RH: Relative Humidity, R: Rainfall, S: Sunshine Hours

جدول ۵- روابط تجربی بدست آمده برای شهرستان زرقان
Table 5. Experimental relations obtained for Zarghan city

Depth	Modified R ²	Standard Error	Experimental Equation
5	0.987	1.0645	$ST = -0.803 \times (W) + 0.023 \times (R) + 1.082 \times (T_{Max})$
10	0.984	1.1076	$ST = -0.993 \times (W) + 0.111 \times (P) + 0.026 \times (R) + 1.089 \times (T_{Max}) - 118.903$
20	0.982	1.1358	$ST = -1.083 \times (W) + 0.137 \times (P) + 0.027 \times (R) + 1.080 \times (T_{Max}) - 145.515$
30	0.978	1.2305	$ST = -1.377 \times (W) + 0.175 \times (P) + 0.030 \times (R) + 1.070 \times (T_{Max}) - 182.380$
50	0.960	1.5327	$ST = -1.988 \times (W) + 0.287 \times (P) + 0.038 \times (R) + 1.066 \times (T_{Max}) - 293.683$
100	0.890	2.0472	$ST = -3.001 \times (W) + 0.474 \times (P) + 0.048 \times (R) + 0.958 \times (T_{Max}) + 0.182 \times (T_{Min}) - 477.583$
Total	0.941	1.9848	$ST = -0.010 \times (S) + 1.541 \times (W) + 0.205 \times (P) + 0.032 \times (R) + 1.058 \times (T_{Max}) + 0.080 \times (T_{Min}) - 211.786$

ST: Soil Temperature, P: Air Pressure, T_{Max}: Maximum Temperature, T_{Min}: Minimum Temperature, W: Wind Speed, R_H: Relative Humidity, R: Rainfall, S: Sunshine Hours

سانتی‌متری بیشترین تأثیر را متغیرهای بارندگی و حداکثر دما، در عمق ۲۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری متغیرهای ساعات آفتابی، سرعت باد، فشار هوا، بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما و همچنین در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری متغیرهای رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار هوا، بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما بر دمای خاک بیشترین تأثیر را داشته‌اند. در شهرستان شیراز، متغیرهای هواشناسی ساعات آفتابی، سرعت باد، فشار هوا، بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما بر دمای خاک تأثیرگذار بوده‌اند. در شهرستان زرقان، در عمق ۵ سانتی‌متری بیشترین تأثیر را متغیرهای سرعت باد، بارندگی و حداکثر دما، در عمق های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری هم متغیرهای سرعت باد، فشار هوا، بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما بر دمای خاک موثر بوده‌اند. در شهرستان زرقان، متغیرهای هواشناسی ساعات آفتابی، سرعت باد، فشار هوا، بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما بر دمای خاک تأثیرگذار بوده‌اند. از بین عوامل بکارگرفته شده هواشناسی در دو اقلیم مورد بررسی در استان فارس، پارامتر حداکثر دمای هوا دارای بیشترین تأثیرگذاری و پارامتر ساعات آفتابی دارای کمترین تأثیرگذاری در برآورد

به طور کلی در شهرستان آباده، متغیرهای هواشناسی سرعت باد، بارندگی و حداکثر دما بر دمای خاک تأثیرگذار بوده‌اند. در شهرستان داراب، در عمق ۵ سانتی‌متری متغیرهای بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما، در عمق ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری متغیرهای رطوبت نسبی، سرعت باد، بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما و همچنین در عمق ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری، متغیرهای رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار هوا، بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما بر دمای خاک بیشترین تأثیر را داشته‌اند. به‌طور کلی در شهرستان داراب، متغیرهای هواشناسی رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار هوا، بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما بیشترین تأثیر را بر دمای خاک نشان داده است. در شهرستان جهرم، در عمق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری بیشترین تأثیر را متغیرهای فشار هوا و حداکثر دما، در عمق ۲۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری متغیرهای سرعت باد و حداکثر دما و همچنین در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری متغیرهای سرعت باد، حداکثر دما و حداقل دما بیشترین تأثیر را نشان داده است. در شهرستان جهرم، متغیرهای هواشناسی سرعت باد، فشار هوا، حداکثر دما و حداقل دما بر دمای خاک تأثیرگذار بوده‌اند. در شهرستان شیراز، در عمق ۵ و ۱۰

در ایستگاه داراب در همه اعماق جهت برآورد دمای خاک، به پارامترهای دمای حداکثر، دمای حداقل و بارندگی با درجه تاثیرگذاری مختلف نیاز است. در اعماق ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری علاوه بر پارامترهای مذکور به رطوبت نسبی، سرعت متوسط باد و فشار هوا نیز نیاز است. اما به طور کلی درجه تاثیرگذاری دمای حداکثر بیشتر از سایر پارامترها می‌باشد. در ایستگاه جهرم جهت برآورد دمای خاک به طور کلی در اعماق مختلف به پارامترهای کمتری نیاز است، به طوریکه در اعماق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری جهت برآورد دمای خاک، دمای حداکثر و فشار هوا نیاز است و در اعماق ۲۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری با استفاده داده‌های دمای هوا و سرعت متوسط باد می‌توان میزان دمای خاک را برآورد نمود. در ایستگاه شیراز نیز در اعماق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری جهت برآورد دمای خاک فقط نیاز به داده‌های هواشناسی دمای حداکثر و بارندگی می‌باشد اما در اعماق دیگر سایر پارامترها نیز تاثیر گذار می‌باشند، اما به طور کلی با توجه به ضرائب معادلات بیشترین تاثیرگذاری در برآورد دمای خاک مربوط به دمای حداکثر هوا می‌باشد. ایستگاه زرقان نیز وضعیتی مشابه ایستگاه شیراز دارد. به طور کلی در اعماق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری برآورد دمای خاک با پارامترهای کمتری امکان‌پذیر است اما با افزایش عمق، پارامترهای مختلف هواشناسی در تخمین دمای خاک موثر می‌باشند. همچنین به طور کلی در تمام ایستگاه‌ها با افزایش عمق، ضرایب تبیین کاهش می‌یابد. به طوریکه با افزایش عمق، ضریب تبیین تا حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان با استفاده از داده‌های هواشناسی و معادلات بدست آمده، براساس شرایط اقلیمی، در مناطق دیگر استان دمای خاک را به صورت تخمینی بدست آورد. ضمناً این نکته قابل ذکر است که معادلات و تخمین‌های موجود براساس شرایط خاک بدون پوشش بدست آمده و در این شرایط معتبر است. لذا پیشنهاد می‌شود تحقیق فوق جهت شرایط پوشش گیاهی و برای سایر اقلیم‌ها نیز مورد بررسی قرار گیرد.

دمای خاک بوده است. در تحقیقات سبزی پرور و همکاران (Sabziparvar *et al.*, 2010) نیز به این نتیجه رسیدند که میزان تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در اقلیم‌های مختلف مقادیر کاملاً متفاوتی را نشان می‌دهد. از بین عوامل بکار رفته در همه‌ی اقلیم‌ها، میانگین دمای هوای روزانه دارای بیشترین همبستگی و بارش روزانه و سرعت باد کمترین همبستگی را با دمای خاک در اقلیم‌های مورد مطالعه نشان داده است. همچنین نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق بارمان و همکاران (Barman *et al.*, 2017) در خصوص بیشترین ضریب همبستگی در عمق ۵ سانتی‌متری از سطح خاک همخوانی دارد و با افزایش عمق خاک میزان ضریب همبستگی کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری کلی

در تحقیق حاضر به موضوع بررسی روابط و همبستگی میان پارامترهای مختلف هواشناسی و دمای خاک در پنج ایستگاه سینوپتیک کشاورزی در شهرستان‌های مختلف استان فارس (شیراز، آباده، داراب، زرقان و جهرم) پرداخته شد و هدف آن پیدا کردن معادله‌ای کاربردی جهت تخمین دمای خاک با استفاده از پارامترهای هواشناسی موجود در ایستگاه‌های هواشناسی بود. بررسی شرایط دمایی خاک در هر پنج ایستگاه نشان داد بیشترین دما مربوط به ماه July بوده و در عمق ۵ سانتی‌متری رخ داده است. این روند تا عمق ۵۰ سانتی‌متری به همین شکل است. اما با افزایش عمق در ۱۰۰ سانتی‌متری حداکثر دما با تاخیر یک تا دو ماهه رخ داده است. نتایج حاصل از معادلات نشان می‌دهد، در ایستگاه آباده در اعماق ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری فقط پارامتر دمای حداکثر موثر بوده و با در نظر گرفتن این پارامتر می‌توان میزان دمای خاک را برآورد نمود. اما در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری جهت برآورد دمای خاک، علاوه بر دمای حداکثر، به پارامترهای رطوبت نسبی، سرعت متوسط باد و فشار هوا نیز نیاز است. اما تاثیر دمای حداکثر بیشتر از سایر پارامترها می‌باشد.

References

- Alizadeh A. 2011. The Relationship between water, soil and plants. 13th Ed. Astan Quds Razavi Publications, Imam Reza University, 616 P. (In Persian)
- Barman D., Kundu D.K., Pal S., Chakraborty A.K., Jha A.K., Mazumdar S.P., Saha R., and Bhattacharyya P. 2017. Soil temperature prediction from air temperature for alluvial soils in lower Indo-Gangetic plain. *International Agrophysics*. 31: 9-22.
- Buring P. 1984. The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle measurement by remote sensing, *John Wiley and Sons edition, Massachusetts, USA*. Pp: 91-109.
- Ghuman B.S., and Lal R. 1981. Predicting diurnal temperature regimes of the central appalachians. *Soil Science*.132:247-252.
- Kaykhosravi M., Hajmohammadi M.S., Normandipour R., and Tajabadi M. 2016. Estimation of soil temperature based on meteorological data using data mining methods in Arsanjan station. *International Conference on Engineering Sciences*. (In Persian)
- Mazidi A., and Falahzadeh F. 2011. Analysis of annual soil temperature trend in Yazd station. *Journal of Geography and Development*, 9(24): 39-50. (In Persian)
- Macleane S.F., and Ayres M.P. 1985. Estimation of soil temperature from climatic variables at Barrow, Alaska, USA. *Arctic & Alpine Research*. 17: 425-432.
- Mount H., and Hernandez L. 2001. Soil temperature and anthropogenic soils. Soil temperature study for New York City. Staten Island. New York City. NSSC – USDA, NRCS, 16p.
- Qian B., Gregoric E.G., Gameda S., Hopkins D.W., and Wang X.L. 2011. Observed soil temperature trends associated with climate change in Canada. *Journal of Geophysical Research*. 116(D2): 1-16.
- Sabziparvar A.A., Tabari H., and Aeni A. 2010. Estimation of mean daily soil temperature by means of meteorological data in some selected climates of Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 14(52):125-138. (In Persian)
- Shamsnia S.A. 2019. Mapping of heat stress using Geographic Information Systems (Case study: Effective thermal thresholds of Wheat in Fars Province). *Quarterly of Geography (Regional Planning)*, 9(1): 429-444. (In Persian)
- Tretkoff E. 2011. Soil temperature trends in Canada. *Journal of Geophysical Research*. 90:17
- Trumbore S.E., Chadwick Q.A., and Amundson R. 1996. Rapid exchange between soil carbon and atmospheric carbon dioxide driven by temperature change. *Science*. 272: 393–395.

Estimation of Soil Temperature Spatial Average at Different Depths Using Meteorological Data in Agricultural Stations of Fars Province

Simin Atashparvar¹ Seyed Amir Shamsnia^{2*}

(Received: August 2020 Accepted: June 2021)

Abstract

Soil temperature is one of the important parameters in meteorological agriculture and affects many soil biological processes. Unfortunately, due to the lack of soil temperature data in many regions of the country, this issue has always been discussed in agricultural projects. In the present study, practical equations were created to estimate the monthly soil temperature using the correlations between different meteorological parameters and soil temperature in five agricultural stations in different cities of Fars province (Shiraz, Abadeh, Darab, Zarghan, and Jahrom) at depths of 5, 10, 20, 30, 50, and 100 cm. In this regard, multivariate linear regression equations have been used. According to the results, the following parameters affected soil temperature: in Abadeh, meteorological variables of wind speed, rainfall, and maximum temperature; in Darab, relative humidity, wind speed, air pressure, rainfall, maximum temperature, and minimum temperature; in Jahrom, variables of wind speed, air pressure, maximum temperature, and minimum temperature; in Shiraz, the variables of sunshine hours, wind speed, air pressure, rainfall, maximum temperature, and minimum temperature and in Zarghan city, the variables of sunshine hours, wind speed, air pressure, rainfall, maximum temperature, and minimum temperature. In general, fewer parameters are needed in all stations to estimate soil temperature at depths of 5 and 10 cm, and the importance of meteorological parameters and their effective role in estimating soil temperature increases with increasing depth. Also, the effect of meteorological variables on soil temperature is not the same in different climates. According to the coefficients related to the equations, the highest and the lowest effect on soil temperature at different depths, are the maximum temperature and sunshine hours. With increasing depth, regression coefficients decrease as well. In all stations, regression coefficient at depths of 5 and 10 cm has been calculated between 0.98-0.99, and at depth of 100 cm has been calculated between 0.87-0.92, shows decreased about 10% of this coefficient with increasing the depth. According to the results and equations obtained for each station and different climates in Fars Province, this equation can be used to estimate soil temperature in areas without data.

Keywords: Meteorological Parameters, Soil Temperature, Multivariate Linear Regression, Correlation

Atashparvar S., and Shamsnia S A. 2022. Estimation of soil temperature spatial average at different depths using meteorological data in agricultural stations of Fars Province. *Applied Soil Research*, 9(4): 116-127.

1. Former MSc Student, Department of Soil Science, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

* Corresponding Author Email: ashamsnia_82@yahoo.com