

مقدمه

بدست آوردن رابطه‌ی بین پارامترهای هواشناسی و دمای خاک از موضوعاتی است که مورد توجه بسیاری از محققین است. تغییرات دما در اعماق زیاد خاک (۱۰ تا ۲۰۰ متری) بیانگر تغییر اقلیم است، در حالی که دماهای سطحی خاک نشان دهنده‌ی تغییرات کوتاه مدت است [۴]. تغییرات روزانه و سالانه‌ی درجه‌ی حرارت خاک برای عرض‌های متفاوت جغرافیایی نشان می‌دهد که در مناطق معتدل، نوسان فصلی و یا سالانه‌ی دمای خاک در اعماق بیش از ۸ متری ناچیز است و در اعماق پایین‌تر ثابت مانده و تغییر نمی‌کند، در حالی که در مناطق استوایی نوسان دما عمدتاً تا عمق یک متری صورت می‌گیرد، ضمن این که از سطح به عمق خاک، تغییرات دما کاهش می‌یابد [۱۳]. انرژی گرمایی در سطح خاک به طور مداوم با اعماق آن در تبادل است. پس همواره تحت تأثیر نوسانات روزانه و سالانه می‌باشد، که تغییرات روزانه‌ی دمای خاک در اعماق کم‌تر و تغییرات سالانه‌ی خاک در اعماق بیشتر رخ می‌دهد [۶]. به منظور اطلاع رسانی به کشاورزان در زمینه‌ی میزان تغییرات دمای خاک منطقه، باید اطلاعات درستی از میزان دما در اعماق مختلف در دست باشد. به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل نوسانات زیاد دمایی و تبخیر، بررسی روند تغییرات دمای اعماق خاک با استفاده از پارامترهای هواشناسی ضروری می‌باشد [۱۶]. همچنین بذر گیاه برای جوانه‌زنی بهتر و رشد سریع‌تر به دمای خاصی نیاز دارد و بایستی در زمان و عمق خاصی که دمای مطلوب را دارد، کاشته شود. روش‌های زیادی برای محاسبه‌ی دمای خاک وجود دارد که روش‌های سری فوری^۲، رگرسیون چند متغیره، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، معادلات موازنه‌ی انرژی و نهایتاً استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت نشان دادن تغییرات مکانی مقادیر، از این قبیل هستند. محققین در ایستگاه سینوپتیک بندرعباس، با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده و آنالیز رگرسیون چندمتغیره، به بررسی تأثیر خشکسالی بر دمای خاک پرداختند. نتایج نشان داد، مقیاس زمانی سه ماهه خشکسالی، بالاترین همبستگی (۰/۹۹) را با دمای خاک در اعماق مختلف دارد [۳].

سیستیک و بالتیک [۱۲] یک روش آماری جهت تعیین شیب قائم دما با استفاده از مشاهدات مجاور سطح زمین ارائه نمودند، که همبستگی آماری بین تابش و دمای مجاور سطح خاک به خوبی محسوس بوده است و نشان داد، با افزایش میزان تابش، دمای خاک

مقایسه روش رگرسیون چند متغیره و شبکه‌ی عصبی مصنوعی در مدل‌سازی دمای خاک با استفاده از عناصر هواشناسی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک بندرعباس)

سعید خوشحال^۱ و ام‌البنین بذرافشان^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۰۳

چکیده

دمای خاک به عنوان یک عنصر مهم و تأثیرگذار در رشد گیاهان مطرح است، که در ایستگاه‌های هواشناسی به صورت منظم و پیوسته اندازه‌گیری نمی‌شود، از این روی داده‌های دمای خاک با کمبود آماری مواجه است. دمای خاک در اعماق مختلف متفاوت و متأثر از دمای محیط بیرون و دیگر عوامل است. در این تحقیق سعی شده است تا دمای اعماق مختلف خاک رسی - شنی (۵۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰، ۵ و ۱۰۰ سانتی‌متری) را به کمک پارامترهای روزانه‌ی هواشناسی موجود در ایستگاه هواشناسی بندرعباس به روش رگرسیون چند متغیره و شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای دوره آماری سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶ مدل‌سازی شود. پس از محاسبه‌ی ضریب همبستگی بین دمای اعماق خاک با پارامترهای هواشناسی مشخص گردید، دمای خشک، مقدار تبخیر و دمای نقطه‌ی شبنم بیش‌ترین همبستگی را با دمای خاک در اعماق مختلف دارد. میزان قدر مطلق خطای محاسبه شده در روش رگرسیون بین ۱/۰۹ درجه (برای عمق ۱۰ سانتی‌متری) و ۱/۸۸ درجه (برای عمق ۱۰۰ سانتی‌متری) و در روش شبکه‌ی عصبی بین ۱/۱۷ و ۱/۸۵ درجه می‌باشد. بنابراین با توجه به ساده بودن رگرسیون چندمتغیره و عدم تفاوت زیاد با نتایج شبکه عصبی مصنوعی، از مدل فوق در مناطق مشابه برای پیش‌بینی دمای خاک می‌توان بهره برد.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون چندمتغیره، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، دمای خاک، پارامترهای هواشناسی، مدل‌سازی

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد رشته هواشناسی، دانشگاه هرمزگان

۲- استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان و نویسنده مسئول:
Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

نشده است. بر این اساس هدف از تحقیق فوق مدل سازی رابطه بین پارامترهای هواشناسی و دمای خاک در اعماق مختلف در مقیاس روزانه به کمک دو مدل رگرسیون چندگانه و شبکه‌ی عصبی مصنوعی است.

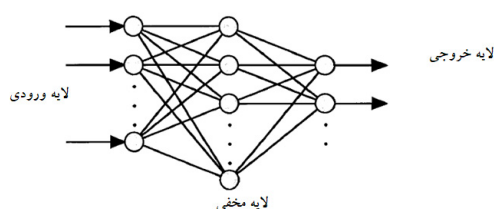
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، ایستگاه سینوپتیک بندرعباس، در ساحل خلیج فارس است. در این ایستگاه، میانگین بارش ۱۲۰ میلی‌متر و میانگین دما ۲۷ درجه سانتی‌گراد و جنس خاک رسی- شنی است. برای برآورد دمای خاک در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از پارامترهای میانگین دمای خشک روزانه، رطوبت، تابش، ساعات آفتابی، سرعت باد، میانگین دمای نقطه‌ی شبنم روزانه و میانگین تبخیر روزانه موجود در ایستگاه هواشناسی بندرعباس استفاده شده است.

در این روش چندین مدل شبکه عصبی و مدل رگرسیون چندمتغیره برای بازیابی پارامتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و در نهایت مدلی که کم‌ترین میزان خطا را براساس شاخص میانگین خطای مطلق دارا باشد، انتخاب شده است.

شبکه عصبی مصنوعی

در این مطالعه از روش از شبکه‌های عصبی مستقیم^۲ (DANN) برای پیش‌بینی یک گام به جلو استفاده شد. از مزایای شبکه عصبی مصنوعی مستقیم نسبت به مدل‌های غیرقطعی قدرت آموزش و یادگیری و در نظر گرفتن بخش غیرخطی سری‌های زمانی است [۹] (شکل ۳). لازم به ذکر است که تمامی پارامترهای فوق به صورت میانگین روزانه طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶ است. از بین ۸۹۰۰ داده روزانه حدود ۸۰٪ آن‌ها را برای آموزش و تقریباً ۲۰٪ آن‌ها برای آزمون مورد استفاده قرار گرفته‌اند.



شکل ۱: شبکه عصبی مستقیم [۸]

در مطالعه حاضر لایه خروجی شبکه دارای یک نرون است که نشان‌دهنده گام زمانی به ترتیب یک روز بعد است. برنامه‌ای با استفاده از نرم‌افزار MATLAB برای شبکه عصبی یک گامه مستقیم نوشته شد. الگوریتم آموزش مورد استفاده، الگوریتم پس‌انتشارخطا، تکنیک یادگیری مارکوارت-لونیبرگ^۳ و تابع انتقال مورد استفاده در لایه مخفی و خروجی به ترتیب تانژانت سیگموئید و خطی بود.

نیز زیاد شده است. ماکلین و آیرتس [۸] با استفاده از رگرسیون خطی چندمتغیره، ارتباط بین دمای خاک با پارامترهای هواشناسی را تعیین کردند. نتایج نشان‌دهنده پاسخ مناسب مدل در عمق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری خاک است. ژنگ و همکاران [۱۸] به بررسی ارتباط دمای روزانه خاک با استفاده دمای هوا پرداختند. نتایج نشان داد، ارتباط مستقیمی بین تغییرات دمای هوا با دمای خاک در عمق ده سانتی‌متری وجود دارد.

عباسی و همکاران [۱] توانستند روابط ساعتی، روزانه و ماهانه‌ی دمای اعماق خاک با دمای هوا و رطوبت خاک تعیین کنند. تحقیق فوق با روش رگرسیون چند متغیره و مدل نرم افزار آماری Jump صورت پذیرفت. حسینی شمچی و ضرغام نیا [۶] به بررسی نوسانات دمای اعماق مختلف خاک و دمای سطح خاک با دمای هوا، در اردبیل پرداختند، نتایج نشان داد، همبستگی دمای حداقل هوا با دمای خاک بالا (۰/۹۵) و معنی‌دار است. آن‌ها هم چنین نشان داده‌اند که تغییرات روزانه‌ی دمای هوا اثر مهمی بر دمای خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری دارد. تغییرات ماهانه‌ی دما نیز نشان می‌دهد که افزایش عمق خاک، سبب کاهش اثر دمای هوا بر دمای خاک شده و سیکل سالانه‌ی دما نیز یک تأخیر زمانی و استهلاک دامنه دما با عمق را نشان می‌دهد.

نجفی‌مود و همکاران [۱۰] به ارائه‌ی یک رابطه‌ی ساده و منطقی بین درجه‌ی حرارت هوا و اعماق مختلف خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر)، با استفاده از معادله رگرسیونی درجه دو، در شهرستان‌های خراسان رضوی پرداختند. نتایج نشان داد، با توجه به ضرایب همبستگی، رابطه برای عمق ۱۰۰ سانتی‌متری غیر قابل قبول اما برای سایر اعماق مناسب و مورد توجه است. همچنین طی بررسی‌های یزدانی و همکاران [۱۶] با استفاده از روش‌های رگرسیونی، شبکه عصبی و داده‌های روزانه هواشناسی در سه ایستگاه مشهد، سبزوار و شیراز گزارش دادند، دمای هوا، تبخیر و تعرق و تبخیر از تشت به ترتیب بیشترین ضریب همبستگی را با دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متر دارند. با توجه به ضرایب همبستگی و نتایج دو مدل، بهترین پارامترهای ورودی به ترتیب دمای هوا، تبخیر و تعرق، رطوبت و باران مؤثر با تأخیر زمانی یک روز را برای ورودی مدل در نظر گرفته‌اند. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیده‌اند که رگرسیون درجه دوم تک متغیره دارای کمترین دقت و در مقابل بالاترین دقت در شبکه‌ی عصبی حاصل شده است. اسدی و همکاران [۲] با استفاده از سه روش آماری رگرسیون چندمتغیره خطی، شبکه عصبی مصنوعی و K- نزدیکترین همسایگی^۱، به تخمین دمای خاک پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش عمق خاک، کارایی مدل‌ها کاهش می‌یابد.

جمع‌بندی مرور منابع نشان می‌دهد، تحقیقی که به بررسی ارتباط بین دمای خاک در اعماق مختلف با تاکید بر متغیرهای اقلیمی در مقیاس روزانه در یک منطقه فراخشک بیابان ساحلی پردازد، دیده

2. Direct Artificial neural network
3. Marquard-Levenberg

1. K-Nearest Neighbor -K-NN

سرعت یادگیری، ضریب مومنتوم و تعداد دوره^۱ به ترتیب برابر ۰/۰۱، ۰/۹ و ۲۰۰۰ در نظر گرفته شد و تنها یک لایه مخفی برای شبکه در نظر گرفته شد. تعداد نرون‌های ورودی و مخفی بهینه به منظور داشتن بالاترین دقت از طریق آزمون و خطا تعیین و مقدار n (تعداد نرون‌های ورودی) برابر با ۲۰ و تعداد نرون‌های لایه مخفی از ۱ تا $1n+2$ متغیر در نظر گرفته شد. با اجرای برنامه کلیه حالات بررسی شد و ساختاری که بیشترین ضریب همبستگی و کمترین مقادیر خطا را داشت به عنوان ساختار بهینه شبکه عصبی مصنوعی مستقیم معرفی گردید [۱۷].

مدل رگرسیون چند متغیره

نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون نرمال‌سازی کلموگراف اسمیروف^۲ (K-S) مورد آزمون قرار گرفت و با استفاده از توابع تبدیل نظیر تبدیل لگاریتم، تبدیل جذر، تبدیل نمایی، تبدیل باکس-کاکس و تبدیل یو جانسون داده‌ها نرمال گردید. صحت و همگنی داده‌ها با آزمون ران-تست^۳ و کفایت داده‌ها با آزمون هارست^۴ [۳] و داده‌ها استاندارد شد. میزان همبستگی بین مقادیر فاکتورهای هواشناسی در اعماق (۵، ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰) سانتی‌متر با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره تحت نرم افزار MINITAB17 برای هر عمق به صورت جداگانه ارائه گردید. جهت تعیین هم بستگی بین دمای خاک و دیگر متغیرهای هیدرواقليمی، معادله هم بستگی خطی چند متغیره زیر (رابطه ۱) بین متغیر وابسته (Y) و متغیرهای مستقل هیدرواقليمی (X) برقرار گردید.

$$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots a_nx_n \quad (1)$$

Y: دمای خاک در عمق مورد نظر (متغیر پیش‌بینی شونده)، $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$: متغیرهای هواشناسی پیش‌بینی کننده و $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$: ضرایب ثابت و شیب خط.

شاخص‌های خطا

الف) میانگین خطای مطلق^۵: یکی از معمول‌ترین شاخص‌هایی که در روش‌های آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد، میانگین خطای مطلق می‌باشد و مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (1)$$

که در آن X_i و Y_i : i امین داده واقعی و برآورد شده و n تعداد نمونه‌های ارزیابی می‌باشند [۴].

ب) ضریب همبستگی خطی^۶: دومین شاخص، ضریب همبستگی خطی بین مقدار مشاهده شده و محاسبه شده است که مطابق رابطه

زیر محاسبه می‌شود.

$$Corr = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2)$$

که در آن σ_x و σ_y انحراف استاندارد در X و Y هستند و $cov(x,y)$ کوواریانس بین نمونه‌ها است. در حالت ایده‌آل مقدار این کمیت باید به سمت ۱ میل کند [۳].

نتایج و بحث

مقادیر ضریب همبستگی بین دمای خاک در اعماق مختلف و پارامترهای هواشناسی در شکل ۱ ارائه گردید. همان طور که از شکل‌ها مشخص می‌شود، بیش‌ترین ضریب همبستگی مربوط به دمای خشک و کم‌ترین آن مربوط به درصد رطوبت می‌باشد. نتایج رایت و کرو [۱۵]، سبزی‌پرور و همکاران [۱۰] و یزدانی و همکاران [۱۶] نیز بالا بودن ضریب همبستگی دمای هوا با دمای خاک را تایید می‌کند. همچنین مشاهده می‌شود که هر چه به عمق خاک افزوده می‌شود، ضریب همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و دمای خاک کاهش می‌یابد. براساس نتایج محققین [۶]، دمای خاک در اعماق بیشتر مستقل از دمای روزانه بوده و در مقیاس بلندمدت زمانی تغییر می‌نماید. برای نمونه ضریب همبستگی بین دمای هوا و دمای خاک از ۰/۹۸ در عمق ۵ سانتی‌متری به ۰/۸۷ در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری کاهش یافته است.

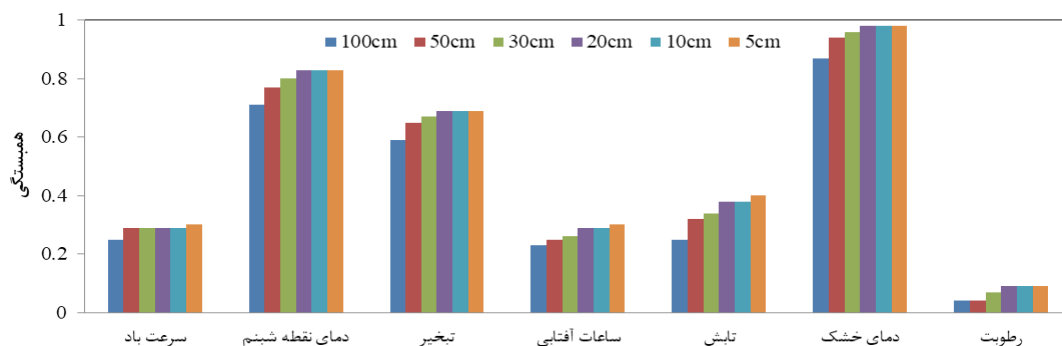
رگرسیون خطی چند متغیره

برای محاسبه دمای اعماق خاک، از رابطه‌های مختلف با پارامترهای ورودی متفاوت استفاده شد و با در نظر گرفتن پارامترهای آماری، مناسب‌ترین رابطه در هر عمق محاسبه گردید (جدول ۱). بهترین نتایج با در نظر گرفتن مقادیر دمای خشک، مقدار تبخیر و دمای نقطه‌ی شبنم، به عنوان ورودی حاصل شد. مطابق جدول ۱ با اضافه شدن به عمق خاک مقدار ضریب رگرسیونی مربوط به دمای خشک کاهش می‌یابد، این کاملاً بدیهی است که با افزایش عمق مقدار تاثیر دمای هوا کاهش یابد. چنین نتیجه‌ای از سوی یزدانی و همکاران [۱۶] و تامسزاک و شاتزل [۱۴] نیز گزارش شده است. که با تحقیقات نجفی مود و همکاران [۱۰]، یزدانی و همکاران [۱۶]، جعفری گلستان و همکاران [۷] و سبزی‌پرور و همکاران [۱۰] مطابقت دارد. مطابق جدول ۱ و شکل ۲، با افزایش عمق، مقادیر پارامترهای خطا افزایش و ضریب همبستگی کاهش می‌یابد، که مهم‌ترین دلیل آن مستقل بودن تغییرات دما در اعماق به تغییرات روزانه متغیرهای آب و هوایی است [۶].

نتایج شبکه‌ی عصبی مصنوعی

در این تحقیق برای برآورد دمای اعماق خاک، علاوه بر روش رگرسیون چندگانه از روش شبکه عصبی مصنوعی نیز استفاده شده

1. Epoch
2. Klogmogrov -Smirnov
3. Run Test
4. Hurst Test
5. Mean Absolute Error(MAE)
6. linear correlation coefficient



شکل ۱: همبستگی بین پارامترهای مختلف هواشناسی و دمای خاک در اعماق مختلف خاک

جدول ۱: ضرایب مربوط به معادله‌ی رگرسیون خطی چند متغیره برای ایستگاه بندرعباس، مقادیر a ، b ، c ، d ثابت‌های معادله رگرسیون خطی به ترتیب برای دمای خشک، دمای نقطه شبنم و تبخیر و d ضریب ثابت معادله

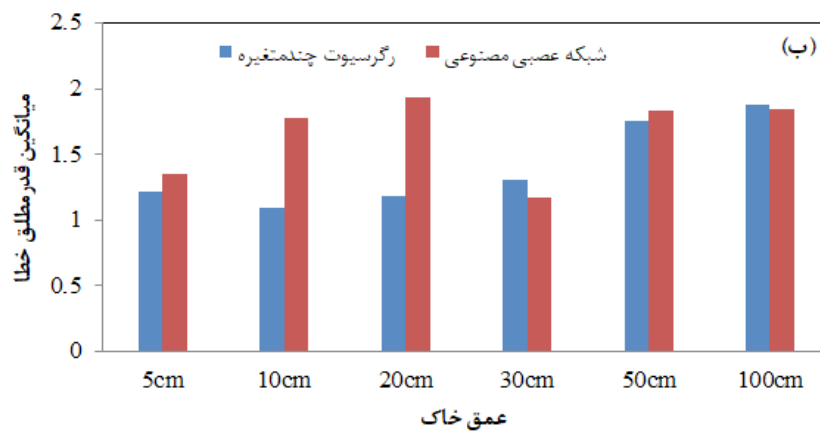
عمق خاک (cm)	a	b	c	d	اندازه‌ی میانگین دمای خاک (°C)	میانگین خطای مطلق (°C) (MAE)	ضریب همبستگی
۵	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۹۵	۱/۷۵	۳۰/۶	۱/۲۲	۰/۹۸
۱۰	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۹۲	۲/۱۸	۲۹/۷	۱/۰۹	۰/۹۸
۲۰	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۹۱	۲/۹۸	۲۹/۵	۱/۱۸	۰/۹۷
۳۰	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۸۶	۴/۸	۲۹/۳	۱/۳۱	۰/۹۶
۵۰	۰/۰۲	-۰/۰۱	۰/۸۳	۷/۵	۳۰/۷	۱/۷۶	۰/۹۳
۱۰۰	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۹	۰/۶۸	۱۲/۷۷	۳۰/۴	۱/۸۸	۰/۸۸

بعضی موارد روش شبکه عصبی برای برآورد دمای اعماق خاک مناسب‌تر می‌باشند. این اختلاف‌ها ممکن است به دلیل تفاوت در اقلیم و ویژگی‌های خاک منطقه و تعداد سال‌های مورد مطالعه باشد. همچنین سبزی‌پرور و همکاران [۱۰] به این نتیجه رسیده‌اند که بین عمق خاک و میزان خطای RMSE رابطه‌ای معکوس وجود دارد. از این رو با توجه به نتایج، خطای هر دو روش در یک محدوده می‌باشد (برای مثال در روش رگرسیون میزان خطای MAE در عمق ۱۰ سانتی‌متری از روش شبکه عصبی کم‌تر است اما برای عمق ۱۰۰ سانتی‌متری این موضوع برعکس می‌شود و روش شبکه عصبی خطای کم‌تری را نشان می‌دهد)، از این رو روش رگرسیون چند متغیره به دلیل ساده بودن، برای برآورد دمای خاک در اعماق مختلف از روش شبکه عصبی مصنوعی مناسب‌تر است. شکل ۳ مرحله صحت سنجی دو مدل مورد استفاده در عمق ۵ و

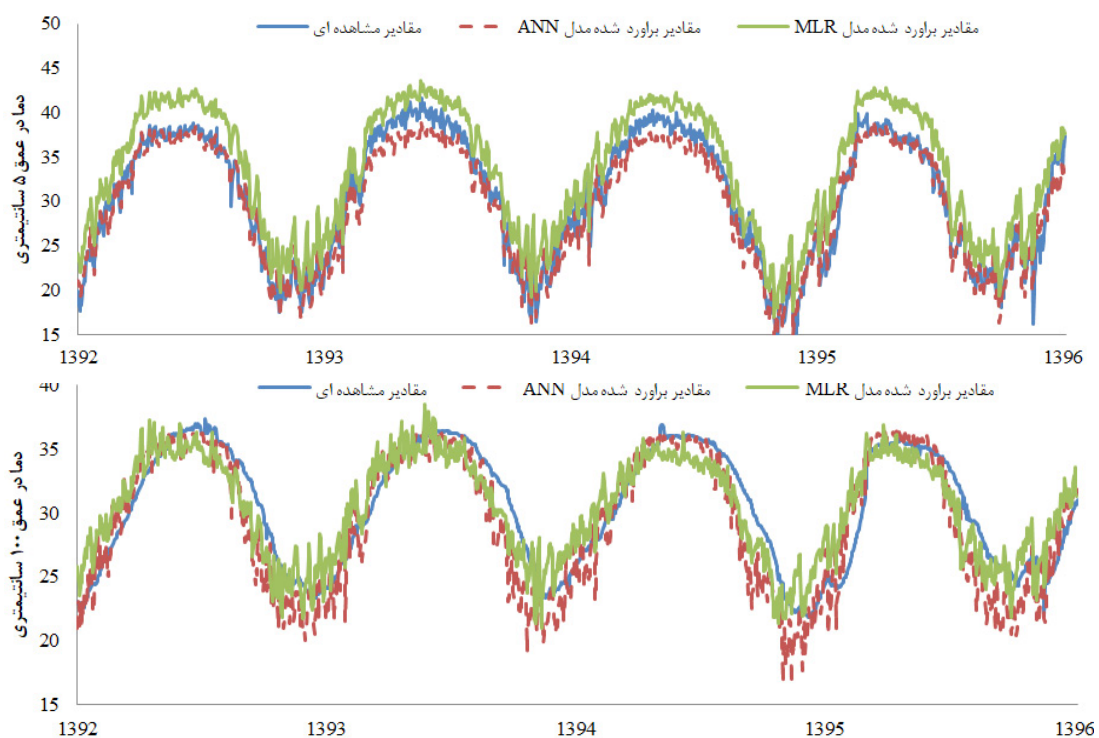
است. اطلاعات مربوط به نتایج جدول ۲ ارائه شده است، همان‌طور که در شکل ۲ نیز مشاهده می‌شود، در شبکه عصبی نیز با افزایش عمق خاک خطا زیاد و همبستگی کاهش می‌یابد، بیشترین میزان خطا مربوط به عمق ۱۰۰ سانتی‌متری و کم‌ترین آن مربوط به عمق ۳۰ سانتی‌متری (با اندکی اختلاف از عمق ۵ سانتی‌متری) می‌باشد. یزدانی و همکاران [۱۲] نیز به نتایجی مشابه دست یافته‌اند؛ مقدار کمینه و بیشینه‌ی خطای MAE برای این روش به ترتیب، ۱/۵ و ۲/۵ درجه سانتی‌گراد است در حالی که میزان کمینه و بیشینه خطای فوق در این تحقیق و برای این روش به ترتیب ۱/۱۷ و ۱/۸۵ سانتی‌گراد به دست آمده است، همچنین آن‌ها نشان داده‌اند که روش شبکه عصبی از روش رگرسیون در فصل زمستان و برای شهرهای مشهد، سبزوار و شیراز نتایج بهتری را نشان می‌دهد اما در این تحقیق و برای شهرستان بندرعباس در بعضی موارد روش رگرسیون و در

جدول ۲: شاخص‌های خطا برای روش شبکه عصبی مصنوعی

عمق خاک (cm)	ساختار شبکه	تعداد تکرار	اندازه‌ی میانگین دمای خاک (°C)	میانگین خطای مطلق (°C) (MAE)	ضریب همبستگی
۵	(۲، ۵، ۲)	۲۰۰۰	۳۰/۶	۱/۳۵	۰/۹۷
۱۰	(۳، ۶، ۵)	۲۰۰۰	۲۹/۷	۱/۷۸	۰/۹۳
۲۰	(۲، ۷، ۵)	۲۰۰۰	۲۹/۵	۱/۳۹	۰/۹۷
۳۰	(۲، ۶، ۳)	۲۰۰۰	۲۹/۳	۱/۱۷	۰/۹۷
۵۰	(۵، ۹، ۳)	۲۰۰۰	۳۰/۷	۱/۸۳	۰/۹۳
۱۰۰	(۳، ۱، ۵)	۲۰۰۰	۳۰/۴	۱/۸۵	۰/۹۱



شکل ۲: تغییرات ضرایب همبستگی (الف) و خطا (ب) در مدل های مورد استفاده



شکل ۳: مقایسه مقادیر برآورد شده و مقادیر واقعی دمای خاک در عمق ۵ و ۱۰۰ سانتی متری

Analysis air minimum temperature and soil temperature in Ardabil. Journal of Natural Geography, 14(4): 87-102.

7. Jafari Golestan, M., Raeini Sarjaz, M., and Zia Tabar Ahmadi, M. 2005. Estimation of soil temperature using regression methods for urbinazation (Case stuy: Sari City). Journal of Gorgan Agriculture and Natrural Resources, 14(5):112-123.

8. Maclean Jr S. F. Ayres M.P. 1985. Estimation of soil temperature from climate variables at Barrow, Alaska, USA. Arctic and Alpine Research, 17: 425-432.

9. Mishra, A. K. Desai, V. R. (2006) Drought Forecasting Using feed-forward recursive neural network. Journal of Ecological Modelling, 198: 127-138.

10. Najafi Mood, M.H., Alizadeh, A., Mohammadian, A., and Mousavi, J. 2007. Analysis of Soil temperature with air temperature and frozen depth (Case Study: Razavi Khorasan province). Journal of Soil and Water, 22(2): 456-466.

11. Sabziparvar, A. A., Tabari, H., Aeini, A., 2010, Estimationn of Mean Daily Soil Temperature by Means of Meteorologocal Data in Some Selected Climates of Iran, Journal of Soil and Water Conservation, 14 (52): 125-138.

12. Sistick and Baltic, (1986): Have Presented a Platically Method Determine The Vertical Gradient Using The Observation of The Nearby Earth Surface, PP 213.

13. Smith, G. D. (1964). Soil-temperature regimes their characteristics and predictability. FAO Press, USA, 260 Pp.

14. Tomczak, D.M., and Schaetzel, R.J. (2001). Wintertime temperature in the fine - textured soils of the Saginaw valley, Michigan. The Great Lakes Geographer, 8: 87- 98.

15. Wright, L., and Crew, J.T. (2000). Temperature and soil moisture regimes in and adjacent to the Fernow experimental forest. USDA. Research paper. Volume 713, pp 1-4.

16. Yazdani, V., Ghahraman, B., Farahi, G., and Nouri, H. 2010. Modeling of soil temperature using meteorological variables. Journal of Soil and Water Conservation Research, 19(4): 1-23.

17. Zhang, G. Patuwo, B.E. and Hu, M.Y. (1998) Forecasting with artificial neural networks: the state of arts. International Journal of Forecast, 14, 35-61.

18. Zheng P, Et al. (1993) SPK1 is an essential S-phase-specific gene of Saccharomyces cerevisiae that encodes a nuclear serine/threonine/tyrosine kinase. Mol Cell Biol, Volume 13(9), pp 5829-42.

به منظور برآورد دقیق دمای اعماق مختلف خاک به دو روش رگرسیون چند متغیره و روش شبکه عصبی مصنوعی و برای انتخاب ورودی‌های مناسب، ابتدا ضریب همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و دمای خاک در عمق‌های مختلف محاسبه شد، نتایج نشان داد، پارامترهای میانگین دمای نقطه شبنم، مقدار تبخیر و میانگین دمای خشک بیشترین میزان همبستگی را با دمای خاک در اعماق مختلف از خود نشان دادند، از این رو این پارامترها به عنوان ورودی‌های مدل انتخاب شدند. بیشترین میزان همبستگی مربوط به دمای خشک، و کمترین آن مربوط به مقدار رطوبت می‌باشد.

طی بررسی‌های انجام شده در این مطالعه مشخص شد که برای برآورد دمای اعماق مختلف خاک برای منطقه‌ی بندرعباس تفاوت چشمگیری بین عملکرد روش رگرسیون چند متغیره و روش شبکه عصبی مصنوعی وجود ندارد، اما آنچه که بین این روش‌ها مشترک بود، این است که با افزایش عمق خاک میزان خطای محاسبات نیز افزایش می‌یابد که امری طبیعی است، زیرا تغییرات لایه‌های عمیق زمین مستقل از تغییرات لحظه‌ای هوا بوده و تحت تاثیر تغییرات بلندمدت عوامل اقلیمی است. به دلیل ساده بودن فرایند مدل‌سازی روش رگرسیون چندمتغیره نسبت به روش شبکه عصبی و به لحاظ صرفه‌جویی در وقت، روش رگرسیونی مقرون به صرفه‌تر بوده و برای مدل سازی دمای خاک در مناطق مشابه معرفی می‌گردد. نهایتا نتایج تحقیق فوق نشان داد، پارامترهای هواشناسی در پیش‌بینی دمای سطحی خاک، مؤثرتر بوده در حالی که برای پیش‌بینی دمای خاک در اعماق زیاد، پارامترهای فوق نیاز به توسعه از نظر مقیاس زمانی دارند.

منابع

1. Abbasi, A. 2005. Analysis of Soil temperature with air temperature and frozen depth in Kurdistan province, MSc thesis, Ferdowsi University of Mashhad.

2. Asadi Parto, A., Eghbalzadeh, A., and Javan, M. 2014. Numerical Study of the Slot Width Effect on Flow Pattern Around a Bridge Pier. Journal of Soil and water, 24(1): 103-114.

3. Bazrafshan O. and Dehghanpir S. 2016. Estimation of Soil Temperatures in Difference Depths Using Hydro Climatic Factors in the Coastal Deserts (Case study: Bandar Abbas). Journal of Rainwater Catchment Systems.; 4 (1) :13-24.

4. Ferguson G., and Beltrami H. 2006. Transient lateral heat flow due to land-use changes. Earth and Planetary Science Letters, Volume 242, pp 217-222.

5. Ghuman, B.S., and Lal, R. (1982). Temperature regime of a tropical soil in relation to surface condition and air temperature and its Fourier analysis, Soil science, Volume 134, pp 133-140.

6. Hoseini Shamchi, A., and Zarghamnia, A. 2011.



Abstract

**Modeling of Soil Temperature Using Meteorological Factors,
Multivariable Regression and Artificial Neural Networks (Case Study:
Bandar- Abbas Synoptic Station)**S. Khoshahl¹ and O. Bazrafshan^{*2}

Received: 2018/09/07 Accepted: 2019/02/22

Soil temperature is an important and influential parameter on plant growth that is not measured regularly and continuously at all weather stations. Thus, soil temperature data is lacking. Soil temperature differs in depth and is affected by ambient. The aim of this study is modeling soil temperature in the different depths (5, 40, 20, 30, 50 and 100 cm) and clay- sandy texture using meteorological factors, multivariate regression and artificial neural network in the Bandar Abbas synoptic station during 1993-2017. Result showed that the air temperature, pan evaporation and dew point have the highest correlation coefficient with soil temperature. The mean absolute error (MAE) is 1.09-1.88°C (from 10 to 100 cm of soil depth) in the multivariate regression model while it is 1.17-1.85 °C in the artificial neural networks. Thus, multivariate regression model is proposed due to the simplicity and the lack of significant difference with artificial neural network model. This model can be used in similar regions to predict soil temperature in different depth.

Keywords: Multivariate regression, Artificial neural networks, Soil temperature, Meteorological factors, Modeling.

1- MSc Graduated of Meteorological, University of Hormozgan.

2- Assistant Professors, Department of Natural Resources engineering, University of Hormozgan, Corresponding Author, Email: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir.