

## مقدمه

خاک به عنوان یک منبع طبیعی و مهم ترین بستر حیات جایگاه ویژه‌ای را در اکوسیستم کره زمین بر عهده دارد [۱]. از خصوصیات مهم خاک می‌توان به رژیم دمایی حاکم بر آن اشاره کرد که روی بسیاری از فرآیندهای زیستی به ویژه پراکنش گیاهان و جانوران، فعالیت‌های بیولوژیکی و حرکت آب در خاک تأثیر می‌گذارد. انرژی گرمایی در سطح خاک به طور مداوم با اعماق آن در تبادل است و همواره در معرض نوسانات روزانه و سالانه است. دمای خاک در اعماق مختلف متفاوت بوده و تا اعماق معینی از نوسان روزانه و سالانه برخوردار است و به عوامل متعددی از جمله توپوگرافی، تابش خورشید، دمای هوا، میزان رطوبت خاک، نوع و ویژگی‌های حرارتی خاک بستگی دارد [۱۴]. اندازه‌گیری دمای خاک عمدتاً در مطالعات هیدرولوژی، هواشناسی کشاورزی و اقلیم‌شناسی استفاده می‌شود [۲]. دمای خاک به طور قابل توجهی بر نرخ جوانه‌زدن و رشد گیاهان تأثیر اساسی دارد. به طوری که اولین مرحله رشد گیاه (جوانه‌زدن و سبز شدن)، نیز به درجه حرارت، رطوبت و میزان هوای موجود در خاک بستگی دارد [۱۱]. دمای خاک نقش مهمی در تجزیه خاک و همچنین تنظیم بسیاری از فرایندها از جمله سرعت توسعه گیاهان و رشد آنها دارد. به طوری که تغییر در دمای خاک می‌تواند معیاری برای سنجش تغییر اقلیم باشد [۵]. در مناطق سرد و پر باران یخ‌زدگی خاک باعث کاهش نفوذپذیری و در نتیجه افزایش رواناب سطحی و فرسایش خاک در طول دوره یخبندان یا بارندگی می‌شود [۱۹، ۲۱]. کاهش بیش از حد دمای خاک باعث کاهش رشد ریشه، سرمازدگی و صدمه به گیاهان می‌شود و نیز یخ‌زدن آب خاک سبب کاهش نفوذپذیری خاک شده و ضریب رواناب را افزایش می‌دهد.

دمای خاک در عمق‌های مختلف، رفتار زمانی و مکانی مختلفی دارد. بر اساس تحقیقات انجام شده، دمای داخل خاک متأثر از متغیرهای مختلفی از قبیل: دمای هوا، تابش خورشیدی، سرعت باد، خصوصیات فیزیکی خاک قرار دارد. از این رو، برآورد دمای خاک به ویژه در نزدیکی سطح زمین که نوسانات آن زیادتر است، تا حدودی مشکل می‌باشد [۱۲]. تاکنون تحقیقات متعددی در خصوص دمای خاک در اعماق مختلف و عوامل مؤثر بر آن انجام شده است. کمالی و همکاران [۱۱] رابطه دمای هوا با دمای عمق خاک در سطوح مختلف رطوبتی را در زرقان فارس مورد بررسی قرار دادند. آنها برای این منظور از آمار مربوط به دمای هوا، رطوبت و دمای اعماق

تحلیل الگوی تغییرات دمای اعماق مختلف خاک  
تحت تأثیر رطوبت و دمای هوا  
(مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)حسن علی پورا<sup>۱</sup> و مجید کاظم‌زاده<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۷

## چکیده

در این مطالعه، به منظور تحلیل الگوی تغییرات دمای اعماق مختلف خاک تحت تأثیر دمای هوا (حداقل، میانگین و حداکثر) و رطوبت هوا (کمینه، میانگین و بیشینه) از آزمون‌های پیرسون و رگرسیون از ایستگاه سینوپتیک طالقان طی دوره آماری ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۴ استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد که بیشترین ضریب همبستگی، مربوط به دمای هوا و کمترین آن مربوط به رطوبت هوا که مقدار عکس دارد، می‌باشد. به طوری که بیشترین ضریب تبیین دما و رطوبت هوا در عمق پنج سانتی‌متری و کمترین آن در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری بوده است. به منظور برآورد دمای اعماق خاک از روی متغیرهای دما و رطوبت هوا، مدل‌های رگرسیونی برازش داده شده، با استفاده از ۷۰ درصد داده‌ها کالیبره و با ۳۰ درصد آنها صحت‌سنجی گردیدند. بدین صورت برای ارزیابی دقت مراحل کالیبراسیون و صحت‌سنجی از معیارهای ارزیابی خطا RMSE و NSE استفاده گردید که نتایج معیارهای ارزیابی خطا در حالت کلی نشان داد که مدل‌های رگرسیونی ارائه شده از کارایی خوبی در برآورد دمای اعماق مختلف خاک را داشته‌اند به طوری که بررسی مدل‌های رگرسیونی نشان داد که کارایی این مدل‌ها در اعماق نزدیک به سطح بهتر بوده است و با افزایش عمق مقادیر ضریب همبستگی کاهش و مقادیر معیارهای ارزیابی خطا افزایش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: مدل‌های رگرسیونی، دمای خاک، ضریب تبیین،

NSE

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران  
۲- نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، پست الکترونیک: Mkazemzadeh@ut.ac.ir

مدل قابل اعتمادی برای پیش‌بینی متوسط درجه حرارت ماهانه خاک است. ایسلام<sup>۴</sup> و همکاران [۸] همبستگی بین دمای هوا و دمای خاک را با استفاده از آزمون‌های پیرسون و رگرسیون در داکای بنگلادش طی دوره آماری ۱۰ ساله بررسی کردند. نتایج نشان داد که تا عمق ۲۰ سانتی متری خاک همبستگی مثبت بالایی بین متغیر وابسته (درجه حرارت خاک) و متغیر مستقل (درجه حرارت هوا) وجود دارد. با توجه به مطالب بیان شده، اهداف تحقیق حاضر را به ترتیب بررسی همبستگی بین دمای ماهانه خاک در اعماق مختلف با دماهای میانگین، حداقل و حداکثر ماهانه‌ی هوا و رطوبت میانگین، کمینه و بیشینه هوا و هم‌چنین ارائه مدل رگرسیونی کالیبره و صحت سنجی شده در ایستگاه سینوپتیک طالقان می‌باشد که می‌تواند عمدتاً در مطالعات هیدرولوژی، هواشناسی کشاورزی و اقلیم‌شناسی استفاده شود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز طالقان از لحاظ تقسیمات کشوری در استان البرز قرار دارد و یکی از زیرحوزه‌های مهم سفیدرود به شمار می‌رود که از شمال به حوزه آبخیز الموت، از جنوب به زیاران و صمغ‌آباد، از شرق به بخشی از حوزه آبخیز کرج و از غرب به حوزه آبخیز شاهرود محدود گردیده است و در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز و در بخش شمال غربی تهران واقع شده است. ارتفاع متوسط آن ۲۷۴۰ متر از سطح دریا می‌باشد. منطقه مورد مطالعه (زیرحوزه شهرک طالقان) بخشی از حوزه آبخیز طالقان است و در بین دو زیرحوزه جویستان و حسنجان قرار دارد. میانگین بارش این زیرحوزه بیشتر از ۴۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن بالاتر ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. در این پژوهش به منظور تحلیل الگوهای تغییرات دمای اعماق مختلف خاک در زیرحوزه شهرک طالقان از داده‌های دمای هوا (حداقل، میانگین و حداکثر) و رطوبت هوا (کمینه، میانگین و بیشینه) و دمای اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک در ایستگاه سینوپتیک طالقان طی دوره آماری ۹ ساله (دی ماه ۱۳۸۶ تا اسفند ۱۳۹۴) به صورت ماهانه استفاده گردید که موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.

### بررسی روابط بین دمای اعماق خاک با دما و رطوبت هوا

رگرسیون خطی ساده: معمولاً برای بررسی نوع رابطه‌ی بین متغیرها از رگرسیون استفاده می‌شود. در این روش، رابطه‌ی بین متغیرها به صورت تابعی از متغیر وابسته که تغییرات متغیر مستقل را پیش‌بینی می‌کنند، مشخص می‌شود. رابطه رگرسیون خطی ساده برای پیش‌بینی متغیر وابسته (Y) توسط متغیر مستقل (X) به کار می‌رود. در واقع برای تعیین رابطه‌ی بین دو متغیر خطی از این روش استفاده می‌شود و رابطه آن به صورت زیر می‌باشد:

$$Y = a + bX \quad (1)$$

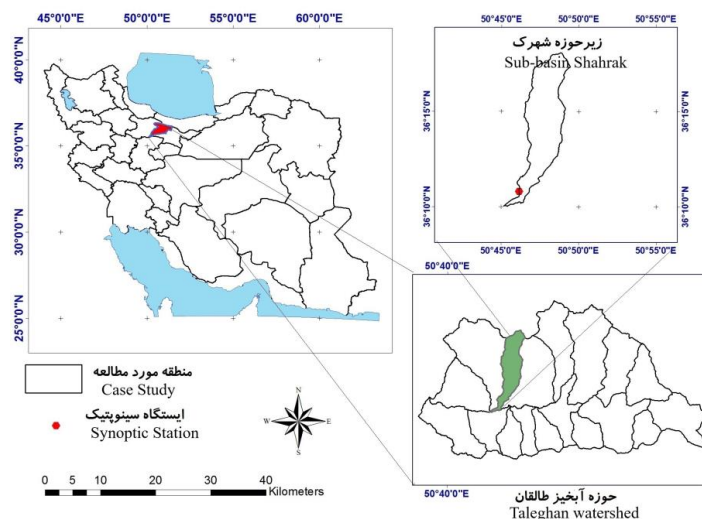
پنج و ۱۵ سانتی‌متری خاک در طی یک دوره پنج ماهه استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تأثیر همزمان دمای هوا و رطوبت خاک، می‌تواند در برآورد دمای خاک مؤثر باشد [۱۱]. سبزی‌پرور و همکاران [۱۸] برای برآورد میانگین روزانه دمای خاک در چند نمونه اقلیمی در ایران از داده‌های هواشناسی هشت ایستگاه منتخب استفاده کردند و بر مبنای برخی عناصر جوی، روابط تجربی را برای تخمین دماهای روزانه خاک در اعماق مختلف ارائه کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که روابط ارائه شده جهت تخمین دمای خاک در اعماق و اقلیم‌های مورد نظر قابل اعتماد می‌باشد [۱۸]. یزدانی و همکاران [۲۰] دمای اعماق خاک را با استفاده از پارامترهای هواشناسی در سه ایستگاه مشهد، سبزوار و شیراز و براساس روش‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مدل‌سازی کردند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که دمای هوا، تبخیر و تعرق و تبخیر به ترتیب بیشترین ضریب همبستگی را با دمای خاک در عمق پنج سانتی‌متر دارند. هم‌چنین رگرسیون درجه دوم تک‌متغیره و شبکه عصبی به ترتیب از کمترین و بیشترین دقت برخوردار بودند. ضمن این‌که رگرسیون چندمتغیره نیز از دقت مناسبی برخوردار بود [۲۰]. مجرد و صادقی [۱۳] روابط دمای سطح زمین با دماهای اعماق مختلف خاک را در پنج ایستگاه سینوپتیک استان کرمانشاه بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش عمق خاک، دامنه‌ی نوسان سالانه‌ی دما و به ویژه دامنه‌ی شبانه‌روزی دما کاهش می‌یابد تا این‌که در عمق ۵۰ سانتی‌متری، کمابیش اختلاف شبانه‌روزی دما از بین می‌رود. هم‌چنین نوسان‌های شبانه‌روزی دمای هر عمق، در تابستان بیشتر از فصول دیگر است. اختلاف سالانه‌ی دما بین سطح زمین و اعماق، تا عمق ۵۰ سانتی‌متری افزایش می‌یابد ولی از آن به بعد کمابیش به حالت ثابت می‌رسد [۱۳].

پاکلندنیووا<sup>۱</sup> و همکاران [۱۶] دمای سالانه‌ی خاک را در اعماق مختلف در ایستگاه پوهورلیس<sup>۲</sup> جمهوری چک طی طول دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۰ مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که متوسط درجه حرارت سالانه خاک، در دراز مدت از ۱۰ درجه سانتی‌گراد (در عمق ۲۰ سانتی‌متری) به ۱۰/۴ درجه سانتی‌گراد (در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری) رسیده بود [۱۶]. چاو<sup>۳</sup> و همکاران [۶] به مطالعه دمای اعماق خاک با استفاده از پارامترهای هواشناسی در یک دوره ۴ ساله (۲۰۰۶-۲۰۰۹) در هنگ‌کنگ پرداختند. آن‌ها با استفاده از ورودی‌ها، که شامل روز سال، عمق خاک و دمای هوا بودند، مدل‌های رگرسیونی غیرخطی چندمتغیره را توسعه دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل به کار رفته، یک مدل سریع و دقیق برای پیش‌بینی دمای خاک در اعماق مختلف خاک است [۶]. بیلقلی [۴] میانگین دمای ماهانه خاک را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بین سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۷ در ایستگاه هواشناسی آدانای ترکیه مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که رویکرد شبکه عصبی مصنوعی

1- Pokladníková

2- Pohořelice

3- Chow



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز طالقان و زیرحوزه شهرک طالقان  
 Fig1. Geographical location of Taleghan Watershed and Sub-Basin of Taleghan Town

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y}) \right]^2}{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2 \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (5)$$

در این روابط،  $X_i$  و  $Y_i$  به ترتیب  $i$  امین داده واقعی (مشاهده شده) و برآورد شده،  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  میانگین کل داده‌های  $X_i$  و  $Y_i$  در کل جامعه آماری و  $n$  تعداد کل نمونه‌های ارزیابی شده است [۲۰]. ضریب تبیین ( $R^2$ ) بدون بعد می‌باشد و هرچه به عدد یک نزدیک شود نشان می‌دهد که مدل خوب برآورد نموده است [۱۰]. یکی از شاخص‌های کمی مناسب که می‌توان برای برآورد میزان دقت مدل استفاده کرد، مجذور میانگین مربعات خطا می‌باشد. این معیار دقت مدل را براساس تفاضل بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده، ارزیابی می‌نماید و هر چه مقدار این معیار به صفر نزدیک‌تر باشد، بیان‌گر این است که اختلاف کمتری بین مقدار مشاهده شده و پیش‌بینی شده است. ناش-ساتکلیف از دیگر معیارهای مورد بررسی در این مطالعه می‌باشد. مقدار آن بین یک و منهای بی‌نهایت متغیر

در رابطه‌ی بالا،  $a$ : عرض از مبدأ،  $b$ : شیب خط می‌باشد (۳). ضریب همبستگی پیرسون: این آزمون از ضرایب مهم برای تعیین همبستگی بین دو متغیر با مقیاس‌های فاصله‌ای یا نسبی است. این ضریب بین  $+1$  و  $-1$  متغیر می‌باشد و آن را با علامت  $r$  نشان می‌دهند. مقدار  $r$  شدت و جهت هر نوع همبستگی خطی بین دو پارامتر را نشان می‌دهد. اگر مقدار بدست آمده صفر شد نشان می‌دهد که هیچ رابطه‌ای بین دو متغیر وجود ندارد و اگر  $+1$  شد همبستگی مثبت کامل و اگر  $-1$  شد همبستگی کامل و منفی است [۳،۷]. برای محاسبه این ضریب از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

با مشخص شدن مقدار  $r$  با استفاده از جدول این آزمون معنی‌داری آن در سطح اطمینان بررسی می‌گردد.

**معیارهای ارزیابی خطا:** برای ارزیابی و سنجش مدل از معیارهای ضریب تبیین<sup>۱</sup>، جذر میانگین مربع خطا<sup>۲</sup> و ناش-ساتکلیف<sup>۳</sup> استفاده گردید. روابط مربوط به این آماره‌ها به صورت زیر می‌باشند:

- 1-  $R^2$
- 2- Root Mean Square Error (RMSE)
- 3- Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

این نکته اشاره کرد که همه پارامترهای مورد بررسی چولگی و کشیدگی متقارن و نرمال بودند. به طوری که بیشتر پارامترهای مورد بررسی چولگی مثبت و کشیدگی به سمت پایین داشته‌اند.

#### تحلیل همبستگی دمای اعماق خاک با دما و رطوبت هوا

مقادیر مربوط به ضریب همبستگی پیرسون در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج این جدول همه پارامترهای مورد بررسی دمای هوا با میانگین دمای خاک در اعماق مختلف همبستگی معنی‌داری در سطح ۹۹٪ نشان دادند. به طوری که بیشترین معنی‌داری را در عمق ۵ سانتی‌متری و کمترین معنی‌داری را در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک نشان داد. یعنی با افزایش عمق خاک همبستگی پارامتر دمای هوا با دمای خاک کاسته می‌شود. هم‌چنین ارتباط دمای خاک در اعماق مختلف با میانگین دمای هوای ماهانه در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل از شکل ۲ دمای هوا رابطه مستقیم نشان داده است. به طوری که بیشترین ارتباط معنی‌داری را در عمق پنج سانتی‌متری دارد و با افزایش عمق خاک ارتباط بین آن‌ها کمتر می‌شود. در عمق پنج سانتی‌متری بیشترین همبستگی تقریباً تا دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد صورت گرفته است و از دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به بعد از همبستگی آن‌ها کاسته شده است. در حالی که در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری بیشترین همبستگی بین

است که اگر مقدار آن برابر یک باشد، بین داده‌های مشاهداتی و برآورد شده تناسب کاملی وجود دارد. ولی اگر مقدار صفر ناش-ساتکلیف باشد، نشان می‌دهد که مدل نسبت به استفاده از مقادیر میانگین داده‌های مشاهداتی بهتر یا بدتر برآورد نمی‌کند [۱۷].

#### نتایج

##### تحلیل مشخصات آماری متغیرهای مورد مطالعه

مشخصات آماری پارامترهای میانگین دمای خاک ماهانه در اعماق مختلف، دمای هوای ماهانه (میانگین، حداقل و حداکثر) و رطوبت هوای ماهانه (میانگین، کمینه و بیشینه) در جدول ۱ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج این جدول در بین پارامترهای میانگین دمای خاک، عمق پنج سانتی‌متری خاک نسبت به اعماق دیگر بیشترین میانگین را دارد. هم‌چنین در بین پارامترهای دما و رطوبت هوا بیشترین میانگین به ترتیب مربوط به حداقل دمای هوای و بیشینه رطوبت هوای ماهانه است. بیشترین انحراف معیار هم در بین میانگین دماهای عمق خاک در کمترین عمق (پنج سانتی‌متری) بوده است، ولی با افزایش عمق خاک انحراف معیار کمتر می‌شود. در بین پارامترهای رطوبت هوا، به ترتیب بیشترین و کمترین انحراف معیار مربوط به میانگین و بیشینه رطوبت هوا می‌باشد. هم‌چنین می‌توان به

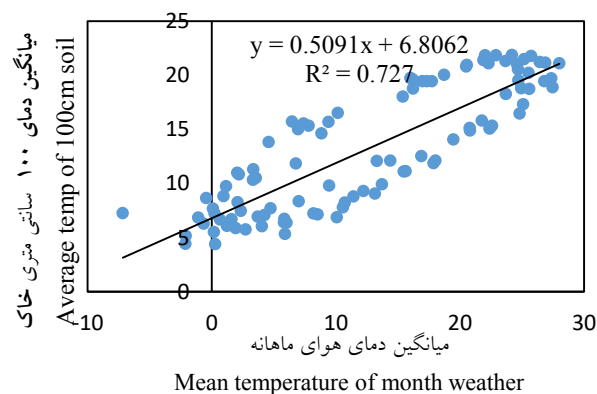
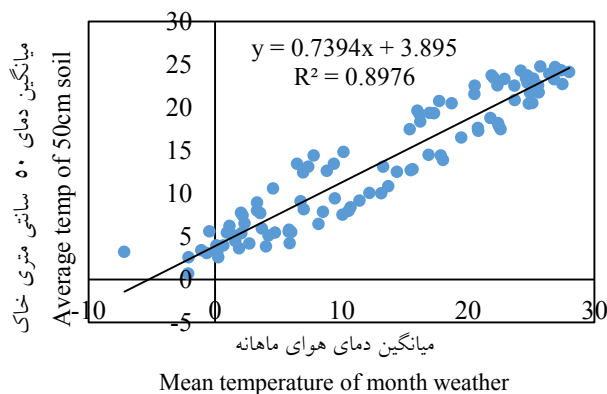
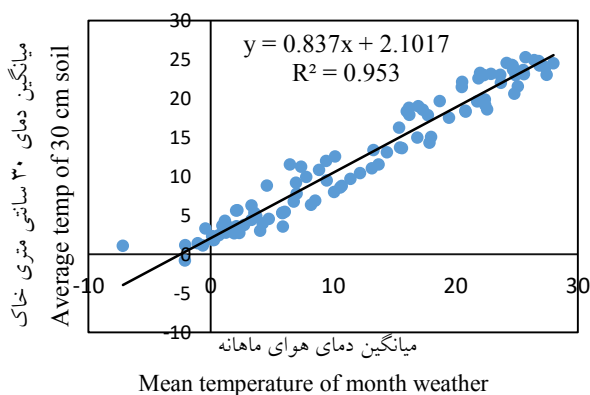
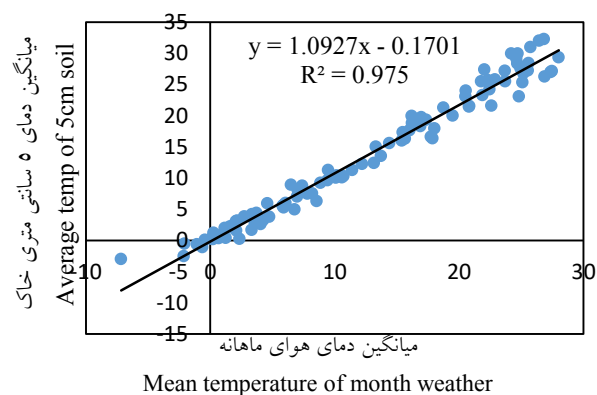
جدول ۱- مشخصات آماری دمای خاک، دما و رطوبت هوا

Table 1. Statistical characteristics of soil temperature, temperature and humidity

کشیدگی Elongation	چولگی Skidding	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Average	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	
-1.40	0.14	10.51	13.66	32.28	-3.00	میانگین دمای 5 سانتی‌متری Average temperature 5 cm
-1.45	0.08	9.28	12.97	28.17	-2.22	میانگین دمای 10 سانتی‌متری Average temperature 10 cm
-1.49	0.085	8.54	12.74	25.74	-1.22	میانگین دمای 20 سانتی‌متری Average temperature 20 cm
-1.48	0.08	8.15	12.69	25.25	-0.81	میانگین دمای 30 سانتی‌متری Average temperature 30 cm
-1.46	0.09	7.42	13.25	24.75	0.68	میانگین دمای 50 سانتی‌متری Average temperature 50 cm
-1.48	0.10	5.67	13.25	21.89	4.39	میانگین دمای 100 سانتی‌متری Average temperature 100 cm
-1.34	0.01	9.50	12.66	28.02	-7.18	میانگین دمای هوای ماهانه Average monthly air temperature
-1.36	0.07	9.83	18.18	34.42	-1.35	حداقل دمای هوای ماهانه Minimum monthly air temperature
-1.17	-0.10	7.46	4.52	16.68	-12.88	حداکثر دمای هوای ماهانه Maximum monthly air temperature
-1.20	0.22	11.89	50.54	74.60	31.81	میانگین رطوبت هوای ماهانه Average monthly air humidity
0.746	0.338	5.26	16.06	31.00	0.00	کمینه رطوبت هوای ماهانه Minimum monthly air humidity
0.121	-0.93	3.75	95.55	100.00	85.00	بیشینه رطوبت هوای ماهانه Maximum Monthly air humidity

Table 2. Pearson Correlation Coefficient between Meteorological Parameters and Soil Temperature at Different Depths

100cm	50cm	30cm	20cm	10cm	5cm		
0.853**	0.947**	0.976**	0.984**	0.988**	0.998**	میانگین دمای هوای ماهانه	دمای هوا Air temperature
						Average monthly air temperature	
0.857**	0.950**	0.976**	0.983**	0.985**	0.985**	حداقل دمای هوای ماهانه	
						Minimum monthly air temperature	
0.856**	0.946**	-0.974**	0.980**	0.983**	0.982**	حداکثر دمای هوای ماهانه	
						Maximum monthly air temperature	
-0.648**	-0.750**	-0.797**	-0.809**	-0.827**	-0.832**	میانگین رطوبت هوای ماهانه	رطوبت هوا Humidity air
						Average monthly air humidity	
-0.530**	-0.620**	-0.644**	-0.655**	-0.677**	-0.671**	کمینه رطوبت هوای ماهانه	
						Minimum monthly air humidity	
-0.614**	-0.665**	-0.687**	-0.690**	-0.700**	-0.701**	بیشینه رطوبت هوای ماهانه	
						Maximum Monthly air humidity	



شکل ۲- ارتباط دمای اعماق خاک با دمای هوای ماهانه

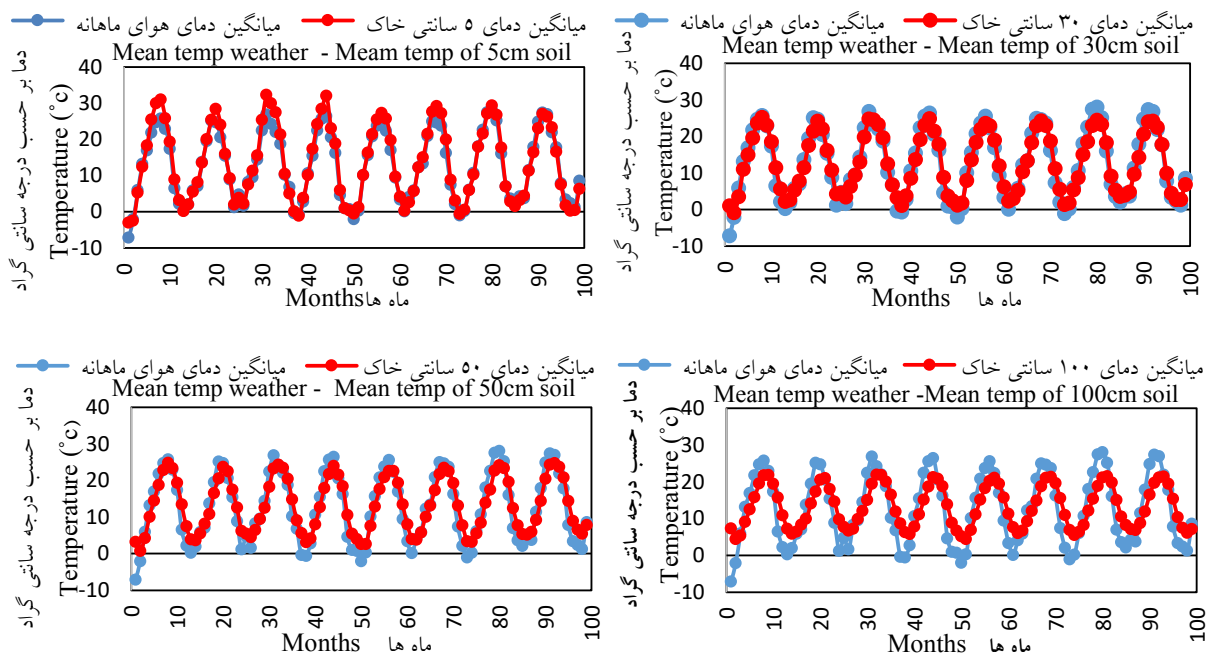
Fig 2. Correlation of depth soil temperature with monthly air temperature

دمای خاک در عمق پنج سانتی متری نسبت به دمای اعماق خاک زیرین شدیداً تحت تأثیر دمای هوا قرار می گیرد. به طوری با توجه به شکل سه از عمق ۵۰ سانتی متری خاک به پایین، نوسانات زیاد دمای هوا نسبت به دمای اعماق خاک کاملاً مشهود است.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲ پارامترهای رطوبت هوا با دمای خاک همبستگی معنی دار نزولی در سطح معنی دار ۹۹ درصد

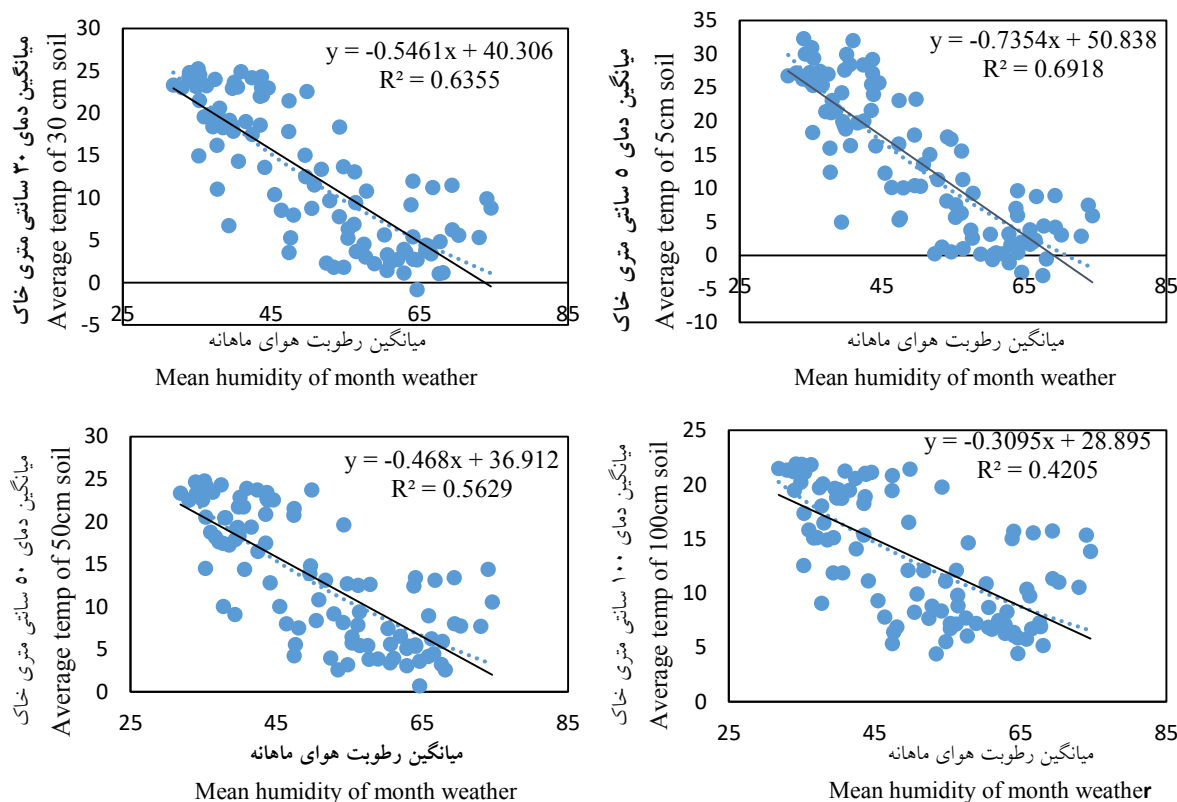
دمای هوا و دمای خاک در ابتدا و انتها صورت گرفته است. تغییرات ماهانه میانگین دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک در شکل ۳ ارائه شد. این شکل بیانگر این است که میانگین دمای خاک در عمق ۵ سانتی متری تغییرات بیشتری و ارتباط زیادی با دمای میانگین هوا داشته است، در حالی که دمای خاک در عمق ۱۰۰ سانتی متری نسبت به تغییرات دمای هوا کمترین تغییرات را داشته است. به عبارتی

A



شکل ۳- تغییرات ماهانه میانگین دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک

Fig 3. Monthly changes in average air temperature and temperature of different depths of soil



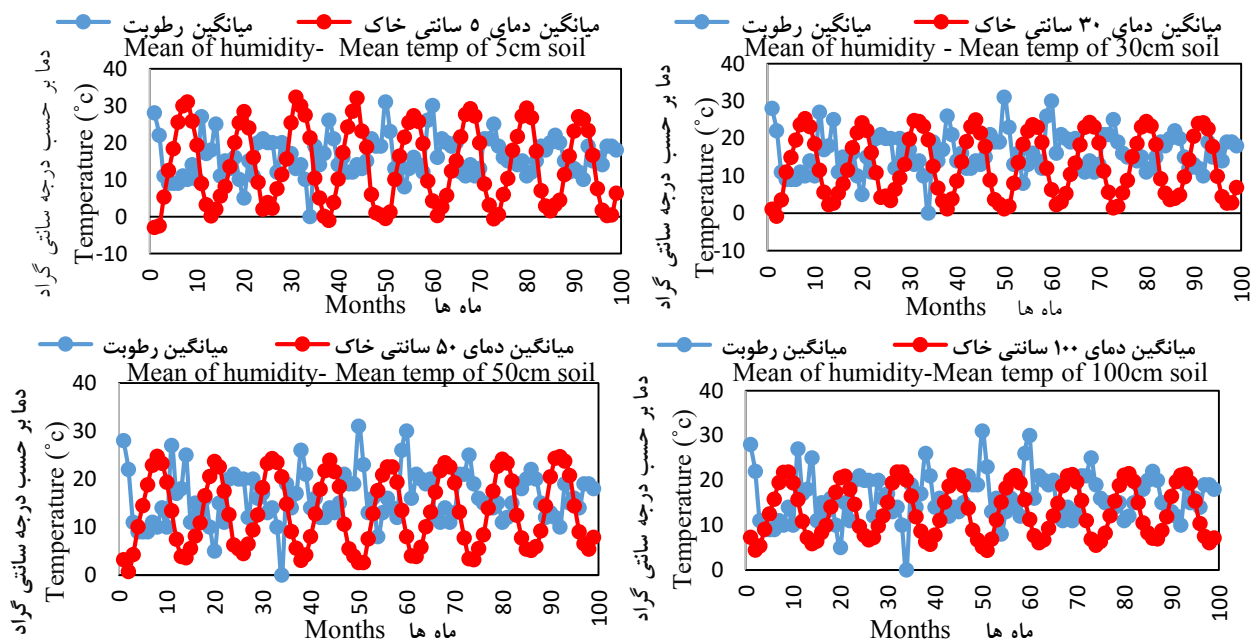
شکل ۴- ارتباط دمای اعماق خاک با میانگین رطوبت هوای ماهانه

Fig 4. Correlation of deep soil temperature with average monthly air humidity

شده در مورد رطوبت هوا را تأیید می‌کند. به طوری که بیشترین همبستگی منفی در نزدیکی سطح خاک (عمق ۵ سانتی متری) و کمترین همبستگی منفی بین دمای خاک و رطوبت هوا در عمق ۱۰۰ سانتی متری صورت می‌گیرد. یعنی اعماق زیاد خاک کمتر

نشان دادند. یعنی با افزایش رطوبت هوا، میانگین دمای خاک کمتر می‌شود. ضمن این‌که همانند دمای هوا با افزایش عمق خاک از همبستگی بین پارامترهای رطوبت هوا و دمای خاک کاسته می‌شود که به صورت شماتیکی در شکل ۴ آورده شده است که مطالب ارائه





شکل ۵- تغییرات ماهانه رطوبت هوا و دمای اعماق مختلف خاک

Fig 5. Monthly changes in air humidity and temperature of different soil depths

جدول ۳- روابط رگرسیونی بین دما و رطوبت هوا (x) و اعماق مختلف خاک (y)

Table 3. Regression relationships between temperature and humidity (x) and soil depth (y)

Type of variable	نوع متغیر	دمای 5 سانتی متری عمق خاک 5 cm depth of soil	دمای 10 سانتی متری عمق خاک 10 cm depth of soil	دمای 20 سانتی متری عمق خاک 20 cm depth of soil
رطوبت هوا Humidity air	بیشینه Maximum	$y = -2.36x + 238.98$ $R^2 = 0.61$	$y = -2.05x + 208.9$ $R^2 = 0.61$	$y = -1.87x + 190.83$ $R^2 = 0.60$
	کمینه Minimum	$y = -1.20x + 33.54$ $R^2 = 0.43$	$y = -1.05x + 30.24$ $R^2 = 0.43$	$y = -0.94x + 28.07$ $R^2 = 0.41$
	میانگین Average	$y = -0.77x + 52.19$ $R^2 = 0.67$	$y = -6.67x + 46.41$ $R^2 = 0.66$	$y = -0.60x + 42.77$ $R^2 = 0.64$
دمای هوا Air temperature	حداکثر Maximum	$y = 1.08x - 5.37$ $R^2 = 0.98$	$y = 0.94x - 3.75$ $R^2 = 0.97$	$y = 0.86x - 2.67$ $R^2 = 0.96$
	حداقل Minimum	$y = 1.42x + 7.64$ $R^2 = 0.96$	$y = 1.24x + 7.62$ $R^2 = 0.96$	$y = 1.13x + 7.69$ $R^2 = 0.95$
	میانگین Average	$y = 1.12x - 0.07$ $R^2 = 0.98$	$y = 0.98x + 0.88$ $R^2 = 0.98$	$y = 0.89x + 1.56$ $R^2 = 0.96$

دما و رطوبت هوا در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه گردیده است. همان طوری که ملاحظه می‌شود بیشترین و کمترین ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین دمای هوا و دمای خاک به ترتیب در عمق‌های پنج سانتی متری و ۱۰۰ سانتی متری خاک صورت گرفته است. در بین پارامترهای دمای هوا، دمای هوای حداقل ماهانه نسبت به دو پارامتر دیگر دارای ضریب تبیین کمتری با دمای اعماق خاک دارد و در اعماق نزدیک به سطح خاک دمای هوای میانگین بیشترین ضریب تبیین را دارد در حالی که در اعماق زیاد دمای هوای حداکثر بیشترین ضریب تبیین را با دمای اعماق خاک دارد.

تحت تأثیر رطوبت هوا قرار می‌گیرند. همچنین تغییرات ماهانه دمای اعماق خاک نسبت به رطوبت هوای ماهانه در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به این شکل تغییرات دمای خاک در عمق پنج سانتی متری بیشتر از عمق خاک ۱۰۰ سانتی متری به تغییرات رطوبت هوای ماهانه واکنش می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت که ارتباط بین دمای اعماق مختلف خاک با دمای هوا بیشتر از ارتباط دمای اعماق خاک با رطوبت هوا است.

#### روابط بین دمای اعماق خاک با دما و رطوبت هوا

روابط رگرسیونی بین دمای خاک در اعماق مختلف با پارامترهای

Table 4. Regression relations between temperature and air humidity (x) and depth of soil (y)

نوع متغیر		دمای 30 سانتی متری عمق خاک		دمای 50 سانتی متری عمق خاک		دمای 100 سانتی متری عمق خاک	
رطوبت هوا Humidity air	بیشینه Maximum	$y = -1.79x + 183.64$	$R^2 = 0.60$	$y = -1.62x + 167.30$	$R^2 = 0.59$	$y = -1.15x + 123.59$	$R^2 = 0.51$
	کمینه Minimum	$y = -0.89x + 27.21$	$R^2 = 0.40$	$y = -0.78x + 25.75$	$R^2 = 0.37$	$y = -0.51x + 21.57$	$R^2 = 0.27$
	میانگین Average	$y = -0.57x + 41.16$	$R^2 = 0.63$	$y = -0.50x + 38.10$	$R^2 = 0.59$	$y = -0.33x + 29.99$	$R^2 = 0.45$
دمای هوا Air temperature	حداکثر Maximum	$y = 0.82x - 1.92$	$R^2 = 0.95$	$y = 0.72x + 0.01$	$R^2 = 0.91$	$y = 0.50x + 4.11$	$R^2 = 0.74$
	حداقل Minimum	$y = 1.07x + 7.95$	$R^2 = 0.94$	$y = 0.95x + 8.81$	$R^2 = 0.89$	$y = 0.66x + 10.24$	$R^2 = 0.73$
	میانگین Average	$y = 0.85x + 2.12$	$R^2 = 0.95$	$y = 0.75x + 3.64$	$R^2 = 0.90$	$y = 0.52x + 6.67$	$R^2 = 0.73$

روابط پررنگ نشان دهنده مدل‌های رگرسیونی انتخابی برای پیش‌بینی دمای اعماق خاک هستند.

### جدول ۵- نتایج معیارهای ارزیابی خطا

Table 5. Results of error evaluation criteria

مرحله The level	معیار ارزیابی خطا Error rating criterion	Deep depth of soil دمای اعماق مختلف خاک					
		5	10	20	30	50	100
کالیبراسیون Calibration	RMSE	2.08	1.70	2.42	3.11	4.88	8.13
	NSE	0.98	0.98	0.97	0.95	0.91	0.75
صحت سنجی Verification	RMSE	2.17	1.43	0.93	1.30	2.70	3.89
	NSE	0.95	0.96	0.97	0.95	0.88	0.69

منظور برای ارزیابی دقت مراحل کالیبراسیون و صحت‌سنجی از معیارهای ارزیابی خطا RMSE و NSE استفاده گردید که نتایج آن‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج معیارهای ارزیابی خطا در حالت کلی نشان داد که مدل‌های رگرسیونی ارائه گردیده از کارایی بسیار خوبی در برآورد دمای اعماق مختلف خاک را داشته‌اند که بیشترین دقت (کمترین خطا) را دمای اعماق ۱۰ سانتی متری و کمترین دقت (بیشترین خطا) را دمای اعماق ۱۰۰ سانتی متری داشته است.

در مرحله صحت‌سنجی هم بیشترین خطا مربوط به عمق ۱۰۰ سانتی متری و کمترین خطا مربوط به عمق ۲۰ سانتی متری است. بیشترین مقدار NSE در مرحله کالیبراسیون در عمق ۵ و ۱۰ سانتی متری و کمترین مقدار آن مربوط به عمق ۱۰۰ سانتی متری است. هم‌چنین در مرحله صحت‌سنجی بیشترین خطا در عمق ۱۰۰ سانتی متری و کمترین خطا مربوط به عمق ۲۰ سانتی متری است. میانگین جذر مربعات خطا در مرحله کالیبراسیون و صحت‌سنجی به ترتیب ۳/۷۲ و ۲/۰۷ بوده و میانگین ناش-ساتکلیف در مراحل فوق‌الذکر به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۹ بدست آمد.

هم‌چنین با توجه به نتایج حاصل از این جدول‌ها بیشترین و کمترین ضریب تبیین بین رطوبت هوا و دمای خاک در عمق‌های مختلف همانند دمای هوا به ترتیب در عمق ۵ سانتی متری و ۱۰۰ سانتی متری است. به طوری که در بین پارامترهای رطوبت خاک تا عمق ۵۰ سانتی متری خاک، میانگین رطوبت هوا نسبت به دو پارامتر دیگر رطوبت هوا ضریب تبیین بیشتری داشته ولی در عمق ۱۰۰ سانتی متری رطوبت بیشینه هوا بیشترین ضریب تبیین را دارد. کمترین ضریب تبیین بین رطوبت هوا و دمای عمق‌های خاک مربوط به رطوبت کمینه هوا است. بنابراین با توجه به نتایج حاصله، روابط رگرسیونی که بیشترین دقت را با توجه به ضریب تبیین داشتند، به عنوان مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی دمای اعماق خاک (متغیر وابسته) با پارامترهای دما و رطوبت هوا (متغیرهای مستقل) در نظر گرفته شدند (جدول ۳ و ۴).

### ارزیابی دقت مدل‌های رگرسیونی

به منظور برآورد دمای اعماق خاک از روی متغیرهای دما و رطوبت هوا، مدل‌های رگرسیونی انتخابی با استفاده از ۷۰ درصد داده‌ها کالیبره و با ۳۰ درصد آن‌ها صحت‌سنجی گردیدند. بدین



بررسی روابط بین میانگین دمای ماهانه خاک در اعماق مختلف و متغیرهای دما و رطوبت هوای ماهانه در دوره آماری ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۴ در ایستگاه مورد مطالعه طالقان نشان داد که با کاهش دمای هوا، دمای خاک در عمق‌های مورد نظر کاهش یافته، ولی با کاهش رطوبت هوا، دمای خاک افزایش یافته است. بیشترین ضریب همبستگی مربوط به دمای هوا و کمترین آن مربوط به رطوبت هوا که مقدار عکس دارد، می‌باشد. نتایج تحقیقات سبزی‌پرور و همکاران [۱۸] و یزدانی و همکاران [۲۰] بالا بودن ضریب همبستگی دمای خاک و دمای هوا را تایید می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین ضریب همبستگی دمای خاک و متغیرهای دما و رطوبت هوا به ترتیب در عمق‌های پنج و ۱۰۰ سانتی‌متری بود. نتایج تحقیق جعفری گلستانی و همکاران [۹] در منطقه ساری نیز نشان داد که همبستگی نسبتاً بالای بین دمای هوا و خاک وجود داشت. همانند نتایج این تحقیق، پژوهش ایسلام و همکاران [۸] در داکای بنگلادش نشان داد که تا عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک همبستگی مثبت بالایی بین دمای خاک و دمای هوا وجود داشت. سبزی‌پرور و همکاران [۱۸] نیز کاهش ضریب همبستگی دمای هوا را با افزایش عمق خاک گزارش نمودند. ضریب تبیین نتایج ضریب همبستگی را تصدیق می‌کند یعنی دما و رطوبت هوا به ترتیب بیشترین و کمترین ضریب تبیین را دارند و با افزایش عمق از ضریب تبیین دمای خاک و دما و رطوبت هوا کاسته می‌شود. پارسافر و معروفی [۱۵] نشان دادند که بیشترین و کمترین ضریب تبیین در ایستگاه کرمانشاه بین دمای هوا و دمای خاک به ترتیب مربوط به عمق‌های ۵ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک می‌باشند. به طوری که این پژوهش نتایج ایشان را تأیید می‌کند. یعنی عمق‌های ۵ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک به ترتیب بیشترین و کمترین  $R^2$  را داشته‌اند. در حالی که نتایج به دست آمده از تحقیقات جعفری گلستانی و همکاران [۹] در مقیاس سالانه، میان حداکثر دمای هوا و عمق‌های ۷ و ۲۰ سانتی‌متری خاک، همبستگی مثبت بالا و معنی‌داری وجود داشت. اما ضریب تبیین به دست آمده در پژوهش نجفی‌مود و همکاران [۱۴] میان دمای خاک و دمای هوا کمتر بود و در بهترین حالت برابر ۰/۷ در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک بدست آمد. از میان متغیرهای دمای هوا، حداقل دمای هوا نسبت به متغیرهای حداکثر و میانگین دمای هوای ماهانه دارای ضریب تبیین کمتری با دمای اعماق خاک داشته است. در حالی که در بین پارامترهای رطوبت خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک، میانگین رطوبت هوا نسبت به پارامترهای دیگر رطوبت هوا دارای ضریب تبیین بیشتری بود، ولی در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری رطوبت بیشینه هوا بیشترین ضریب تبیین را داشت.

به منظور برآورد دمای اعماق خاک از روی متغیرهای دما و رطوبت هوا، مدل‌های رگرسیونی برازش داده شده، با استفاده از ۷۰ درصد داده‌ها کالیبره و با ۳۰ درصد آن‌ها صحت‌سنجی گردیدند. بدین صورت برای ارزیابی دقت مراحل کالیبراسیون و صحت‌سنجی

از معیارهای ارزیابی خطا RMSE و استفاده از *Archive of SID* نتایج معیارهای ارزیابی خطا در حالت کلی نشان داد که مدل‌های رگرسیونی ارائه شده از کارایی خوبی در برآورد دمای اعماق مختلف خاک را داشته‌اند به طوری که بررسی مدل‌های رگرسیونی نشان داد که کارایی این مدل‌ها در اعماق نزدیک به سطح بهتر بوده است. با افزایش عمق مقادیر ضریب همبستگی کاهش و پارامترهای خطا افزایش می‌یابد. این در حالی است که با افزایش عمق به جز عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک، مقدار معیار ناش-ساتکلیف کاهش و جذر میانگین مربع خطا افزایش یافته است. نتایج به دست آمده در این مورد با نتایج پارسافر و معروفی [۱۵] هم‌خوانی دارد. در نتیجه عمق ۱۰ سانتی‌متری بیشترین دقت (کمترین خطا) و عمق ۱۰۰ سانتی‌متری کمترین دقت (بیشترین خطا) را نشان داد. با توجه به نتایج ارائه گردیده، این مطالعه می‌تواند برای طیف وسیعی از ذی‌نفعان مفید واقع شود. همچنین به دلیل این‌که گیاهان برای جوانه‌زنی بهتر و رشد سریعتر به یک دمای مطلوب نیاز دارند، پس با پیش‌بینی دمای اعماق مختلف خاک می‌توان زمان و عمق مناسب برای کاشت بذر را انتخاب نمود. زیرا دماهای خیلی زیاد و خیلی کم باعث اختلال در جوانه‌زنی می‌گردد. از طرفی با پیش‌بینی دمای خاک در اعماق مختلف طی سال‌های آتی و مدل‌سازی آن می‌توان روند تغییرات افزایش دما و تغییر اقلیم را بررسی نمود و در کارهای مدیریتی از آن بهره‌مند شد. همچنین می‌توان نتایج تحقیق حاضر را در مناطق اطراف که شرایط طبیعی تقریباً یکسانی دارند استفاده کرد.

#### منابع

1. Azadi, A. and Abtahi, S.A. 2016. Genesis and mineralogical characteristics of soils under the influence of topography and groundwater and land suitability assessment Kaftar region of Fars province. *Journal of Human and Environment*. 33, 57-77 (in Persian).
2. Béhaegel, M. Sailhac, P. and Marquis, G. 2007. On the use of surface and ground temperature data to recover soil water content information. *Journal of Applied Geophysics*. 3, 234-243.
3. Bihamta, M.R. and Zareh Chahoki, M.A. 2009. Statistical principles in natural resources science. Tehran University, Tehran. 257p (in Persian).
4. Bilgili, M. 2011. The use of artificial neural networks for forecasting the monthly mean soil temperatures in Adana, Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 1, 83-93.
5. Burt, T. P. and Williams, P.J. 1976. Hydraulic conductivity in frozen soils. *Earth Surface Processes*. 4, 349-360.

15. Parsafar, N. and Marofi, S. 2011. Estimating soil temperature at different depths using regression equations, neural networks and neuro-fuzzy network (Case Study: Kermanshah region). *Journal of Sciences Soil and Water*, 3(21), 139-152 (in Persian).
16. Pokladníková, H. Rožnovský, J. and Štěda, T. 2008. Evaluation of soil temperatures at agro climatological station Pohořelice. *Soil and Water Resources*. 3(4), 223-230.
17. Rasoli, M. Haghzadeh, A. Zeanivand, H. and Aeldremi, A. 2014. Assess the impact of land use changes on runoff simulation using Artificial Neural Network (MLP). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 2, 65-74 (in Persian).
18. Sabziparvar, A.A. Tabari, H. and Aeini, A. 2010. Iran's estimated daily average soil temperature in some climatic zones Using meteorological data. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 52, 125-130 (in Persian).
19. Todhunter, P.E. 2001. A hydroclimatological analysis of the red river of the north snowmelt flood Catastrophe of 19971. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 37(5), 1263-1278.
20. Yazdani, V. Ghahraman, B. Farahi, G. and Nori, H. 2012. Deep soil temperature modeling of meteorological parameters. *Journal of Soil and Water Conservation*. 19(4), 1-24 (in Persian).
21. Zuzel, J.F. and Pikul, J.L. 1987. Infiltration into a seasonally frozen agricultural soil. *Journal of Soil and Water Conservation*. 42(6), 447-450
6. Chow, T.T. Long, H. Mok, H.Y. and Li, K.W. 2011. Estimation of Soil Temperature Profile in Hong Kong from Climatic Variables. *Energy and Buildings*. 43, 3568-3575.
7. Golshan, S. Raieeni Sarjaz, M. and Velashedi, R.N. 2015. Review and disclosure of the effects of global warming on soil temperature trends estimated by correlation regression. *Journal of Soil and Water Conservation*. 22(4), 120-138 (in Persian).
8. Islam, K.I. Khan, A. and Islam, T. 2015. Correlation between Atmospheric Temperature and Soil Temperature: A Case Study for Dhaka, Bangladesh. *Atmospheric and Climate Sciences*. 5 (03), 200-2008.
9. Jafari Golestani, M. Raieeni Sarjaz, M. and Zeia Tabar Ahmadi, M.KH. 2007. The estimated depth of soil temperature by using correlation analysis and regression curve for the city of Sari. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 4(5), 112-123 (in Persian).
10. Jafari, M. Deenpajhoh, Y. and Asadi, A. 2015. Introduction to multiple linear regression simulation and its use in daily pan evaporation. *Journal of Water and Sustainable Development*. 2, 67-76. (in Persian)
11. Kamali, Gh. Hajam, S. Rajbar, S. Hedayati Dezfoli, A. Kamali, M. and Behyar, M. B. 2008. Examine the relationship between water temperature at different levels of depth case study: Zarghan). *Journal of Geographical Research*. 9, 109-126 (in Persian).
12. Mihalakakou, G. 2002. On estimating soil surface temperature profiles. *Energy and Buil*. 34, 251-259.
13. Mojarad, F. and Sadeghi, H. 2013. The relationship between land surface temperature with soil depths (Case Study: Kermanshah). *Physical Geography Researches*. 1, 101-118 (in Persian).
14. Najafi Mood, M.H. Alizadeh, A. Mohammadian A. and Mosavi, J. 2009. The relationship between air temperature and different depths soil temperature and estimate the depth of frost (Case Study of Khorasan Razavi Province). *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)*. 22(2), 456-466 (in Persian).

*Abstract***Pattern Changes Analysis of Soil Temperature in Different Depths under the Influence of Humidity and Air Temperature (Case Study: Taleghan Watershed)**H. Ali pour<sup>1</sup> and M. Kazemzadeh<sup>2</sup>

Received:08-03-2018

Accepted:08-07-2018

*Abstract*

In this study, to analyze the pattern of soil temperature changes in the depths of 5, 10, 20, 30, 50 and 100 cm under the influence of temperature (minimum, average and maximum) and humidity (minimum, average and maximum) the Pearson and regression methods were used for Taleghaan synoptic station during the period of 2008 to 2016. The results showed that soil temperature had the highest correlation coefficient with air temperature while the lowest correlation was found with air humidity time series. So that, the maximum coefficient of determination of air temperature and humidity was in a depth of 5 cm whereas the lowest was found in a depth of 100 cm. In order to estimate the deep soil temperature using temperature and humidity variables, the regression models were fitted by 70% to 30% of data for calibration and validation stages, respectively. So, to evaluate the accuracy of the calibration and validation stages, the NSE and RMSE error criteria were used. In general, the results indicated that the presented regression models had very good and acceptable performance to estimate soil temperature and also with increasing soil depths, correlation coefficient has decreased while error evaluation criteria have increased.

***Keywords: Regression Models, Soil Temperature, Coefficient of Determination, NSE***

1. M.Sc. Student of watershed Management

2. Ph.D. Student of watershed Management. Corresponding Author Email: Mkazemzadeh@ut.ac.ir