

تخمین دمای خاک بر اساس داده‌های هواشناسی با استفاده از روابط رگرسیونی و نزدیکترین k-همسایگی

لیدا اسدی

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی
ومنابع طبیعی گرگان، lidaasadi69@yahoo.com

ابوظالب هزارجریبی

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی
گرگان، hezab10@yahoo.com

خلیل قربانی

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی
گرگان، kghorbani@alumni.ut.ac.ir

زهرا آقاشریعتمداری

استادیار گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، zagha@ut.ac.ir

مهدی ذاکری‌نیا

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی
گرگان، a_zakerinia@yahoo.com

چکیده

دمای خاک یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در کلیه فرآیندهای هیدرولوژی و کشاورزی است که اندازه‌گیری و پیش‌بینی آن ضروری است. در این راستا، مدل‌های رگرسیونی برای تخمین دمای خاک بر اساس داده‌های هواشناسی استفاده شده است. در این پژوهش، مدل‌های رگرسیونی با استفاده از روش همسایگی نزدیکترین k-همسایگی برای تخمین دمای خاک در مناطق فاقد داده صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های رگرسیونی می‌توانند دمای خاک را با دقت قابل‌توجهی تخمین بزنند.

همگی به اتفاق از مدل‌های رگرسیونی جهت برآورد دمای خاک استفاده کرده‌اند. در این پژوهش ضمن استفاده از مدل رگرسیونی، با به کارگیری مدل نزدیکترین k -همسایگی به عنوان روشی نوین، به پیش‌بینی دمای خاک در پنج عمق مختلف ۵، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ سانتی‌متری اقدام شد. علاوه بر این، مهمترین پارامترهای هواشناسی که شامل دمای هوا و رطوبت نسبی می‌باشد، به عنوان عوامل اثرگذار بر دمای خاک در یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۹۶) در ایستگاه گرگان مورد مطالعه قرار گرفت. آنالیز حساسیت نشان داد که مدل نزدیکترین k -همسایگی در تخمین دمای اعماق خاک با ($R^2=0.99, RMSE=0.41$) عملکرد بهتری را نسبت به رگرسیون با ($R^2=0.97, RMSE=1.62$) دارد.

کلیدواژه‌ها: دما، خاک، متغیرهای هواشناسی، نزدیکترین k -همسایگی، رگرسیون.

مقدمه

بررسی تغییرات دما با خاک در بروز پدیده‌های گرم‌تر و سردتر نیاز به یک دمای مطلوب دارند، لذا برای فراهم آوردن این دما می‌توان زمان مناسبی را برای بذر کاری تعیین نمود و با عمق مناسبی را برای بذر انتخاب کرد. زیرا برای زارعین تعداد روزهای لازم برای جوانه‌زنی پس از کاشت اهمیت داشته و دمای خیلی زیاد و خیلی کم، جوانه‌زنی را با تأخیر روبرو می‌سازد. روش‌های سری فوری، رگرسیون چند متغیره خطی، شبکه‌های عصبی، معادلات موازنه انرژی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در زمره روش‌های بررسی رژیم دمایی سطح و اعماق خاک می‌باشد (عباسی، ۱۳۸۵). دمای خاک و چگونگی تغییرات آن نسبت به زمان و مکان یکی از مهم‌ترین عواملی است که نه تنها تبادل ماده و انرژی را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه میزان و جهت کلیه فرآیندهای فیزیکی خاک به‌طور مستقیم وابسته به دما است. همچنین درجه حرارت خاک به عنوان یک عامل، به صورت تقویم مؤثر در فرآیندهای بیرونی و درونی خاک در استفاده‌ها قرار گرفته‌ودر تراز نانو ژئوسطوحیبه عنوان یک منبع ذخیره مؤثر برای ترمسفر نقشه -

سزاییدارد (سومر سوهمکاران، ۱۹۸۱). از طرف دیگر هر لحظه گرما یا خاکی از افقیها فاقد دیگر متفاوت بود در طول روز، ماه و سال نوسانی کند. نوع ریشه و پوشش نیز تابعی از درجه حرارت خاک است. درجه حرارت خاک در طول سال ثابت نبود و به سبب ساعت روز، فصل و سالی تغییرات دارد و بیاباره -

ایدارد. نوسانات درجه حرارت در هوا به سطح خاک و در نهایت به اعماق خاک منتقل می‌شود و لایچه‌ها نیز بی‌پیش‌بینی‌گر مادر خاک معمولاً بین ۱۲/۰-۰/۰۱ سانتی متر بر بعدر ثانی تغییر کرده و ناچیزی می‌باشد، بنابراین دما منهن سوانگر ما که به این خاکستگاه‌ها نواست، با عمق خاک کاهش می‌یابد (بای بوردی، ۱۳۸۲). در تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک برای اندازه‌گیری دمای اعماق خاک، از حسگر (sensor) و یا دماسنج-های معمولی استفاده می‌شود. اندازه‌گیری دمای خاک با حسگر هزینه بر بوده و به نیروی انسانی و ماهرو پایش مداوم نیاز دارد. برای تعیین تغییرات مکانی دمای خاک در اعماق مختلف، چندین حسگر و یادمان سنجمختلف مورد نیاز است. بنابراین، ارائه روش‌های آمار یو تجربیکه قادر به ارائه نتایج قابل قبول در برآورد دمای خاک باشد، می‌تواند راه‌حلی مناسب برای برآورد دمای خاک در نقاط فاقد اندازه‌گیری باشد (پلا بوگ، ۲۰۰۲).

در این راستا پارامترهای مهمی در ایستگاه‌های هواشناسی به طور مداوم اندازه‌گیری می‌شوند، که شامل دمای هوا، رطوبت، مقدار باران، فشار بخار اشباع، سرعت باد، رطوبت، مقدار باران، فشار بخار اشباع... است. در حالیکه دمای سطح و ژرفای خاک به صورت تقویم‌ساز اندازه‌گیری نمی‌شوند. بنابراین، از نظر داده‌های دمای خاک که کمبود آمار یو بهره‌ر هستیم. آن‌ها و فعالیت -

از آنجا که رژیم دمای خاک، تأثیر مستقیم بر رشد گیاهان، گوناگونی هایزیست‌شناختی خاک دارد، بازسازی این کمبود آمار یا از اهمیت بالایی در بررسی های زیست‌اقلیمی و کشاورزی برخوردار است (جعفری - گلستان و همکاران، ۲۰۰۷). تاکنون مطالعات زیادی در زمینه برآورد دمای خاک در جهان صورت گرفته است. ژنگو همکاران (۱۹۹۳) با استفاده از دمای هوا و به کارگیری رگرسیون خطی، دمای خاک در عمق ۱۰ سانتی متر در ۶ نمونه اقلیمی در آمریکا برآورد نمودند. اوزو و چو و الزاک (۱۹۹۴) یک مدل ریاضی جریان حرارتی در خاک را برپیش‌بینی دمای خاک ارائه دادند. این مدل شامل معادله مدل فیزیکی-آمار یو برای ارزیابی خصوصیات گرمایی به عنوان تابعی از رطوبت و چگالی حجمی بود، که از مدل تفاضل-های محدود (Finite differences) برای حل معادله انتقال حرارت استفاده می‌نمود. نتایج آن -

هانسانداد که مقدار برآورد شده دمای خاک توسط مدل ارائه شده، از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشد. جورج (۲۰۰۱) در یک منطقه نیمه خشک در هند، جهت برآورد دمای خاک از شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network: ANN) استفاده کرد.

استفاده نمود. اودر تحقیق خود دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد را به عنوان متغیرهای ورودی و دمای خاک در صبح و بعد از ظهر را به عنوان متغیرهای خروجی به کار برد. پلاوگ (۲۰۰۲) مطالعه ای را جهت ارائه روابط ساده و تجربی برای برآورد دمای خاک در عمق ۱۰ سانتی متری در دامارکان جامداد می هالا کا کو (۲۰۰۲) در آتن و دبلین، برای برآورد تغییرات دمای خاک از تابع تشخیص و شبکه عصبی مصنوعی یاد می هوا، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی به عنوان متغیرهای ورودی استفاده نمود. ورونزو و همکاران (۲۰۰۶) در یک منطقه شهری در برزیل، با استفاده از طول عرض جغرافیایی و ارتفاع و به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی دمای سطحی خاک را برآورد نمودند. در ایران نیز مطالعاتی در این خصوص صورت گرفته است: ابراهیمی (۱۳۷۴) با استفاده از روش های آماری به مطالعه دمای خاک در اعماق مختلف در تهران و همدان پرداخت. مهدویان (۱۳۷۸) جهت پیش بینی دمای خاک در منطقه کرکاز شبکه عصبی مصنوعی و روابط تجربی بران استفاده نمود. دانش کارآراستهو همکاران (۱۳۸۴) نیز با استفاده از تصاویر ماهواره NOAA، اقدام به تخمین دمای سطح خاک در سیستان نمودند. بهیار و کمالی (۱۳۸۶) رابطه دمای هوا و دمای خاک را در اعماق مختلف در منطقه بروجن مورد ارزیابی قرار دادند. جعفری گلستانیه همکاران (۱۳۸۶) هم با استفاده از روابط رگرسیونی، معادلات تجربی جهت تخمین دمای خاک شهر ساری در عمق های ۷ و ۲۰ سانتی متری پیشنهاد نمودند. در تحقیق دیگری، نجفیمود و همکاران (۱۳۸۷) نیز مطالعه ای را در شهرستان منظور برآورد عمیق خبند ان خاک و ارائه یک رابطه ساده بین دمای هوا و دمای خاک و اعماق مختلف آن، مطالعه ای را در شهرستان های استان خراسان رضوی انجام دادند.

بنابراین از آنجا که دمای خاک تنها در ایستگاه های سینوپتیک اندازه گیری شده و عدم اندازه گیری آن در نقاط فاقد ایستگاه، مشکلاتی را برای بخش کشاورزی ایجاد می نماید، لذا ارائه روش های آماری و تجربی که قادر به ارائه نتایج قابل قبول در برآورد دمای خاک باشد، می تواند راه حل مناسبی برای برآورد این متغیر در نقاط فاقد اندازه گیری باشد. بنابراین هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی امکان تخمین دمای خاک در اعماق مختلف با دو روش رگرسیون و نزدیکترین k-همسایگی با استفاده از پارامترهای دمای هوا و رطوبت نسبی و مقایسه دو روش مذکور است.

مواد و روش ها

منطقه مطالعاتی این تحقیق ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گرگان می باشد که دارای موقعیت جغرافیایی به طول ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ است. به منظور بررسی دمای خاک، داده های روزانه درجه حرارت اعماق مختلف خاک (اعماق ۵، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ سانتی متری) در ساعات ۰۳، ۰۹، ۱۵ در دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۹۶) جمع آوری و مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. داده های روزانه دمای هوا و رطوبت نسبی به عنوان متغیرهای مستقل از سایت سازمان هواشناسی کشور و اداره کل هواشناسی استان گلستان تهیه گردید. در جدول (۱) میانگین ماهانه دمای خاک در جدول (۲) میانگین سالانه دمای خاک ایستگاه سینوپتیک گرگان در سالهای ۲۰۰۵-۱۹۹۶ ارائه شده است.

جدول (۱): میانگین ماهانه دمای اعماق خاک (°C) در ایستگاه گرگان در دوره ۱۹۹۶-۲۰۰۵

عمق (cm)	۵	۲۰	۳۰	۵۰	۱۰۰
ژانویه	۸.۵	۸.۹	۹.۶	۱۱.۱	۱۳.۱
فوریه	۹.۷	۹.۶	۹.۹	۱۰.۹	۱۳.۲
مارس	۱۲.۵	۱۲.۱	۱۲.۱	۱۲.۷	۱۳.۰
آوریل	۱۸.۲	۱۷.۱	۱۶.۶	۱۶.۵	۱۵.۴
می	۲۳.۹	۲۲.۱	۲۱.۴	۲۰.۷	۱۸.۹
ژوئن	۲۹.۴	۲۷.۳	۲۶.۳	۲۵.۶	۲۲.۷
جولای	۳۲.۰	۳۰.۰	۲۹.۰	۲۸.۱	۲۵.۴
آگوست	۳۳.۵	۳۱.۵	۳۰.۸	۲۹.۹	۲۷.۶
سپتامبر	۲۸.۶	۲۷.۸	۲۷.۷	۲۷.۹	۲۷.۱
اکتبر	۲۱.۹	۲۱.۸	۲۲.۳	۲۳.۳	۲۴.۱
نوامبر	۱۴.۸	۱۵.۳	۱۶.۲	۱۷.۸	۱۹.۹
دسامبر	۱۰.۳	۱۳.۱	۱۳.۶	۱۵.۰	۱۶.۵

جدول (۲): میانگین سالانه دمای اعماق خاک (°C) در ایستگاه گرگان در دوره ۱۹۹۶-۲۰۰۵

عمق (cm)	۵	۲۰	۳۰	۵۰	۱۰۰
۱۹۹۶	۸.۸۶	۷.۹۳	۷.۴۷	۶.۸۸	۵.۴۷
۱۹۹۷	۲۰.۴۵	۱۹.۸۱	۱۹.۶۹	۱۹.۸۶	۱۹.۴۰
۱۹۹۸	۲۰.۴۵	۱۹.۸۱	۱۹.۶۹	۱۹.۸۶	۱۹.۴۰
۱۹۹۹	۲۰.۰۰	۱۹.۴۳	۱۹.۴۰	۱۹.۸۲	۱۹.۵۹
۲۰۰۰	۲۰.۹۹	۲۰.۲۱	۲۰.۱۶	۲۰.۴۷	۲۰.۰۲
۲۰۰۱	۲۱.۰۰	۱۹.۹۸	۱۹.۸۹	۲۱.۵۶	۲۰.۱۳
۲۰۰۲	۲۰.۸۹	۱۹.۵۰	۱۹.۵۲	۱۹.۷۴	۱۹.۹۳
۲۰۰۳	۱۹.۵۳	۱۸.۷۱	۱۸.۷۱	۱۸.۹۳	۱۹.۰۲
۲۰۰۴	۱۹.۹۳	۱۹.۷۳	۱۹.۷۱	۱۹.۸۵	۱۹.۹۴
۲۰۰۵	۲۰.۵۶	۱۹.۶۰	۱۹.۵۷	۱۹.۷۱	۱۹.۶۰

روش کار

۱. روش رگرسیون

شکلکلی معادله همبستگی خطی چندمتغیر هیپنمتغیر وابسته (T_s) و متغیرهای مستقل جویبه صورت زیر در نظر گرفته شد:

$$T_s = a \cdot T_{air} + b \cdot RH(1)$$

که در معادله بالا a و b ضریب معادله همبستگی بوده و T_{air} دمای هوا و RH رطوبت نسبی می‌باشند.

۲. روش نزدیکترین k -همسایگی

یکی دیگر از روش‌های مدل‌سازی در داده‌کاوی الگوریتم نزدیکترین k-همسایگی است. این الگوریتم جزء روش‌های یادگیری نظارت شده است که هم در طبقه‌بندی و هم در پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نحوه عملکرد این الگوریتم براساس مشاهدات و نمونه‌ها می‌باشد. بر اساس این الگوریتم می‌توان یک نمونه جدید را بر اساس اکثریت k گروه و دسته که نزدیکترین همسایگی‌ها را با آن نمونه داشته باشند، تقسیم‌بندی نمود. به عبارت دیگر می‌توان گفت این روش k تعداد از الگوهای مشابه را پیدا کرده و بر اساس آن‌ها ارزش نمونه مورد مطالعه را پیش‌بینی می‌کند. در روش نزدیکترین k-همسایگی نمونه ناشناخته در یک کلاس از پیش تعریف شده C_i متعلق به C بر اساس نمونه‌ها کلاس‌بندی شده قبلی (داده‌های آموزش) طبقه‌بندی می‌شود. زمانی که نمونه S کلاس‌بندی می‌شود، KNN فاصله آن را با همه نمونه‌های موجود در داده‌های آموزشی اندازه‌گیری می‌کند. فاصله اقلیدسی از متداول‌ترین معیارهای اندازه‌گیری فاصله می‌باشد. سپس تمام مقادیر فاصله مرتب می‌شوند به طوری که $n = d_{i+1}; d_i \leq d_{i+1}, i=1,2,3,\dots, n$ می‌باشد. k نمونه با کمترین فاصله به نمونه جدید به عنوان نزدیکترین k-همسایه شناخته می‌شوند و برای کلاس‌بندی نمونه جدید S به کلاس موجود $1 < i \leq n, C_i \in C$ استفاده می‌شود. تصمیم طبقه‌بندی به طبیعت داده‌ها بستگی دارد. این الگوریتم جزء روش‌های تنبیل به حساب می‌آید به این دلیل که مرحله آموزش را همان زمان که نمونه جدید می‌بایست طبقه‌بندی شود اجراء می‌کند برخلاف الگوریتم‌های یادگیری، نقطه مقابل آن که داده‌های آموزشی را قبل از ورود نمونه جدید طبقه‌بندی می‌کنند. بر این اساس KNN نسبت به دیگر الگوریتم‌های یادگیری محاسبات بیشتری را لازم دارد. KNN برای داده‌های پویا و داده‌هایی که سریع تغییر می‌کنند و به روز می‌شوند مناسب است (جان، ۲۰۰۸).

داده‌های مورد نظر که شامل دمای خاک، دمای هوا و رطوبت نسبی بوده را وارد نرم افزار IBM modeler spss کرده و برای محاسبه خروجی‌های نرم افزار به این صورت عمل شد که ابتدا برای مدل KNN، به ازای مقادیر مختلف k، خروجی‌ها را مشاهده کرده و بهترین k برآورد شده و سپس با استفاده از خروجی نرم افزار IBM modeler spss و دمای خاک واقعی، مقدار خطای مورد نظر پیش‌بینی گردیده و همچنین داده‌های خروجی از نظر معیار R^2 سنجیده شد.

ارزیابی

برای ارزیابی دقت مدل‌ها در هر عمقی از خاک، مقادیر میانگین روزانه دمای خاک برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. اعتبارسنجی نتایج با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربع خطاها (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین انحراف خطاها (MBE) انجام شده است.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2][\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2]} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (۴)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad (۵)$$

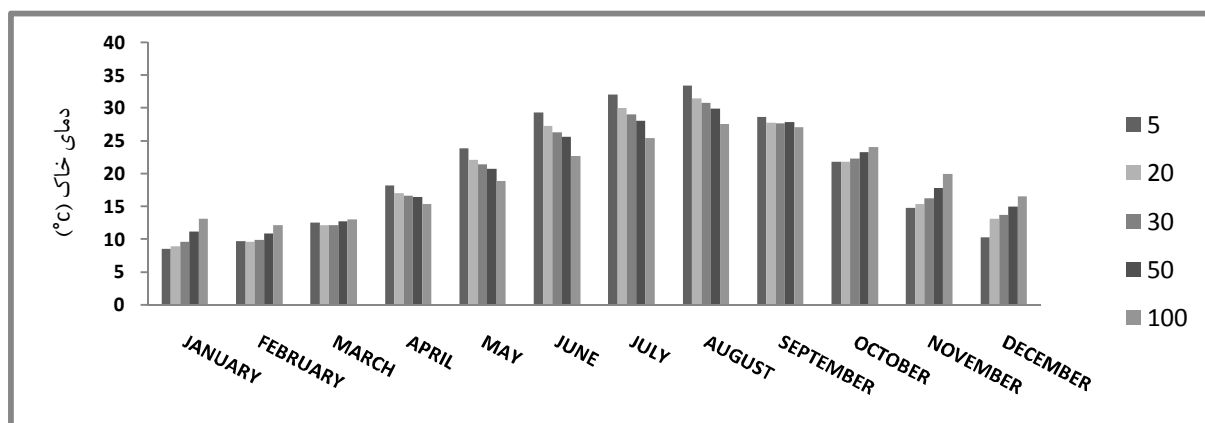
در این روابط X_i و Y_i به ترتیب آمین داده واقعی (اندازه‌گیری شده) و برآورده شده، \bar{X} و \bar{Y} میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه آماری و n، تعداد کل نمونه ارزیابی شده می‌باشد.

نتایج و بحث

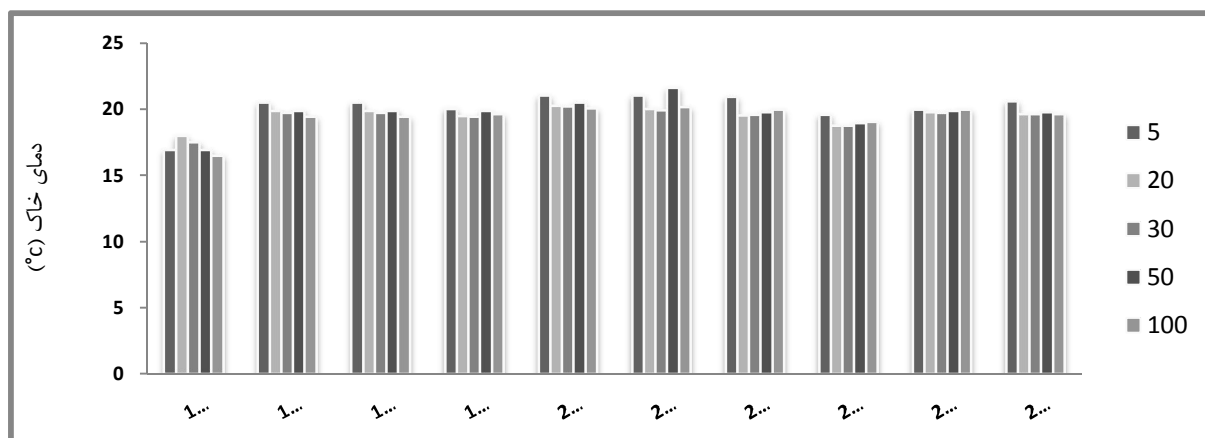
آنالیز مقادیر ماهانه و سالانه دمای خاک

شکل (۱) تغییرات میانگین ماهانه دمای واقعی خاک را در کل دوره آماری در شهر مورد نظر نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، حداکثر دمای ماهانه خاک در همه اعماق در ماه آگوست (مرداد) اتفاق افتاده است. حداقل مقدار آن در اعماق کم (۵ و ۱۰ سانتی متری) در ماه ژانویه (دی) و در بقیه اعماق در ماه فوریه (بهمن) می‌باشد.

در شکل (۲)، تغییرات سالانه دمای خاک در کل دوره آماری نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، مقادیر میانگین سالانه دمای خاک در طول دوره مورد مطالعه دارای نوساناتی است که این امر ناشی از تأثیر دیگر متغیرهای جوی مانند: تابش خورشیدی، ابرناکی، ساعات آفتابی، رطوبت هوا، بارش و ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد.



شکل (۱): تغییرات ماهانه دمای خاک (°C) در دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۰۵



شکل (۲): تغییرات سالانه دمای خاک (°C) در دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۰۵

با تطابق مقادیر مشاهده شده نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده از خروجی نرم‌افزار نتایج به صورت زیر در جدول (۳) خلاصه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر RMSE برای روش نزدیکترین k-همسایگی مقادیر کمتری را نسبت به روش رگرسیون به دست آورده است که مدل نزدیکترین k-همسایگی در تخمین دمای اعماق خاک با ($R^2=0.99, RMSE=0.41$) عملکرد بهتری را نسبت به رگرسیون با ($R^2=0.97, RMSE=1.62$) دارد. همچنین مقادیر منفی خطای MBE به دست آمده در جدول (۴) در اغلب عمق‌ها، حاکی از فرو برآورد (Underestimation) دمای خاک می‌باشد.

جدول (۳): آماره‌های واسنجی مدل رگرسیون

اعماق خاک	۵ Cm	۲۰ Cm	۳۰ Cm	۵۰ Cm	۱۰۰ Cm
ساعت ۰۳					
RMSE	۱.۶۲۳۶	۲.۱۳۸۹	۲.۲۷۵۵	۲.۵۴۵۲	۲.۶۵۸۵
MAE	۰.۰۳۶۹	۰.۰۴۷۸	۰.۰۳۸۱	۰.۰۴۶۷	۰.۰۰۸۱
MBE	-۰.۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۳	-۰.۰۰۰۰۱	-۰.۰۰۰۰۳	-۰.۰۰۰۰۳
ساعت ۰۹					
RMSE	۲.۲۵۴۰	۱.۶۹۵۸	۱.۸۴۶۹	۲.۱۷۸۸	۲.۵۱۹۷
MAE	۰.۰۸۲۷	۰.۰۳۵۲	۰.۰۳۱۲	۰.۰۵۶۱	۰.۰۲۶۰
MBE	۰.۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۲	-۰.۰۰۰۰۲	-۰.۰۰۰۰۵
ساعت ۱۵					
RMSE	۱.۸۳۴۵	۱.۶۴۳۲	۱.۷۶۴۱	۲.۱۱۸۲	۲.۳۹۴۴
MAE	۰.۰۱۳۹	۰.۰۴۲۸	۰.۰۵۴۱	۰.۰۶۰۰	۰.۰۳۱۲
MBE	۰.۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۱	-۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۷۹

جدول (۴): آماره‌های واسنجی مدل نزدیکترین k-همسایگی

اعماق خاک	۵ Cm	۲۰ Cm	۳۰ Cm	۵۰ Cm	۱۰۰ Cm
ساعت ۰۳					
اعماق خاک	۵	۲۰	۳۰	۵۰	۱۰۰
RMSE	۰.۴۱۱۴	۱.۶۳۰	۱.۷۳۵	۱.۹۹۶	۲.۱۴۸
MAE	۰.۰۰۱۵	۰.۰۰۱	۰.۰۲۸	۰.۰۴۱	۰.۰۳۵
MBE	-۰.۰۰۰۰۲	-۰.۰۰۰۰۴	-۰.۰۰۰۰۱	-۰.۰۰۰۰۸	-۰.۰۰۰۰۸
ساعت ۰۹					
RMSE	۱.۶۹۴	۱.۲۱۷	۱.۳۵۱	۱.۶۶۴	۱.۹۸۵
MAE	۰.۰۱۹	۰.۰۳۲۲	۰.۰۰۲	۰.۰۲۱	۰.۳۳
MBE	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۱
ساعت ۱۵					
RMSE	۱.۳۹۲	۱.۲۵۹	۱.۳۲۲	۱.۶۰۲	۱.۸۰۵
MAE	۰.۰۶۷	۰.۰۴۴	۰.۰۳۲	۰.۰۱۴	۰.۰۲۸
MBE	۰.۰۰۰۰۸	۰.۰۰۰۰۳	-۰.۰۰۰۰۵	-۰.۰۰۰۰۵	-۰.۰۰۰۰۱۱

در جداول (۵) و (۶) مقادیر R^2 برای هر دو روش در تمام اعماق آمده است. که نشان دهنده این است که مقدار R^2 برای روش نزدیکترین k-همسایگی بیشتر از روش رگرسیون است و می‌توان نتیجه گرفت که روش نزدیکترین k-همسایگی از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد.

جدول (۵): مقادیر R^2 مدل رگرسیون

۱۰۰ Cm		۵۰ Cm		۳۰ Cm		۲۰ Cm		۵ Cm		اعماق خاک
Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	روش
۰.۸۵۸	۰.۸۶۶	۰.۹۲۱	۰.۹۲۵	۰.۹۴۷	۰.۹۵۲	۰.۹۵۹	۰.۹۶۱	۰.۹۷۷	۰.۹۷۸	ساعت ۰۳
۰.۸۸۳	۰.۸۸۱	۰.۹۴۲	۰.۹۴۴	۰.۹۶۶	۰.۹۶۷	۰.۹۷۷	۰.۹۷۶	۰.۹۷۳	۰.۹۷۲	ساعت ۰۹
۰.۸۸۴	۰.۸۹۴	۰.۹۴۵	۰.۹۴۷	۰.۹۶۹	۰.۹۷۱	۰.۹۷۹	۰.۹۷۸	۰.۹۷۸	۰.۹۸	ساعت ۱۵

جدول (۶): مقادیر R^2 مدل نزدیکترین k-همسایگی

۱۰۰ Cm		۵۰ Cm		۳۰ Cm		۲۰ Cm		۵ Cm		اعماق خاک
Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	روش
۰.۸۲۳	۰.۹۳۹	۰.۹۰۵	۰.۹۶۷	۰.۹۴۱	۰.۹۷۹	۰.۹۵۳	۰.۹۸۴	۰.۹۷۳	۰.۹۹۱	ساعت ۰۳
۰.۸۴۲	۰.۹۵۲	۰.۹۳۲	۰.۹۷۷	۰.۹۶۴	۰.۹۸۷	۰.۹۷۶	۰.۹۹۱	۰.۹۶۸	۰.۹۸۹	ساعت ۰۹
۰.۸۶۳	۰.۹۶۱	۰.۹۳۴	۰.۹۷۹	۰.۹۶۵	۰.۹۸۹	۰.۹۷۴	۰.۹۹۲	۰.۹۷۵	۰.۹۹۲	ساعت ۱۵

منابع مورد استفاده

۱. ابراهیمی، ا. ۱۳۷۴. مطالعه دمای اعماق مختلف خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
۲. بای‌بوردی، م. ۱۳۸۲. فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه تهران. ۶۷۰ صفحه.
۳. بهیار، م.ب.، کمالی، غ.ع. ۱۳۸۶. رابطه دمای هوا با دمای سطح و اعماق مختلف خاک. تحقیقات جغرافیایی، ۲۳(۳): ۱۰۲-۸۱.
۴. جعفری گلستانی، م.، رائینی سرجاز، م.، و ضیاءتبار احمدی، م.خ. ۱۳۸۶. برآورد دمای ژرفای خاک با بهره‌گیری از روش تجزیه منحنی و همبستگی‌های رگرسیونی برای شهرستان ساری. مجله علوم و کشاورزی و منابع طبیعی (ویژه‌نامه زراعت و اصلاح نباتات)، ۱(۵): ۱۱۲-۱۲۳.
۵. دانش‌کار آراسته، پ.، تجریشی، م.، و ثقفیان، ب. ۱۳۸۴. تعیین دمای سطح با استفاده از فناوری سنجش از دور در منطقه سیستان. نشریه علمی-پژوهشی آب و آبخیز، ۲: ۳۰-۲۰.
۶. عباسی، ا. ۱۳۸۵. بررسی بین رژیم دمایی اعماق خاک با دمای هوا (اسکرین) و تعیین عمق یخبندان در استان کردستان. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه کشاورزی فردوسی مشهد.
۷. مهدویان، م. ۱۳۷۸. پیش‌بینی محلی دمای حداقل شبانه‌روزی در منطقه کرج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۸. نجفی‌مود، م.ح.، علیزاده، ا.، محمدیان، آ.، و موسوی، ج. ۱۳۸۷. بررسی رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک و برآورد عمق یخبندان (مطالعه موردی استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲): ۴۶۶-۴۵۶.
9. George, R. K. 2001. Prediction of Soil Temperature by using Artificial Neural Networks Algorithms. Nonlin. Anal. 47: 1737-1748.
10. Jan Z. Abrar M. Bashir Sh. And Mirza A. 2008. Seasonal to inter-annual climate prediction using data mining KNN technique. In the international multi topic conference (IMTIC08) in the revised selected papers, Jamshoro, Pakistan.
11. Mihalakakou, G. 2002. On estimating soil surface temperature profiles. Energy and Buil. 34: 251-259.

12. Plauborg, F. 2002. Simple model for 10 cm soil temperature in different soils with short grass. *Eur. J. Agron.* 17: 173–179.
13. Quinlan, J. R. 1992. Learning with continuous classes. *Proceedings of Fifth Australian joint conference on artificial intelligence*, Singapore, 343–348.
14. Sommers, L.E., Gilmour, C.M., Wildung, R.E., and Beck, S.M. 1981. The effect of water potential on decomposition processes in soils, in *water potential Relations in soil Microbiology*. Edited by J.E. Parr, W.R. Gardner and W.R. Ellion, SSSA Spec. Publ. 9:97-117.
15. Usowicz, B. and R. Walczak. 1994. Soil temperature prediction by numerical model. *Polish J. Soil Sci.* 28(2): 87-94.
16. Veronez, M. R., A. B. Thum, A. S. Luz and A. R. Da Silva 2006. Artificial neural networks applied in the determination of soil surface temperature – SST, 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences.
17. Zheng, D. Raymond Hunt Jr. E. and S.W. Running. 1993. A daily soil temperature model based on air temperature and precipitation for continental applications. *Clim. Res.* 2: 183-191.