ارائه مدل‌های عصبی فازی برای دمای خاک با استفاده از داده‌های هواشناسی در دو اقلیم متفاوت

محبوبه مظهری[1*]، ساجده اصغرزاده[2]، سامان ملک‌نیا[3] و الهام مطلبی[4]

۱*- استادیار، گروه علوم خاک، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، البرز، ایران، mahbubehmazhari@gmail.com

۲- کارشناسی‌ارشد، گروه علوم خاک، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، البرز، ایران، s.majdazar@gmail.com

۳- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، البرز، ایران، saman.ma1370@gmail.com

٤- استادیار، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، e_motallebi@yahoo.com

*نویسنده مسئول: محبوبه مظهری

تاریخ دریافت: تیر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۸

Providing Fuzzy Neural Models for Soil Temperature Using Meteorological Data in two Different Climates

Mahbobeh Mazhari[1*], Sajedeh Asgarzadeh[2], Saman Maleknia[3] and Elham Motallebi[4]

1*- Assistant Professor, Department of Soil Science, Karaj Branch, Islamic Azad University, Alborz, Iran, mahbubehmazhari@gmail.com

2- M.Sc, Department of Soil Science, Karaj Branch, Islamic Azad University, Alborz, Iran, s.majdazar@gmail.com

3- Ph.D Student, Department of Soil Science, Karaj Branch, Islamic Azad University, Alborz, Iran, saman.ma1370@gmail.com

4- Assistant Professor, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, e_motallebi@yahoo.com

*Corresponding author: Mahbobeh Mazhari

Received: July 2019 Accepted: September 2019

Abstract

The purpose of this study is to provide a model for determining the soil temperature at depths of 5, 10, 20, 30, 50 and 100 cm using a fuzzy-neural network method in two cities of Arak and Rasht. Independent variables included dry air temperature, humid air temperature, humidity, dew point, vapor pressure, pressure, day and hour of sampling, precipitation, radiant energy and ground air temperature. After determining the test and training data for each soil depth, in each city, the type of inference engine and its parameters were determined separately and the engine was constructed. Comparison of model error with similar attempts and regression method showed a decrease in modeling error. The error rate of the model at 5, 10, 20, 30, 50 and 100 cm depths in Rasht was 36/1, 19/1, 22/1, 17/1, 60/1 and 33/1 degrees C Grad and in Arak, respectively, were 0.002, 1.90, 1.61, 1.53, 1.44, and 1.61 ° C; respectively. The results showed that the models of soil surface temperature for 5 to 30 cm in depth in Rasht were more accurate than Arak city. The justification for this is that the climate of Rasht is wet, as a result of the higher velocity of temperature transfer in wet soil, weather parameters are faster and more effective at soil temperature, but at a depth of 50 and 100 cm in both cities with differences They have little or no precision. This indicates that the depths of the soil are less affected by the surface of the earth, and the type of climate has not been more effective in soil simulation at the depths.

Keywords: Dry climate, Fuzzy neural models, Humid, modeling, Soil temperature

چکیده

هدف از تحقیق حاضر ارائه مدلی جهت تعیین دمای خاک در عمق‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری توسط روش شبکه فازی عصبی در دو شهر اراک و رشت می‌باشد. در این تحقیق تلاش شده است دمای عمق‌های مختلف خاک با استفاده از داده‌های هواشناسی مدل‌سازی شود. یکی از مشکلات حوزه کشاورزی و خاک اندازه‌گیری دمای عمق‌های مختلف خاک به منظور استفاده در تصمیم‌ها و بررسی های کشاورزی، هواشناسی و خاکشناسی می باشد. متغیرهای مستقل شامل دمای هوای خشک، دمای هوای مرطوب، رطوبت، نقطه شبنم، فشار بخار، فشار، روز و ساعت نمونه‌برداری، میزان بارش، انرژی تابشی و دمای هوای سطح زمین بود. بعد از تعیین داده‌های تست و آموزش برای هر عمق خاک، در هر شهرستان به‌صورت جداگانه نوع موتور استنتاج و پارامترهای آن مشخص شده و موتور ساخته شد. مقایسه میزان خطای مدل با تلاش‌های مشابه و همچنین روش رگرسیون نشان از کاهش خطای مدل‌سازی دارد. میزان خطای مدل در عمق‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری در شهر رشت به ترتیب ۱/۳٦، ۱/۱۹، ۱/۲۲، ۱/۱۷، ۱/٦۰ و ۱/۳۳ درجه سانتی‌گراد و در شهر اراک به ترتیب ۳/۰۲، ۱/۹۰، ۱/٦۱، ۱/۵۳، ۱/٤٤ و ۱/۰٦ درجه سانتی‌گراد بود. نتایج نشان داد که اقلیم به ویژه در سطوح ابتدایی خاک می‌تواند بر خطای شبیه‌سازی مدل فازی عصبی تأثیرگذار باشد و همچنین مدل‌های ساخته شده دمای سطح خاک برای عمق‌های ۵ تا ۳۰ سانتی‌متر در شهر رشت دقیق‌تر از شهر اراک است. توجیه این نتیجه این است که اقلیم رشت، مرطوب است در نتیجه سرعت بیشتر انتقال دما در خاک مرطوب، پارامترهای هواشناسی سریع‌تر و مؤثرتر در دمای خاک تأثیر می‌گذارند؛ اما در عمق‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری در هر دو شهر با اختلاف کمی دقت مشابه‌ای دارند. این امر نشان می‌دهد که اعماق خاک کمتر تحت تأثیر اقلیم سطحی زمین قرار می‌گیرد و نوع اقلیم بر شبیه‌سازی خاک در اعماق بیشتر تأثیرگذار نبوده است.

کلمات کلیدی: اقلیم خشک، اقلیم مرطوب، دمای خاک، مدل‌سازی، مدل‌سازی عصبی فازی

فصلنامه زیست شناسی سلولی و مولکولی گیاهی

سال ۱۳۹۸، دوره ١٤، شماره ۲، صص ٥٤-٤٧

مقدمه و کلیات

خاک بستر حیات است و از جهات گوناگون بر سامانه‌های محیطی تأثیر می‌گذارد. یکی از ویژگی‌های عمده خاک، رژیم حرارتی حاکم بر آن است که بر روی بسیاری از جنبه‌های زیستی به ویژه پراکنش گیاهان و جانوران، فعالیت‌های بیولوژیکی و حرکت آب در خاک، اثرگذار است. از سوی دیگر، رفتار حرارت در خاک بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک، جذب عناصر مهم مانند فسفر و پتاسیم و دیگر فعالیت‌های بیولوژیکی درون خاک تأثیر بسزایی دارد. دمای خاک روی عمق و مدت یخ‌زدگی خاک به منظور پیش‌بینی وقوع سیل و یا زمان و عمق مناسب برای کاشت بذر گیاهان زراعی اهمیت قابل‌توجهی دارد، و همچنین در مناطق خشک فراهم کردن محیطی مناسب برای استقرار پوشش گیاهی در اراضی حساس به فرسایش بادی به منظور جلوگیری از بیابان‌زایی در این مناطق حائز اهمیت است. گونه‌های مختلف گیاهی به دماهای متفاوتی نیازمندند و باردهی آن‌ها در محدوده معینی از درجه حرارت به بیشترین مقدار می‌رسد(Aldridge and Cook, 1983). علاوه بر فرآیندهایی مانند تبخیر و تعرق فرآیندهای دیگری مانند تهویه خاک، جوانه‌زنی، رشد گیاه، توسعه ریشه‌ها و فعالیت‌های میکروبی درون خاک نیز تابع دمای خاک هستند. همچنین درجه حرارت خاک به عنوان یک عامل، به‌صورت قوی و مؤثر در فرایندهای بحرانی مورد استفاده قرار گرفته و در توازن انرژی سطحی به عنوان یک منبع ذخیره و مؤثر بر اتمسفر نقش به سزایی دارد (Aldridge and Cook, 1983). اندازه‌گیری دمای خاک در عمق‌های مختلف در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی انجام نمی‌شود. این اندازه‌گیری در ایستگاه‌های سینوپتیکی با انواع مختلف حس گر و یا دماسنج‌های معمولی صورت می‌گیرد؛ اما اندازه‌گیری دمای خاک با حس گر هزینه بر بوده و به نیروی انسانی ماهر و پایش مداوم نیاز دارد. Mihalakakou, 2002 به این نتیجه رسید که برای تعیین تغییرات مکانی دمای خاک در اعماق مختلف، چندین حس گر و یا دماسنج مختلف مورد نیاز است؛ بنابراین، ارائه روش‌های آماری و تجربی که قادر به ارائه نتایج قابل‌قبول در برآورد دمای خاک باشد، می‌تواند راه‌حل مناسبی برای برآورد این متغیر در نقاط فاقد اندازه‌گیری باشد (Meikle and Gilchrist, 1983). در یکی از تحقیقات قدیمی که توسط Sommers و همکاران (۱۹۸۱) با به کارگیری روش عددی موفق به برآورد دمای خاک به عنوان تابعی از زمان و عمق شدند. در این مطالعه دمای محاسبه شده ۱/۵ درجه سانتی‌گراد با دمای واقعی اختلاف داشت. سپس Ghuman and Lal در سال 1982 با استفاده از روش سری فوریه در یک منطقه استوایی دمای روزانه خاک را پیش‌بینی کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که بین دمای اندازه‌گیری شده و دمای پیش‌بینی شده از سری فوریه در عمق ۱۳ سانتی‌متری خاک همبستگی خوبی برقرار است. استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره میانگین سالیانه برای محاسبه دمای خاک در عمق‌های ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متری به سال ۱۹۸۳ برمی‌گردد (Aldridge and Cook, 1983). در تحقیق دیگری که توسط Hanks و همکاران (۱۹۷۱) با ارائه مدل چند جمله‌ای درجه چهارم موفق به محاسبه کمینه و بیشینه دمای خاک در هر روز از سال در ۱۸ منطقه از انگلستان شدند. همچنین Maclean and Ayres (۱۹۸۵) با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره ارتباط بین دمای خاک با 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(Hanks *et al.*, 1971). سپس Zheng و همکاران (۱۹۹۳) با استفاده از دمای هوا و بکارگیری رگرسیون خطی، دمای خاک را در عمق ۱۰ سانتی‌متری در ٦ نمونه اقلیمی در آمریکا برآورد نمودند. استفاده از روش‌های آماری سریع، ساده و پیشرو در هوش مصنوعی به سال ۲۰۱۰ برمی‌گردد که (Bilgili, 2010) موفق شدند دمای خاک را مدل‌سازی کنند و ثابت کردند روش‌های شبکه عصبی مصنوعی نسبت به رگرسیون خطی و غیر خطی کارایی بهتری دارند(Jang *et al.*, 1997). حسین زاده‌طلایی (۲۰۰٤) نیز نشان داد مدل کانفیس با توابع عضویت گوسی و فازی سازی تی اس کا در مناطق خشک کارایی بهتری نسبت به مناطق نیمه خشک دارد. در تحقیقات داخل کشور نیز می‌توان به یافته ابراهیمی (۱۹۹٤) اشاره کرد که با استفاده از روش‌های آماری به مطالعه دمای خاک در اعماق مختلف در تهران و همدان پرداخت. Jafari Golestani و همکاران (۲۰۱۰) برای تخمین دمای خاک در عمق‌های ۷ و ۲۰ سانتی‌متری در شهر ساری با استفاده از روابط رگرسیونی، چند معادله تجربی پیشنهاد کردند. با توجه به نیاز به دقت بیشتر این روش‌ها در محاسبه دمای خاک، مطالعات به سمت استفاده از روش‌های عصبی فازی سوق داده شد.Sabziparvar و همکاران (۲۰۰۹) ضمن بررسی داده‌های سه ایستگاه سینوپتیک زاهدان، تهران و رامسر نتیجه گرفتند دقت پیش‌بینی دمای خاک با روش استنتاج تطبیقی عصبی-فازی در دو ایستگاه اقلیم خشک (زاهدان و تهران) به ترتیب ۱۲ و ٤/٥ درصد بهتر از ایستگاه رامسر است. اعتقاد کلی نیز بر این دلالت دارد که به دلیل خطای به وجود آمده در هنگام اندازه‌گیری دمای اعماق خاک توسط دماسنج‌های معمولی، عملی‌ترین روش برای پیش‌بینی دمای خاک استفاده از داده‌های هواشناسی بالای سطح خاک می‌باشد (Maclean and Ayres, 1985). لذا هدف از تحقیق حاضر ارائه مدلی جهت تعیین دمای خاک در سطوح مختلف خاک توسط روش شبکه فازی-عصبی در دو شهر اراک و رشت می‌باشد.

فرآیند پژوهش

منطقه مطالعاتی شهرستان رشت تقریباً در مرکز جلگه‌ی گیلان واقع است و بزرگ‌ترین شهر سواحل شمالی ایران می‌باشد که در حاشیه‌ی غربی دلتای سفیدرود آرمیده است. آب و هوای شهرستان رشت، مرطوب ساحلی و جلگه‌ای و در ناحیه‌ی کوهستانی نیمه مرطوب و در فصل‌های سال دارای شرایط خیلی مطلوب است و این منطقه در فصول گرم و سرد سال تحت تأثیر سیستم‌های مختلف فشار قرار دارد که هر یک از این سیستم‌ها در مقیاس محلی و منطقه‌ای تأثیرگذار بوده و بعد از ورود به سواحل دریای خزر، به نوع دریایی تبدیل می‌گردند. مهم‌ترین این سیستم‌ها عبارتند از پرفشار سیبری، پرفشار آزور و پرفشار اطلس شمالی در زمستان و کم فشار آسیایی در تابستان؛ که هر یک از این سیستم‌ها، منشأ جریانات مختلف آب و هوایی بوده و میزان بارش، رطوبت، دما و پایداری هوای منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اراک نیز از شمال به تفرش، از غرب به همدان و ملایر، از شرق به محلات و از جنوب به خمین و سربند محدود است و در دشت وسیعی واقع شده است که در شمال آن کوه‌های خلجستان و در

جنوب آن کوه‌های کمره قرار دارد و زمین آن به وسیله جویبارهایی که از این کوه‌ها سرچشمه می‌گیرد مشروب می‌شود. خاک‌های اراک برای کشاورزی چندان مناسب نیست ولی دره‌های کوهستانی اطراف آن حاصلخیز و دارای مراتع سرسبز و خرم است. اراک خصوصیات اقلیمی فلات مرکزی ایران (زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک) را دارا است و کوه‌های اطراف اراک و تالاب میقان و دشت فراهان در آب و هوای این منطقه اثر کرده و ویژگی‌های خاصی به آن بخشیده است. ابرها و جریان‌های غربی در پاییز و زمستان بیشتر رطوبت خود را در ارتفاعات غرب منطقه به خصوص رشته کوه زاگرس از دست می‌دهند و در زمستان جبهه سردی هوای اراک را اشغال می‌کند که بر اثر ارتفاعات اطراف و فشاری که تالاب میقان بر هوا وارد می‌کند، مدت زیادی در منطقه می‌ماند. اقلیم شهر اراک بر اساس طبقه‌بندی دمارتن، نیمه خشک و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، نیمه خشک و سرد شده است. آب و هوای اراک متغیر است زمستان‌ها، اکثراً طولانی و از ٤ تا ٦ ماه به درازا می‌کشد و بهار و پاییز فصول کوتاهی هستند تابستان در تیر و مرداد ظاهر می‌شود مدت روزهای یخبندان از ٦٥ تا ١٢٠ روز در سال‌های مختلف متغیر است میزان بارندگی در سال‌های مختلف متفاوت است و بین ۲۳۰ تا ٦٣٨ میلی‌متر در سال می‌باشد متوسط بارندگی حدود ۳۰۰ میلی‌متر بوده است. برخی مشخصات دو اقلیم مورد مطالعه در جدول ۱ خلاصه شده است. داده‌های نمونه‌برداری شده شامل متغیرهای مختلف من جمله تاریخ و زمان، دمای هوای خشک و تر، میزان رطوبت خشک و تر، فشار هوا، میزان بارش و غیره می‌باشد که در کنار آن دمای خاک در عمق‌های شش‌گانه (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر) با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری دمای عمق خاک وجود دارد و این داده‌ها به مدت ۱۵ سال برای دو شهر اراک و رشت با دقت زمانی سه بار در روز موجود است.پس از انجام پردازش‌های لازم داده‌های فوق برای ورود به نرم‌افزار Matlab و اجرای مدل عصبی فازی آماده شد. غالب منابع علمی ۸۰ درصد کل داده‌ها را برای آموزش و داده‌های آزمون را ۲۰ درصد از آن در نظر می‌گیرند، مگر برای وضعیتی که داده‌ها مشکلات و ناهمگونی‌های خاصی داشته باشند ما نیز ۱۵۳٤۷ داده موجود را به همین ترتیب تقسیم‌بندی نمودیم. در این تحقیق سه آزمون برای بررسی تأثیر تغییر بازه‌های آموزش و آزمون در نظر گرفته شد و داده‌های ۱ تا ۱۵۳٤۷ به سه نسبت مختلف تقسیم‌بندی شدند (که نحوه تقسیم‌بندی آن در بخش نتایج نمایش داده شده است). بعد از تعیین داده‌های تست و آموزش برای هر عمق خاک (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتیمتر) و برای هر دو شهرستان به‌صورت جداگانه نوع موتور استنتاج و پارامترهای آن مشخص شده و موتور ساخته شد. عملیات آموزش اجرا گردید و میزان RMSD یا خطای جذر میانگین مربعات آموزش به دست آمد. سپس داده‌های آزمون بارگذاری شده و آزمون اجرا و خطای آن نیز محاسبه گردید. سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیق‌پذیر: شبکه عصبی مصنوعی یک ساختار ریاضی است که توانایی نشان دادن فرایندها و ترکیبات دلخواه غیرخطی جهت ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های هر سیستمی را داراست. این شبکه با داده‌های موجود طی فرایند یادگیری آموزش دیده و جهت پیش‌بینی در آینده مورد استفاده قرار می‌گیرند و دارای ویژگی‌های قابلیت یادگیری، قابلیت تعمیم و پردازش موازی

است (Sommers *et al.*, 1981). پس از آنکه در سال‌های اخیر دو روش مدل‌سازی منطق فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد توجه قرار گرفت ترکیبات مختلفی از این دو ارائه شد که یکی از بهترین انفیس می باشد. سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیق‌پذیر(Adaptive neuro-fuzzy inference system) یا سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه تطبیق‌پذیر(Adaptive network-based fuzzy inference system) که به اختصار به آن انفیس(ANFIS) می‌گویند، نوعی شبکه عصبی مصنوعی است که مبتنی بر سیستم استنتاج فازی (Takagi–Sugeno) می‌باشد (Jang *et al.*, 1997). ساختار انفیس شامل قابلیت‌های استنتاج سیستم فازی و همچنین تطبیق‌پذیری شبکه عصبی است؛ در حقیقت روشی است برای بهبود بخشیدن به قوانین سیستم فازی با کمک الگوریتم‌های آموزشی در شبکه‌های عصبی مصنوعی. در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی، انفیس به علت تنظیم‌پذیری پارامترهای سیستم فازی، سریع‌تر آموزش می‌بیند و همچنین دقت بیشتری دارد. در حقیقت تفاوت اصلی شبکه‌های عصبی فازی با شبکه‌های عصبی مصنوعی در آن است که وزن‌های شبکه عصبی فازی، به‌صورت فازی تعریف شده و به‌صورت قطعی در نظر گرفته نمی‌شود. به علاوه نشان داده شده است انفیس توانایی آموزش دیدن برای تخمین سیستم‌های غیرخطی را داراست (Bilgili, 2010). انفیس همچنین دارای این مزیت است که اجازه استخراج قوانین فازی را از اطلاعات عددی یا دانش متخصص می‌دهد. در واقع ترکیب دو مدل فوق سبب افزایش دقت در مدل بندی مجموعه‌هایی با داده‌های مبهم و کم دقت می‌شود ولی مشکل اصلی این مدل پیش‌بینی، احتیاج زیاد به زمان برای آموزش ساختار و تعیین پارامترها می‌باشد. در کل انفیس به عنوان یک تخمین جهانی مقبول واقع شده است (Jafari Golestani *et al.*, 2010).

محاسبه خطای محاسباتی: با استفاده از ابزار مدل‌سازی انفیس در Matlab برای به حداقل رساندن خطای مدل‌سازی و تعریف ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته صورت گرفت. معمول‌ترین خطای مورد کاربرد در اینجا RMSD یا خطای جذر میانگین مربعات است و معادله آن به این شکل بیان می‌شود.

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \qquad (۱)$$

که در آن n تعداد نمونه، $\hat{y}_i$ مقدار واقعی متغیر خروجی و y_i مقدار تخمین زده‌شده‌ی آن می‌باشد. جهت تبدیل داده‌های خام به داده‌های قابل استفاده در ابزار انفیس این مراحل مورد نیاز است: در نظر گرفتن یک فایل حاوی یک یا چند سال خاص، یافتن الگوی مورد نظر در فایل، استخراج داده‌های یک ماه، کپی داده‌های آن ماه در یک فایل جدید با افزودن ستون سال و ماه، استخراج داده‌های ماه‌های بعدی تا انتهای فایل، وارد کردن داده‌ها در پایگاه داده، تجمیع انواع داده‌ها در کنار هم، انتقال داده‌های مفید به Matlab، نرمال‌سازی داده‌ها، آزمون‌های صحت سنجی و انتخاب‌ها، و در نهایت انتخاب روش تولید موتور استنتاج فازی. ابزار انفیس برای ساختن خودکار موتور استنتاج فازی و خصوصاً توابع عضویت آن از دو روش طبقه‌بندی شبکه‌ای(Grid partition) و طبقه‌بندی کاهشی(Subtractice clustering) بهره می‌گیرد. روش طبقه‌بندی کاهشی مانند طبقه‌بندی شبکه‌ای نیست که به شکل کورکورانه‌ای داده‌ها را در نظر نگیرد بلکه توابع عضویت را با نگاه به داده‌ها می‌سازد. به این دلیل و این که سرعت اجرای

آزمون‌ها در این روش سریع‌تر است. در این تحقیق از روش طبقه‌بندی کاهشی برای ساختن توابع عضویت مورد استفاده قرار گرفت. در این روش تعداد توابع عضویت ورودی و خروجی به طور خودکار مشخص می‌شود و نیازی به انتخاب ما نیست. در قسمت آموزش ابزار انفیس دو روش برای حرکت به سمت بهینه‌سازی وجود دارد، پس انتشار(Back propagation)، ترکیبی(Hybrid)، برای انتخاب آزمون نوع بهینه‌سازی در مرحله آموزش برای شهر اراک و رشت در ۱۵ سال با ۱۷٤۷۵ داده (۱٤۰۰۰ داده برای آموزش و ۳٤۷۵ داده برای آزمون) با متغیرهای مستقل روز سال، ساعت، دمای خشک و دمای تر و متغیر وابسته دمای عمق ۵ سانتی‌متری خاک در نظر گرفته شد در جدول ۲ تعداد نمونه‌ها، داده‌های آزمون و داده‌های دوره آموزش برای دو شهر اراک و رشت نمایش داده شده است.

نتایج و بحث

با توجه به اینکه در شهر اراک نتایج خطای آزمون برای تعیین روش بهینه‌سازی مقدار ۱۳/۱٦۹۵ برای روش پس انتشار و خطای آزمون ۳/۱۲۱٦ برای روش ترکیبی به دست آمد، بنابراین روش ترکیبی برای ادامه کار برگزیده شد. به همین ترتیب برای شهر رشت نیز مقدار خطای روش ترکیبی کمتر از روش پس انتشار بود و بنابراین برای هر دو شهر مذکور روش ترکیبی انتخاب گردید. در جدول ۳ انواع فراز داده‌ها به همراه آزمون خطاهای آن نمایش داده شده است. نتایج بر اساس سه نوع تقسیم‌بندی نسبت آموزش به کل ٦۵، ۷۸ و ۸۹ درصد نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود خطای آزمون در روش نسبت داده‌های آموزش به کل در حالت ۸۹ درصد کمترین بوده و بنابراین همین حالت برای تقسیم‌بندی داده‌ها در نظر گرفته شد. به این معنی که ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش مدل و ۲۰ درصد برای آزمون در نظر گرفته شد. نتایج مدل عصبی فازی ایجاد شده به عنوان نمونه برای عمق ۵ سانتیمتر در شهرستان اراک در زیر ارائه شده است. همان‌طور که در روش تحقیق نیز ذکر شد دمای عمق ۵ سانتیمتر در اینجا به عنوان متغییر وابسته و ۸ پارامتر دمای هوای خشک، دمای هوای مرطوب، رطوبت، نقطه شبنم، فشار بخار، فشار، روز و ساعت نمونه‌برداری، میزان بارش، انرژی تابشی و دمای هوای سطح زمین به عنوان متغییر وابسته انتخاب شدند. در شکل ۲ الف) محاسبه خطای آزمون در مدل فازی-عصبی، در قسمت ب) شبکه عصبی تشکیل شده و در قسمت ج) توابع عضویت ساخته شده برای عمق ۵ سانتیمتر خاک شهرستان اراک برای نمونه نمایش داده شده است. خلاصه این تحقیق حاصل شدن ۱۰ مدل عصبی فازی برای دو شهر رشت و اراک در ۵ عمق مختلف بود. خطای آموزش و آزمون این مدل‌ها در دو نمودار موجود در شکل ۲ قابل مشاهده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است کمترین میزان خطا، هم در مرحله آموزش و هم در مرحله آزمون، مربوط به عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک و حدود ۱ درجه سانتیگراد بوده است و بیشترین میزان خطا مربوط به عمق ۵ سانتی‌متری خاک و حدود ۱ درجه سانتیگراد می‌باشد. نکته قابل‌توجه آنکه هر چه عمق خاک افزایش می‌یابد دقت مدل برای شبیه‌سازی دمای خاک هم در مرحله آموزش و هم در مرحله آزمون افزایش می‌یابد. همچنین خطای آزمون در شهر اراک در هر شش عمق خاک بیشتر از خطای برآورد شده در دوره آموزش بوده است. شکل ۳ خطای آموزش و آزمون

مدل فازی-عصبی شهر رشت نمایش داده شده است، همان‌طور که در این شکل مشخص می‌باشد. در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک بهترین شبیه‌سازی (کمترین میزان خطا) هم در مرحله آزمون و هم در مرحله آموزش مشاهده می‌شود. بیشترین خطا در ۵۰ سانتی‌متری خاک به منظور شبیه‌سازی دما در مرحله آزمون مشاهده می‌شود و بیشترین خطای مرحله آموزش در عمق ۵ سانتی‌متری خاک مشاهده می‌شود. دو نکته جالب‌توجه در این نمودار وجود دارد اول آنکه روند خطای مدل در مرحله آزمون و آموزش یکسان نبوده (برعکس شهر اراک) و نکته دیگر اینکه با توجه به تغییرات عمق خاک روند منطقی در کاهش یا افزایش دقت، به‌ویژه در مرحله آزمون دیده نمی‌شود. البته تغییر روند در مرحله آموزش به گونه است که می‌توان تقریباً بیان داشت که با افزایش عمق خطای مدل کاهش خواهد یافت. همچنین با ملاحظه شکل مشخص می‌شود در مدل شهر رشت برخلاف اراک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک خطای آموزش بیشتر بوده است و در دو عمق ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خطای دوره آزمون افزایش یافته است. برای مقایسه بهتر خطای آزمون برآورد شده دمای خاک در سطوح مختلف توسط مدل عصبی فازی دو شهر مورد مطالعه رشت و اراک دو نمودار نهایی خطای آزمون دو شهر در شکل ٤ نمایش داده شده است. در مجموع می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که مدل فازی عصبی در هر دو شهر مورد مطالعه توانسته است دمای خاک در اعماق زیرین خاک را بهتر از دمای سطحی خاک شبیه‌سازی نماید. مهم‌ترین نتیجه ایجاد شده در این تحقیق آن است که مدل‌هایی از شبکه فازی عصبی ایجاد شده است که توانسته است دمای خاک در سطوح مختلف را با خطاهایی بین ۱ تا ۳ درجه سانتیگراد شبیه‌سازی نماید این بدان معنی است که مدل با دقت بالایی توانسته است دمای خاک را شبیه‌سازی نماید. مدل ایجاد شده در این دو شهر می‌تواند برای سایر مناطق، تست شده و پس از صحت سنجی در منطقه مورد استفاده قرار گیرد. مدل‌های فوق قابلیت نصب و استفاده را در سیستم پیش‌بینی دمای اعماق خاک با استفاده از پارامترهای هواشناسی، دارند و نیز می‌توانند در تحلیل‌ها و بررسی عوامل مؤثر و نوع تأثیر به کار روند. همچنین نتایج نشان داد که مدل‌های ساخته شده شبیه‌سازی دمای سطح خاک برای عمق‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر در شهر رشت دقیق‌تر از شهر اراک است یا به عبارتی دمای سطوح خاک را دقیق‌تر شبیه‌سازی می‌کند. توجیه این نتیجه این است که در رشت که منطقه‌ای مرطوب است به سبب سرعت بیشتر انتقال دما در خاک مرطوب، پارامترهای هواشناسی سریع‌تر و مؤثرتر در دمای خاک تأثیر می‌گذارند؛ اما در عمق‌های ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری در هر دو شهر با اختلاف کمی دقت مشابه ای را دارند. این امر نشان می‌دهد که اعماق خاک کمتر تحت تأثیر اقلیم سطحی زمین قرار می‌گیرد و نوع اقلیم بر شبیه‌سازی خاک در اعماق بیشتر تأثیرگذار نبوده است.

نتیجه‌گیری کلی

شبکه‌های عصبی فازی یکی از راه‌حل‌های پرکاربرد در مدل‌سازی مسائل پیچیده می‌باشند. یکی از مشکلاتی حوزه کشاورزی و خاک اندازه‌گیری دمای عمق‌های مختلف خاک به منظور استفاده در تصمیم‌ها و بررسی‌های کشاورزی، هواشناسی و خاکشناسی می‌باشد. در این تحقیق تلاش شده است دمای عمق‌های مختلف خاک با استفاده از داده‌های

هواشناسی مدل‌سازی شود و برای این کار از شبکه‌های عصبی فازی کمک گرفته شد. پس از بررسی متغیرهای مستقل موجود و انتخاب آن‌ها مدل‌هایی برای ۵ عمق خاک با مشخصات ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری به ترتیب برای دو شهر رشت و اراک ساخته شد که این مدل‌ها در تمام موارد خطای آزمون کمتر از ۳ درجه سانتی‌گراد را داشتند. همچنین نتایج نشان داد که اقلیم به ویژه در سطوح ابتدایی خاک می‌تواند بر خطای شبیه‌سازی مدل فازی عصبی تأثیرگذار باشد. این مدل‌ها قابلیت استفاده در هر سیستم محاسباتی و تست در هر منطقه مطالعاتی (در صورت صحت سنجی) را دارد.

منابع

1) Aldridge, R., and Cook F.J. 1983. Estimation of soil temperatures at 0.1m and 0.3m depths. New Zealand Soil Bureau Scientific Report, 62: 18.
2) Abraham A. 2005. Adaptation of fuzzy inference system using neural learning. Fuzzy Systems Engineering, 3:53-83.
3) Bilgili M. 2010. Prediction of soil temperature using regression and artificial neural network models. Meteorology and Atmospheric Physics, 110: 59-70.
4) Ebrahimi A. 1994.Study of Temperature at different depths. Master's thesis Meteorology, University of Tehran (in Persian with English abstract)
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 Journal, 134:133-140.
6) Ghadimi F., 2011. Check Meighan palaeo geography and geographical catchment area of Mighan of Arak. Catchment Area Journal, 2:1-13. (In Persian with English abstract)
7) Hanks R.J., Austin D., and Ondrechen W.T. 1971.Soil temperature estimation by numerical method. Soil Science Society of America Journal, 35: 665-667.
8) Hosseinzadeh Talaee P. 2014. Daily soil temperature modeling using neuro-fuzzy approach. Theoretical and Applied Climatology, 118: 481-489.
9) Jang J.S.R., Sun C.T., and Mizutani E. 1997. Neuro-Fuzzy and soft computing, a computational approach to learning and machine intelligence, 335–368.
10) Jafari Golestani M., RainiSarjaz M., and Zyatabar Ahmadi M. 2010. Estimation of depth of soil temperature by using curve method and regression correlation of Sari city. Agricultural Sciences and Natural Resources Journal, 1:112-123. (In Persian)
11) Minhaj M. 1999. Principles of artificial neural networks. Amirkabir University Press.
12) Mihalakakou G. 2002. On estimating soil surface temperature profiles.Energy and Buildings, 34: 251-259.
13) Meikle R.W., and Gilchrist A.J. 1983. A mathematical method for estimation of soil temperatures in England and Scotland. Journal of Agricultural Meteorology, 30(3): 221-225.
14) Maclean J.S.F., and Ayres M.P. 1985. Estimation of soil temperature from climatic ariables at Barrow, Alaska, USA. Arctic and Alpine Research, 17: 425-432.
15) Najafimod M.J., Alizadeh A., Mohammedan A., and Mousavi J. 2007. Investigate the relationship between air temperature and the temperature at different depths of soiland estimate the depth of frost (Case Study of Khorasan Razavi province). Soil and Water Research (Agricultural Science and Technology) Journal, 22:466-456. (in Persian with English abstract)
16) Sommers L.E., Gilmour C.M., Wildung R.E., andBeck S.M. 1981. The effect of water potential on decomposition processes in soils, Water Potential Relations in SoilMicrobiology, 97-117.
17) Sabziparvar A., ZareAbyaneh H., and BayatVarkeshi M. 2009. Comparison of neuro-fuzzy inference network model with regression model to estimate soil temperature at three different climates. Soil and Water (Agricultural Science and Technology), 2:274-285. (in Persian with English abstract)
18) Takagi T., and Sugeno M. 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 15: 1-116.
19) Zheng D., Raymond H.E., and Running S.W. 1993. A daily soil temperature model based on air temperature and precipitation for continental applications. Climate Research, 2: 183-191.