

## برآورد دمای عمق‌های مختلف خاک از دمای هوا با بکارگیری روابط رگرسیونی،

### شبکه عصبی و شبکه عصبی - فازی (مطالعه موردی: منطقه کرمانشاه)

نصرالدین پارسا<sup>1</sup> و صفر معروفی<sup>2\*</sup>

تاریخ دریافت: 89/12/25 تاریخ پذیرش: 90/4/8

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

2- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

\* مسئول مکاتبه E-mail: [smarofi@yahoo.com](mailto:smarofi@yahoo.com)

#### چکیده

به منظور برقراری و بررسی روابط رگرسیونی و ارائه رابطه ساده و منطقی بین درجه حرارت هوا و عمق‌های مختلف خاک و مقایسه با مدل‌های شبکه عصبی و عصبی - فازی در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه مطالعه‌ای بر روی داده‌های جمع آوری شده درجه حرارت هوا و اعماق 5، 10، 20، 30، 50 و 100 سانتی‌متری خاک از ایستگاه مذکور در دوره آماری 1992-2005 انجام پذیرفت. جهت تعیین بهترین معادله بین دمای هوا و هر عمق خاک از فراسنج‌های آماری ضریب همبستگی بین داده‌ها ( $R^2$ )، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده گردید. نتایج نشان داد که در مورد روابط رگرسیونی، بر اساس ضریب همبستگی و پارامترهای خطا روابط خطی درجه سوم، خطی درجه دوم، خطی درجه اول، نمایی و لگاریتمی به ترتیب دارای بهترین برآورد بودند. همچنین نتایج نشان داد که بهترین و بدترین برآورد بین دمای هوا و دمای خاک به ترتیب در عمق 5 سانتی‌متری و عمق 100 سانتی‌متری خاک مشاهده گردید. نتایج حاصل از این مطالعه منجر به ارائه یک معادله درجه دوم و یک معادله خطی (با توجه به ساده بودن نسبت به معادله درجه سوم) به ازای هر عمق خاک گردید. با توجه به ضرایب همبستگی و خطاهای به دست آمده می‌توان گفت این رابطه برای عمق 100 سانتی‌متری خاک دارای دقت پایین، اما برای سایر عمق‌ها مطلوب و دارای دقت بالایی می‌باشد. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مدل ANN دارای دقت بیشتری نسبت به مدل ANFIS در برآورد دمای خاک می‌باشد. دقت مدل رگرسیونی کمتر از این دو روش مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه کرمانشاه، دمای خاک، دمای هوا، رگرسیون، شبکه عصبی، شبکه عصبی - فازی

## Estimation of Soil Temperature from Air Temperature Using Regression Models, Artificial Neural Network and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Case Study: Kermanshah Region)

N Parsafar<sup>1</sup> and S Marofi<sup>2\*</sup>

Received: 16 March 2011 Accepted: 29 June 2011

<sup>1,2</sup>MSc. and Assoc Prof., Dept of Irrig., Univ. of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran

\*Corresponding author E-mail: [smarofi@yahoo.com](mailto:smarofi@yahoo.com)

### Abstract

In order to develop a simple and rational relationship between air temperature and soil temperature at different depths and to compare to Artificial Neural Network (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) a study was conducted during 1992-2005. Air temperatures and soil temperature at depths of 5, 10, 20, 30, 50 and 100 centimeters were measured at Kermanshah station. To determine the optimum functional relationships between parameters the statistical criteria of correlation coefficient, RMSE and MAE were used. Based on correlation coefficient and error parameters, results showed that the regression methods of the third and second degree equations, linear, power and logarithmic had the best estimations, respectively. Also, results showed that the best and worst estimations between air temperature and soil temperature were observed, at 5 and 100 cm soil depths respectively. Results of this study produced a second degree equation and a linear equation (noting their simplicities of application in comparison with the third degree equation) for each soil depth. Based on the correlation coefficients and errors it can be said that obtained this equation is usable for soil depth of 100 cm with poor precision, but in the case of other depths has to high accuracy. The comparisons of regressions, ANN and ANFIS results indicated that ANN estimated more accurately soil temperature.

**Keywords:** ANFIS, ANN, air temperature, soil temperature, regression models, Kermanshah

فیزیکی خاک به صورت مستقیم یا غیر مستقیم وابسته به دماست. دمای خاک در فرآیندهای تبخیر و تعرق، تهویه خاک، جوانه زنی بذر، رشد گیاه، توسعه ریشه‌ها و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک نقش بسزایی دارد (نجفی‌مود و همکاران 1387). همچنین دمای خاک ارتباط تنگاتنگی با عمق نفوذ یخبندان دارد که این امر

مقدمه

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 می‌توان گفت میزان و جهت کلیه فرآیندهای

است تا به دنبال یافتن رابطه‌ای بین دمای خاک و پارامترهای دیگر باشند تا بتوانند دمای خاک را با دقت مطلوب برآورد کنند. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه برآورد دمای خاک صورت گرفته است. هانکس و همکاران (1971) با به کارگیری روش عددی موفق به برآورد دمای خاک به عنوان تابعی از زمان و عمق شدند. در این مطالعه دمای محاسبه شده 1/5 درجه سانتی‌گراد با دمای واقعی اختلاف داشت. سامر و همکاران (1981) نحوه فعالیت گیاه از قبیل آزادسازی دی اکسیدکربن را به شدت متأثر از دمای خاک می‌دانند. گومان و لای (1982) دمای خاک منطقه استوا را با استفاده از تحلیل فوریه مورد ارزیابی قرار داده و نتایج آن را با دمای مشاهده‌ای مقایسه نمودند. نتایج آنها حاکی از دقت بالای آنالیز فوریه در این زمینه می‌باشد. آلدریچ و کوک (1983) با ارائه مدل رگرسیونی چند متغیره، میانگین سالیانه دمای خاک در عمق‌های 10 و 30 سانتی‌متر را محاسبه کردند. مایکل و گیلچریست (1983) با ارائه مدل چند جمله‌ای درجه چهارم موفق به محاسبه کمینه و بیشینه دمای خاک در هر روز از سال در 18 منطقه از انگلستان شدند. ماکلین و آیرس (1985) 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 1، 2، 5 و 10 سانتی‌متر 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. ژنگ و همکاران (1993) با استفاده از دمای هوا و بکارگیری رگرسیون خطی، دمای خاک را در عمق 10 سانتی‌متری در 6 نمونه اقلیمی در آمریکا برآورد نمودند. یوسوایز و الکزاک (1994) یک مدل ریاضی جریان حرارتی در خاک را برای پیش‌بینی دمای خاک ارائه دادند. این مدل شامل معادله و مدل فیزیکی - آماری برای ارزیابی خصوصیات گرمایی به عنوان تابعی از رطوبت و چگالی

در کشاورزی، سازه‌های زه‌کشی و شبکه‌های آبرسانی شهری نقش بسزائی دارد. رشد بهینه گیاه بستگی به دمای مطلوب خاک دارد، به گونه‌ای که اندازه دمای خاک، زمان کاشت بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دمای خاک متأثر از عوامل متعددی از جمله توپوگرافی، تابش خورشید، دمای هوا، توزیع بارش، میزان رطوبت خاک، نوع و ویژگی گرمایی خاک، همانند ظرفیت گرمایی، ضریب رسانایی گرمایی و گرمای ویژه می‌باشد (نجفی‌مود و همکاران 1387).

انتقال حرارت در خاک و دمای خاک در اعماق مختلف که ناشی از این انتقال حرارت می‌باشد به نوع خاک، میزان رطوبت آن، دمای هوا، ساعات آفتابی و جنس سطح خاک بستگی دارد. در نتیجه میزان دمای اعماق مختلف خاک از جایی به جای دیگر تغییر می‌کند. به طور کلی دمای خاک شامل یک نوسان روزانه و یک نوسان سالانه می‌باشد. دمای خاک در طی فصول گرم از سطح به عمق کاهش می‌یابد و در طی فصول سرد از سطح به سمت عمق افزایش پیدا می‌کند. با این حال، عمقی از خاک را که در آن تغییرات دمایی وجود نداشته و یا دامنه‌ی این تغییرات بسیار ناچیز باشد عمق آمیزش<sup>1</sup> می‌نامند (جعفرپور 1377).

اندازه‌گیری دمای خاک در ایستگاه‌های سینوپتیکی با انواع مختلف حس‌گر و یا دماسنج‌های معمولی صورت می‌گیرد. اما اندازه‌گیری دمای خاک با حس‌گر هزینه‌بر بوده و به نیروی انسانی ماهر و پایش مداوم نیاز دارد. برای تعیین تغییرات مکانی دمای خاک در اعماق مختلف، چندین حس‌گر و یا دماسنج مختلف مورد نیاز است. بنابراین، ارائه روش‌های آماری و تجربی که قادر به ارائه نتایج قابل قبول در برآورد دمای خاک باشد، می‌تواند راه حل مناسبی برای برآورد این متغیر در نقاط فاقد اندازه‌گیری باشد (پلوبرگ 2002). اهمیت دمای خاک در علوم کشاورزی و هیدرولوژی از یک سو و وجود مشکلات فراوان در ثبت این پارامتر حیاتی پژوهش‌گران را بر آن داشته

<sup>1</sup> Damping depth

عصبی - فازی در دو ایستگاه زاهدان و تهران (اقلیم خشک) به ترتیب 12 درصد و 4/5 درصد بهتر از رامسر (اقلیم مرطوب) مشاهده گردید.

در تحقیق دیگر سبزی پرور و همکاران (1389 ب) با بررسی دمای خاک در چهار اقلیم گرم و خشک، گرم و نیمه خشک، سرد نیمه خشک و مرطوب نتیجه گرفتند که بیشترین مقادیر دمای خاک به ترتیب مربوط به اقلیم های گرم و خشک و گرم و نیمه خشک و کمترین مقدار به ترتیب مربوط به اقلیم های سرد نیمه خشک و مرطوب می باشند. همچنین میزان تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در اقلیم های مختلف مقادیر کاملاً متفاوتی را نشان دادند. از بین عوامل به کار رفته، در همه اقلیم ها، میانگین دمای هوای روزانه دارای بیشترین همبستگی و بارش روزانه و سرعت باد، کمترین همبستگی را با دمای خاک در اقلیم های مورد مطالعه نشان داد. همچنین بررسی آماره های واسنجی نشان داد که با افزایش عمق، میزان تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در هر چهار اقلیم مورد مطالعه کاهش می یابد. روابط تجربی ارائه شده در اعماق 10 و 5 سانتی متری بیشترین همبستگی و در عمق 100 سانتی متری کمترین همبستگی را با متغیرهای هواشناسی ارائه نمودند.

به اعتقاد نجفی مود و همکاران (1387) به دلیل خطای به وجود آمده در هنگام اندازه گیری دمای اعماق خاک توسط دماسنج های معمولی، عملی ترین روش برای پیش بینی دمای خاک استفاده از داده های هواشناسی بالای سطح خاک می باشد. با توجه به اهمیت داده های دمای خاک در مطالعات خاکشناسی و هواشناسی، و با توجه به اینکه یکی از پارامترهای مهم که در ایستگاه های هواشناسی بطور مداوم اندازه گیری می شود، دمای هوای درون پناهگاه است، در حالی که دمای سطح و ژرفای خاک بصورت پیوسته اندازه گیری نمی شوند. بنابراین، از لحاظ داده های دمای خاک با کمبود آماری روبه رو هستیم. در این تحقیق روابط رگرسیونی مختلف بین درجه حرارت هوا و عمق های مختلف خاک، در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و ارائه

حجمی بود، که از مدل تفاضل های محدود<sup>1</sup> برای حل معادله انتقال حرارت استفاده می نمود. نتایج آنها نشان داد که مقادیر برآورد شده دمای خاک توسط مدل ارائه شده، از دقت قابل قبولی برخوردار می باشد. هیزینک ولد و همکاران (2004) با استفاده از آنالیز هارمونیک و بررسی هدایت گرمایی خاک، دمای خاک را در یک خاک شنی در منطقه ای بیابانی در شمال فلسطین اشغالی برآورد نمودند.

ابراهیمی (1374) با استفاده از روش های آماری به مطالعه دمای خاک در اعماق مختلف در تهران و همدان پرداخت. ادیب عباسی (1385) با استفاده از رگرسیون چند متغیره رابطه بین دمای خاک در بازه ساعتی، روزانه و ماهانه را با دمای جعبه اسکرین و رطوبت خاک تعیین نمود. در پژوهش دیگری ثنائی نژاد و همکاران (1387) با استفاده از تحلیل سری های فوریه و دوره آماری 12 ساله به برآورد دمای خاک روزانه و سالیانه در عمق های مختلف در 6 ایستگاه کردستان اقدام نمودند. در این تحلیل آنها فقط با استفاده از دمای هوا (در ارتفاع 2 متری) و بدون در نظر گرفتن دیگر پارامترهای هواشناسی (تابش، ساعات آفتابی، رطوبت هوا و ابرناکی) روابط همبستگی خود را جهت برآورد دمای خاک پیشنهاد نمودند.

جعفری گلستانی و همکاران (1386) با استفاده از روابط رگرسیونی، معادلات تجربی را جهت تخمین دمای خاک شهر ساری در عمق های 7 و 20 سانتی متری پیشنهاد نمودند. بهیار و کمالی (1386) رابطه دمای هوا و دمای خاک را در اعماق مختلف در منطقه بروجن مورد ارزیابی قرار دادند. سبزی پرور و همکاران (1389 الف) با مطالعه روی داده های هواشناسی 3 ایستگاه سینوپتیک زاهدان، تهران و رامسر که دارای اقلیم متفاوتی می باشند، نتیجه گرفتند که دقت روش استنتاج تطبیقی عصبی - فازی 4 درصد بیشتر از روش آماری رگرسیون بوده است. همچنین دقت پیش بینی دمای خاک با روش استنتاج تطبیقی

<sup>1</sup>Finite differences

یک رابطه ساده و منطقی به ازای هر عمق خاک، مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه و منابع داده‌ها استان کرمانشاه با حدود 24434 کیلومتر مربع مساحت (1/5 درصد از کل مساحت کشور) تعداد 1921759 نفر (2/9 درصد) از جمعیت کشور را در خود جای داده است. این استان در میانه ضلع غربی کشور بین 33 درجه و 36 دقیقه تا 35 درجه و 15 دقیقه عرض شمالی و 45 درجه و 24 دقیقه و 48 درجه و 30 دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. استان کرمانشاه از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان‌های ایلام و لرستان، از شرق به استان همدان و از غرب به کشور عراق محدود می‌شود. شهر کرمانشاه بر روی یک جلگه رسوبی در دامنه کوه سفید و در ارتفاع 1430 متری از سطح دریا بنا گردیده است. از لحاظ آب و هوایی شهر کرمانشاه دارای اقلیم نیمه خشک سرد می‌باشد. میانگین نزولات جوی سالانه شهر کرمانشاه 444/7 میلی‌متر برآورد شده است که حدود 36 درصد از متوسط کشور بیشتر است. ایستگاه هواشناسی سینوپتیکی کرمانشاه در طول جغرافیایی 47 درجه و 9 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 34 درجه و 21 دقیقه شمالی قرار گرفته است. ارتفاع آن 1318/6 متر بالاتر از سطح دریای آزاد می‌باشد.

در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده ماهانه دمای هوا در ارتفاع 2 متری و درجه حرارت روزانه عمق‌های مختلف خاک (5، 10، 20، 30، 50 و 100 سانتی‌متری) در طی ساعات 3، 9 و 15 روز در طول دوره آماری سال 1992 تا 2005 میلادی، در ایستگاه هواشناسی کرمانشاه استفاده گردید. برای تعیین معادله پیش‌بینی دمای خاک در عمق‌های مختلف، ابتدا از داده‌های به دست آمده از سه نوبت اندازه‌گیری درجه حرارت خاک، میانگین‌گیری به عمل آمد و متوسط دمای ماهانه در هر عمق محاسبه گردید.

### مدل‌های رگرسیونی

میانگین‌های درجه حرارت ماهانه هوا مربوط به ایستگاه فوق‌الذکر در مقابل داده‌های مربوط به میانگین درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در نرم افزار Excel (به دلیل در دسترس بودن، سادگی و دقت مناسب آن)، وارد و معادله‌های مربوط به رگرسیون-های مختلف برازش داده شده از میان داده‌های مربوط به هر عمق مشخص از خاک تعیین گردید. معادله‌های رگرسیونی به کار رفته در این تحقیق شامل معادلات خطی (مرتبه‌های اول، دوم و سوم)، لگاریتمی و نمایی بودند. همچنین در این تحقیق با استفاده از نرم-افزار SPSS16 ضریب همبستگی پیرسون (در سطح معنی‌داری مربوطه) بین دمای هوا و دمای عمق‌های مختلف خاک تعیین گردید.

### مدل شبکه عصبی<sup>1</sup> (ANN)

مدل شبکه عصبی با ساختار پیش‌خور چند لایه<sup>2</sup> برای تعیین دمای خاک در عمق‌های مختلف استفاده شد. ساختار مورد استفاده در این تحقیق، شامل یک لایه ورودی، یک لایه پنهانی و یک لایه خروجی است. در این تحقیق از روش آموزش پس-انتشار<sup>3</sup> برای آموزش شبکه استفاده شد و از میان الگوریتم‌های مختلف این روش آموزش، الگوریتم لوبنبرگ مارکواریت<sup>4</sup> انتخاب گردید. تحقیقات نشان داده که برای اکثر کاربردها، این الگوریتم نتایج دقیق و سریعی نسبت به سایر روش‌های آموزش ارائه می‌دهد (هاگان 1994). شایان ذکر است که در این پژوهش از تابع آموزش Trainlm و تابع آموزش وزن‌ها Learnngdm استفاده گردید.

<sup>1</sup> Artificial neural network

<sup>2</sup> Multiple layer feed forward

<sup>3</sup> Back-propagation

<sup>4</sup> Levenberg marquardt

استفاده از مدل‌های ANFIS و ANN از نرم‌افزار MATLAB7 استفاده گردید.

در این تحقیق به منظور ارزیابی معادلات رگرسیونی مذکور در برآورد دمای عمق‌های مختلف خاک و همچنین جهت تعیین بهترین همبستگی و ارائه بهترین معادله رگرسیونی به ازاء هر عمق مورد نظر از معیارهای ضریب تعیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده گردید. روابط مربوط به این آماره‌ها به صورت زیر می‌باشند.

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

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

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad [3]$$

در روابط مذکور  $X_i$  و  $Y_i$  نشان دهنده آمین داده واقعی و برآورد شده،  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  میانگین داده‌های  $X_i$  و  $Y_i$  و  $n$  تعداد نمونه‌ها می‌باشند.

### نتایج

روند تغییرات سالانه دمای هوا (درجه سانتی-گراد) و دمای اعماق مختلف خاک در ایستگاه کرمانشاه در دوره آماری 1992-2005 در شکل 1 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد با کاهش دمای هوا، دمای خاک در اعماق مورد بررسی نیز کاهش یافته است. همچنین بیشترین دما در تمامی سال‌ها در عمق 5 سانتی‌متری مشاهده گردید. دمای هوا در دوره مورد بررسی همواره کمتر از دمای خاک در عمق‌های مختلف مشاهده گردید.

### سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی<sup>1</sup> (ANFIS)

کارآموز و همکاران (2005) سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی را مدلی توانمند، در طراحی نگاشت غیرخطی بین فضای ورودی و خروجی با کاربردی موفق در مدل‌سازی و کنترل سیستم‌های پیچیده می‌دانند. روش آموزش اصلی در این سیستم، روش پس انتشار خطا است که در ترکیب با کمترین مجموع مربعات خطا، روش ترکیبی<sup>2</sup> به دست می‌آید. در مجموع ANFIS، از ساختاری 5 لایه با تعدادی متغییر ورودی استفاده شد که هر ورودی دو یا چند تابع عضویت دارد. ساختار این سیستم با داده‌های ورودی، نوع تابع عضویت ورودی و خروجی، قوانین و تعداد تابع عضویت انتخاب می‌گردد.

در مدل ANFIS توابع عضویت ورودی شامل: پی<sup>3</sup>، مثلثی<sup>4</sup>، دوزنقه‌ای<sup>5</sup>، زنگوله‌ای<sup>6</sup>، گوسی<sup>7</sup>، گوسی ترکیبی<sup>8</sup>، دو سیگموئیدی<sup>9</sup> و حاصل ضرب دو سیگموئید<sup>10</sup> و توابع عضویت خروجی که شامل ثابت<sup>11</sup> و خطی<sup>12</sup> می‌باشند. برای تخمین دمای خاک در عمق‌های خاک توسط ANFIS با تغییر الگوریتم آموزشی، توابع عضویت ورودی و خروجی و تعداد توابع عضویت در نظر گرفته برای داده‌های ورودی، در آرایش‌های مختلف اجرای گردید تا بهترین آرایش معرفی گردد. داده‌ها در شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی-فازی به صورت دو مجموعه، داده‌های آموزش و داده‌های آزمایش آماده شدند (بیات ورکنشی و همکاران، 1388). در این تحقیق به منظور

<sup>1</sup> Adaptive neuro-fuzzy Inference system

<sup>2</sup> Hybrid

<sup>3</sup> Pi-shaped

<sup>4</sup> Triangular

<sup>5</sup> Trapezium

<sup>6</sup> Generalized bell-shaped

<sup>7</sup> Gaussian

<sup>8</sup> Gaussian combination

<sup>9</sup> Two sigmoid

<sup>10</sup> Product of two sigmoidally

<sup>11</sup> Constant

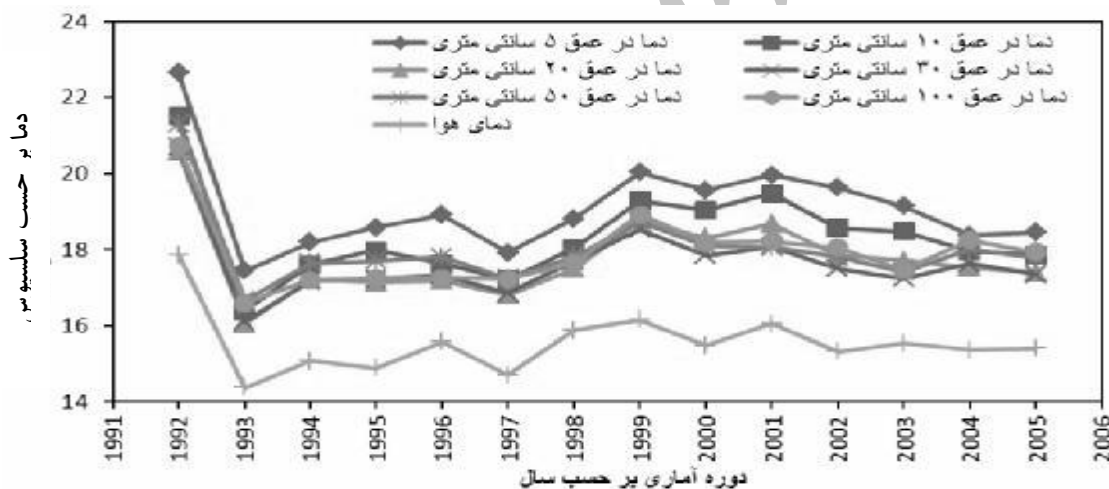
<sup>12</sup> Linear

دلیل تاثیر کمتر پارامترهای هواشناسی بالای سطح خاک با افزایش عمق خاک است.

قبل از انجام محاسبات و تعیین رگرسیون‌های مربوطه، به منظور نشان دادن میزان همبستگی بین دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک، ضریب همبستگی پیرسون در ایستگاه کرمانشاه محاسبه گردید که نتایج مربوطه در جدول 2 ارائه گردیده است. نشان داد که بیشترین همبستگی بین دمای هوا و دما در عمق 5 سانتی‌متری مشاهده گردید که در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. همچنین نتایج نشان داد که در بین عمق‌های 5، 10 و 20 سانتی‌متری اختلاف ناچیزی از نظر این ضریب وجود داشت. و همبستگی معنی‌دار (در سطح یک درصد) و بالایی بین دمای‌های هوا و عمق‌های سطحی خاک مشاهده گردید.

با توجه به داده‌های این شکل تغییرات متوسط دمای سالانه هوا و دمای خاک در عمق‌های مختلف در دوره مورد نظر در این ایستگاه از روند خاصی پیروی نکرده و بیشترین دمای هوا در سال 1992 و کمترین دمای هوا در سال 1993 روی داده است. همچنین در تمامی عمق‌های خاک بیشترین متوسط دمای سالانه خاک در سال 1992 و کمترین در سال 1993 مشاهده گردید، که با توجه به بیشتر و کمتر بودن دمای هوا در این دو سال قابل توجیه می‌باشد.

میانگین و حدود تغییرات دمای هوا و دمای عمق‌های مختلف خاک در جدول 1 ارائه شده‌اند. همانطور که در این جدول مشهود است بیشترین و کمترین تغییرات دما به ترتیب مربوط به عمق‌های 5 و 100 سانتی‌متری است. به طوری‌که با افزایش عمق خاک از دامنه تغییرات کاسته می‌شود. این کاهش به



شکل 1- تغییرات سالانه دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) و دمای عمق‌های مختلف خاک در ایستگاه کرمانشاه (1992-2005)

جدول 1- میانگین و حدود تغییرات دمای‌های هوا و عمق‌های مختلف خاک در ایستگاه کرمانشاه (1992-2005)

دمای خاک (سلسیوس) در عمق‌های مختلف (سانتی‌متر)						دمای هوا (سلسیوس)		پارامتر
100	50	30	20	10	5			
17/83	17/90	17/57	17/68	18/26	19/01	15/47		میانگین
8/27	5/80	4/07	3/07	2/10	1/43	0/40		حداقل
27/50	29/70	31/50	33/57	36/50	37/90	30		حداکثر
6/13	7/78	8/84	9/61	10/71	11/52	8/74		انحراف معیار

جدول 2- ضریب همبستگی پیرسون بین دمای‌های هوا و عمق‌های مختلف خاک در ایستگاه کرمانشاه

عمق خاک (سانتی‌متر)						پارامتر
100	50	30	20	10	5	
0/863	0/962	0/985	0/991	0/993	0/995	ضریب همبستگی پیرسون (r)*

• معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

روابط رگرسیونی  
در جدول‌های 3، 4 و 5 روابط رگرسیونی خطی (مرتبه اول، دوم و سوم) بین دمای هوا و دمای خاک در اعماق مختلف ارائه گردیده‌اند. همان طوری که ملاحظه می‌گردد بیشترین و کمترین ضریب همبستگی خطی بین دمای هوا و دمای خاک به ترتیب مربوط به عمق 5 و 100 سانتی‌متری خاک می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عمق خاک مقدار این ضریب نیز کاهش می‌یابد. بررسی کارایی رگرسیون-

های خطی مورد نظر بر اساس پارامترهای خطا (جزر میانگین مربع خطا و میانگین خطای مطلق) نشان داد که کارایی این معادلات رگرسیونی در اعماق سطحی بهتر بوده است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عمق مقدار این دو پارامتر مذکور نیز افزایش یافته‌اند. به طوری که بیشترین و کمترین مقادیر آنها به ترتیب در عمق‌های 100 و 5 سانتی‌متری مشاهده گردید. این روابط دارای دقت بالایی در برآورد دمای خاک می-باشند.

جدول 3- روابط رگرسیونی خطی بین دمای‌های هوا و عمق‌های مختلف خاک به همراه آماره‌های خطا در ایستگاه کرمانشاه

عمق خاک (سانتی‌متر)	رابطه رگرسیونی	R <sup>2</sup>	MAE	RMSE
5	$y = 1/3111x - 1/274$	98/91	0/97	1/20
10	$y = 1/2177x - 0/575$	98/7	0/97	1/22
20	$y = 1/0897x + 0/821$	98/31	1/03	1/25
30	$y = 0/9966x + 2/149$	97/07	1/27	1/51
50	$y = 0/8567x + 4/652$	92/58	1/82	2/11
100	$y = 0/6054x + 8/469$	74/56	2/74	3/08

y دمای خاک در عمق‌های مختلف و x دمای هوا در ارتفاع 2 متری بر حسب سلسیوس

جدول 4- روابط رگرسیونی درجه دو بین دمای‌های هوا و عمق‌های مختلف خاک به همراه آماره‌های خطا در ایستگاه کرمانشاه

عمق خاک (سانتی‌متر)	رابطه رگرسیونی	R <sup>2</sup>	MAE	RMSE
5	$y = 0/0072x^2 + 1/0845x - 0/048$	99/06	0/87	1/12
10	$y = 0/0055x^2 + 1/046x + 0/354$	98/8	0/92	1/17
20	$y = 0/0025x^2 + 1/0114x + 1/244$	98/33	1/02	1/24
30	$y = 0/0008x^2 + 0/9728x + 2/278$	97/07	1/28	1/51
50	$y = 0/0009x^2 + 0/8287x + 4/803$	92/59	1/82	2/11
100	$y = 0/0014x^2 + 0/5606x + 8/711$	74/58	2/74	3/08

y دمای خاک در عمق‌های مختلف و x دمای هوا در ارتفاع 2 متری بر حسب سلسیوس



جدول 5- روابط رگرسیونی درجه سه بین دمای‌های هوا و عمق‌های مختلف خاک به همراه آماره‌های خطا در ایستگاه کرمانشاه

RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	رابطه رگرسیونی	عمق خاک (سانتی‌متر)
0/97	0/77	99/32	$y = -0/0013x^3 + 0/067x^2 + 0/3153x + 2/292$	5
1/09	0/84	99/05	$y = -0/0012x^3 + 0/0601x^2 + 0/3433x + 2/492$	10
1/24	0/98	98/58	$y = -0/001x^3 + 0/0513x^2 + 0/3838x + 3/154$	20
1/46	1/22	97/34	$y = -0/001x^3 + 0/0456x^2 + 0/3838x + 4/0690$	30
2/10	1/82	92/83	$y = -0/0008x^3 + 0/0396x^2 + 0/3303x + 6/3190$	50
3/09	2/75	74/74	$y = -0/0005x^3 + 0/0262x^2 + 0/0242x + 9/681$	100

y دمای خاک در عمق‌های مختلف و x دمای هوا در ارتفاع 2 متری بر حسب سلسیوس

نتایج نشان داد که با افزایش عمق خاک مقدار ضریب همبستگی (R<sup>2</sup>) کاهش، جذر میانگین مربع خطا و میانگین خطای مطلق افزایش یافته‌اند. که نشان دهنده وابستگی بیشتر بین دمای هوا با دمای خاک در عمق‌های سطحی خاک می‌باشد.

در جدول 6 روابط رگرسیونی نمایی برازش داده بین دمای‌های هوا و خاک به همراه فراسنج‌های آماری در عمق‌های مختلف ارائه گردیده‌اند. همان طوری که ملاحظه می‌گردد بیشترین و کمترین ضریب همبستگی بین دماهای هوا و خاک به ترتیب مربوط به عمق‌های 5 و 100 سانتی‌متری خاک می‌باشند. همچنین

جدول 6- روابط رگرسیونی نمایی بین دمای‌های هوا و اعماق مختلف خاک به همراه آماره‌های خطا در ایستگاه کرمانشاه

RMSE	MAE	R <sup>2</sup>	رابطه رگرسیونی	عمق خاک (سانتی‌متر)
1/80	1/43	96/73	$y = 1/2926x^{0/973}$	5
1/93	1/55	95/27	$y = 1/4917x^{0/909}$	10
1/97	1/65	93/71	$y = 1/9596x^{0/804}$	20
2/16	1/91	90/98	$y = 2/5258x^{0/713}$	30
2/68	2/40	84/12	$y = 3/9316x^{0/562}$	50
3/44	3/09	64/44	$y = 6/6395x^{0/369}$	100

y دمای خاک در عمق‌های مختلف و x دمای هوا در ارتفاع 2 متری بر حسب سلسیوس

مربوط به عمق‌های 20 و 100 سانتی‌متری خاک می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین جذر میانگین مربع خطا و میانگین خطای مطلق به ترتیب مربوط به عمق‌های 50 و 100 سانتی‌متری خاک می‌باشند. این روابط لگاریتمی نسبت به سایر روابط مورد

در جدول 7 روابط رگرسیونی لگاریتمی برازش داده بین دمای هوا و دمای خاک به همراه فراسنج‌های آماری در عمق‌های مختلف ارائه گردیده‌اند. همان طوری که ملاحظه می‌گردد بیشترین و کمترین ضریب همبستگی بین دمای هوا و دمای خاک به ترتیب

## مدل شبکه عصبی (ANN)

در جدول 8 آماره‌های خطا و ضریب تعیین حاصل از اجرای شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای دو مرحله آموزش و آزمایش در برآورد دمای خاک در عمق‌های مختلف ارائه گردیده است. ساختار مورد استفاده در این تحقیق، شامل یک لایه ورودی، یک لایه پنهانی با 10 نرون و یک لایه خروجی است. همچنین در جدول 9 آماره‌های خطا و ضریب تعیین حاصل از شبکه عصبی مصنوعی در برآورد دمای خاک در عمق‌های مختلف برای کلیه داده‌ها ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌گردد این روش در تمامی عمق‌ها از دقت خوبی برخوردار بوده است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عمق، مقدار ضریب تعیین کاهش و خطا افزایش یافته است.

بررسی در این تحقیق از دقت بسیار کمتری برخوردار بودند. بررسی روابط رگرسیونی ارائه شده نشان داد که در همه عمق‌های خاک معادله خطی مرتبه سوم دارای ضریب همبستگی ( $R^2$ ) بالاتر، جذر میانگین مربع خطا و میانگین خطای مطلق کمتری نسبت به سایر معادلات بوده است. همچنین روابط خطی مرتبه‌های اول و دوم و معادله نمایی نیز از دقت بالایی در این تحقیق برخوردار بودند. اما معادله لگاریتمی این دقت را دارا نبود. با توجه به این که در این تحقیق سه معادله خطی مرتبه‌های اول، دوم و سوم دارای برآورد تقریباً یکسانی بودند با توجه به راحتی کار و ساده بودن، معادله مرتبه‌های اول و دوم توصیه می‌گردد. دقت این سه معادله تقریباً یکسان بوده به طوری که در پاره‌ای از اعماق، اختلاف قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

جدول 7- روابط رگرسیونی لگاریتمی بین دمای‌های هوا و عمق‌های مختلف خاک به همراه آماره‌های خطا در ایستگاه کرمانشاه

عمق خاک (سانتی‌متر)	رابطه رگرسیونی	$R^2$	MAE	RMSE
5	$y = 12/969\ln(x) - 13/413$	81/14	4/09	4/99
10	$y = 12/062\ln(x) - 11/894$	81/2	3/75	4/63
20	$y = 10/846\ln(x) - 9/439$	81/67	3/27	4/10
30	$y = 9/9526\ln(x) - 7/315$	81/17	3/05	3/83
50	$y = 8/5563\ln(x) - 3/487$	77/44	2/98	3/69
100	$y = 6/0369\ln(x) - 2/742$	62/16	5/60	6/65

$y$  دمای خاک در عمق‌های مختلف و  $x$  دمای هوا در ارتفاع 2 متری بر حسب سلسیوس

جدول 8- آماره‌های خطا و ضریب تعیین حاصل از اجرای شبکه عصبی مصنوعی برای مرحله‌های آموزش و آزمایش در برآورد دمای خاک

عمق خاک (سانتی‌متر)	مرحله آموزش			مرحله آزمایش		
	$R^2$	MAE	RMSE	$R^2$	MAE	RMSE
5	99/45	0/66	0/84	99/25	0/79	1/07
10	99/18	0/75	0/97	99/04	0/84	1/15
20	98/64	0/88	1/10	98/77	1	1/19
30	97/74	1/01	1/32	98/75	0/93	1/09
50	93/50	1/51	1/97	94/82	1/52	1/92
100	78/29	2/32	2/82	89/37	2	2/24

جدول 9- آماره‌های خطا (سلسیوس) و ضریب تعیین حاصل از شبکه عصبی مصنوعی در برآورد دمای خاک در عمق‌های مختلف

عمق خاک (سانتی‌متر)	RMSE	MAE	R <sup>2</sup>
5	0/89	0/70	99/40
10	1/01	0/76	99/14
20	1/12	0/90	98/65
30	1/27	0/99	97/96
50	1/96	1/51	93/80
100	2/71	1/96	80/45

سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی با ساختار ذکر شده در برآورد دمای خاک در اعماق مختلف ارائه گردیده است. بر اساس نتایج این تحقیق، با افزایش عمق مقادیر ضریب تعیین کاهش و خطا افزایش یافته است.

سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی (ANFIS) در این تحقیق مدل ANFIS با تابع عضویت ورودی پی و تابع عضویت خروجی خطی با روش آموزش ترکیبی با سه تابع عضویت و 1000 تکرار بهترین نتیجه را داد. در جدول 10 نتایج حاصل از این

جدول 10- آماره‌های خطا (سلسیوس) و ضریب تعیین برآورد دمای خاک در اعماق مختلف از

سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی

عمق خاک (سانتی‌متر)	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
5	99/60	0/89	0/72
10	98/95	1/09	0/84
20	98/65	1/11	0/88
30	97/54	1/39	1/06
50	92/39	2/17	1/65
100	72/97	3/28	2/58

و دمای هوا در دوره مورد بررسی همواره کمتر از دمای خاک در عمق‌های مختلف مشاهده گردید. بهیار و کمالی (1386) نشان دادند که میانگین سالانه دمای خاک منطقه بروجن بیشتر از میانگین سالانه دمای هوا بوده است، زیرا انرژی جذب شده توسط خاک بیشتر از هوا

### بحث و نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات متوسط دمای سالانه هوا و دمای خاک در عمق‌های مختلف در دوره مورد نظر در ایستگاه کرمانشاه نشان داد که با کاهش دمای هوا، دمای خاک در عمق‌های مورد بررسی کاهش یافته است

لگاریتمی به ترتیب دارای بیشترین ضریب همبستگی ( $R^2$ )، کمترین مقدار جذر میانگین مربع خطا و میانگین خطای مطلق می‌باشند. ضرایب همبستگی پیشنهادی توسط نجفی‌مود و همکاران (1387) که برای یک دوره یک ساله (1386) در ایستگاه‌های سرد نیمه خشک خراسان رضوی انجام شده است، کمتر از ضرایب همبستگی نتایج تحقیق حاضر است، زیرا بر اساس نتایج نامبردگان میانگین ضریب همبستگی بین میانگین دمای هوا و دمای ژرفای 20 سانتی‌متری خاک 0/82 اعلام کردند. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تغییرات دمای هوا و دما در عمق‌ها مختلف خاک در ایستگاه کرمانشاه از روند منظمی پیروی نکرده و بیشترین دمای هوا و دمای خاک در سال 1992 مشاهده گردید. سبزی‌پرور و همکاران (1389 ب) با بررسی دمای خاک در چهار اقلیم گرم و خشک، گرم و نیمه خشک، سرد نیمه خشک و مرطوب نتیجه گرفتند که میزان تأثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در اقلیم‌های مختلف مقادیر کاملاً متفاوتی را نشان دادند. از بین عوامل به کار رفته، در همه اقلیم‌ها، میانگین دمای هوای روزانه دارای بیشترین همبستگی در اقلیم‌های مورد مطالعه بود. به طور کلی نتایج حاصل از این مطالعه منجر به ارائه یک معادله خطی درجه دوم (با توجه به ساده بودن آن نسبت به معادله درجه سوم) به ازای هر عمق خاک گردید. با توجه به ضرایب همبستگی و خطاهای به دست آمده می‌توان گفت این رابطه برای عمق 100 سانتی‌متری خاک دارای دقت پایین، اما برای سایر عمق‌ها مطلوب و دارای دقت بالایی می‌باشد. همچنین مقایسه بین مدل‌های رگرسیونی، شبکه عصبی و شبکه عصبی- فازی نشان داد که مقادیر برآورد شده به وسیله شبکه عصبی دارای بیشترین دقت و روش رگرسیونی دارای کمترین دقت بود. سبزی‌پرور و همکاران (1389 الف) نتیجه گرفتند که دقت روش استنتاج تطبیقی عصبی- فازی 4 درصد بیشتر از روش آماری رگرسیون است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مدل ANN دارای دقت نسبی بیشتری نسبت به مدل ANFIS در برآورد دمای

بوده، قسمتی از انرژی گرمایی جذب شده به وسیله خاک به عمق‌های پایین‌تر منتقل می‌شود.

همچنین نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین ضریب تبیین بین دماهای هوا و خاک به ترتیب مربوط به عمق‌های 5 و 100 سانتی‌متری خاک می‌باشند که با افزایش عمق خاک مقدار این ضریب ( $R^2$ ) در سه روش به کار گرفته شده کاهش و جذر میانگین مربع خطا و میانگین خطای مطلق افزایش یافته‌اند که نشان دهنده وابستگی بیشتر بین دمای هوا با دمای خاک در اعماق سطحی خاک می‌باشد. به دلیل عایق‌بندی ژرفای خاک توسط لایه‌های بالایی، دمای عمق خاک کمتر متأثر از افت و خیزهای دمای هوا می‌باشد، به بیانی دیگر، پاسخ آنها به تغییر دمای هوا بسیار کند است، در صورتی‌که این پاسخ در سطح خاک از سرعت چشم‌گیری برخوردار است (جعفری گلستانی و همکاران 1386). همچنین دقت روابط در لایه‌های سطحی خاک به واسطه تأثیرپذیری بیشتر دمای خاک از عوامل جوی و تأخیر زمانی کمتر جهت انتقال حرارت از سطح به این لایه‌ها می‌باشد. سبزی‌پرور و همکاران (1389 الف) در مطالعه خود به وجود تأخیر زمانی در انتقال حرارت در خاک اشاره کرده‌اند. نجفی‌مود و همکاران (1387) و سبزی‌پرور و همکاران (1389 الف) نیز کاهش ضریب همبستگی را با افزایش عمق گزارش نمودند.

با توجه به ضرایب همبستگی، جذر میانگین مربع خطا و میانگین خطای مطلق به دست آمده می‌توان گفت این رابطه رگرسیونی تا حدی برای عمق 100 سانتی‌متری خاک غیر قابل قبول، اما برای سایر عمق‌ها مناسب و قابل قبول می‌باشد. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج بدست آمده توسط جعفری گلستانی و همکاران (1386) که در ایستگاه ساری (شرایط مرطوب) به مدت یک سال (1385-1386) برای عمق‌های 7 و 20 سانتی‌متر انجام شده بود در عمق 20 سانتی‌متر تا حدی مطابقت دارد. اگرچه ضریب همبستگی در مطالعه مذکور کمتر از این تحقیق مشاهده گردید.

در این تحقیق در مورد روابط رگرسیونی، معادلات خطی (مرتبه‌های اول، دوم و سوم)، نمایی و

خاک می‌باشد. مطالعه مقدم‌نیا و همکاران (2009) و بازارتسرن و همکاران (2003) به ترتیب در پیش‌بینی میزان تبخیر از تشتک و تغییرات سطح آب رودخانه نیز نشان از برتری نسبی ANN نسبت به ANFIS بود. همچنین بیات ورکشی و همکاران (1388) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند.

#### منابع مورد استفاده

- ابراهیمی، ا.، 1374. مطالعه دمای اعماق مختلف خاک. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- ادیب عباسی م، 1385. بررسی روابط بین رژیم دمایی اعماق خاک با دمای هوا (اسکرین) و تعیین عمق یخبندان در استان کردستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد.
- بیات ورکشی م، زارع ابیانه ح، معروفی ص، سبزی‌پرور ع ا و سلطانی ف، 1388. شبیه‌سازی تبخیر تعرق روزانه گیاه مرجع به روش هوش مصنوعی و روش‌های تجربی در مقایسه با اندازه‌گیری‌های لایسی‌متری در اقلیم نیمه خشک سرد همدان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره 4، صفحه‌های 79-100.
- بهیار م ب و کمالی غ ع، 1386. رابطه دمای هوا با دمای سطح و اعماق مختلف خاک. تحقیقات جغرافیایی، جلد بیست و سوم، شماره 3. صفحه‌های 81 تا 102.
- ثنائی‌نژاد ح، ادیب عباسی م، موسوی بایگی م و حیدری گندمان م ط، 1387. بررسی رژیم دمایی هوا و اعماق خاک و تعیین توابع نوسانات ادواری آنها در ایستگاه‌های استان کردستان. مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک، جلد بیست و دوم. صفحه‌های 25 تا 33.
- جعفرپور ا، 1377. اقلیم شناسی. چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه تهران.
- جعفری گلستانی م، رائینی سرجاز م، و ضیاء تبار احمدی م، 1386. برآورد دمای ژرفای خاک با بهره‌گیری از روش تجزیه منحنی و همبستگی‌های رگرسیونی برای شهرستان ساری. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی (ویژه نامه زراعت و اصلاح نباتات)، جلد یکم، شماره 5. صفحه‌های 112 تا 123.
- سبزی‌پرور ع ا، زارع ابیانه ح و بیات ورکشی م، 1389 الف. مقایسه یافته‌های مدل شبکه استنتاج تطبیقی عصبی-فازی با مدل‌های رگرسیونی به منظور برآورد دمای خاک در سه اقلیم متفاوت. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد بیست و چهارم، شماره 2. صفحه‌های 274 تا 285.
- سبزی‌پرور ع ا، طبری ح و آیینی ع، 1389 ب. برآورد میانگین روزانه دمای خاک در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از داده‌های هواشناسی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره 52، جلد چهاردهم. صفحه‌های 125 تا 137.
- کارآموز م، تابش م نظیف س و مریدی ع، 1384. پیش‌بینی فشار در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و استنتاج فازی. مجله آب و فاضلاب، شماره 53 جلد اول، صفحه‌های 3 تا 14.

نجفی مود م ح، علیزاده ا، محمدیان ا و موسوی ج، 1387. بررسی رابطه دمای هوا و دمای اعماق مختلف خاک و برآورد عمق یخبندان. (مطالعه موردی استان خراسان رضوی) مجله علمی-پژوهشی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد بیست و دوم، شماره 2. صفحه‌های 456 تا 466.

Aldridge R and Cook FJ, 1983. Estimation of soil temperatures at 0.1m and 0.3m depths. New Zealand Soil Bureau Scientific Report 62: 18.

Bazartseren B, Hildebrandt G and Holz K, 2003. Short-term water level prediction using neural networks and neuro-fuzzy approach. *Neurocomputing* 55: 439-450.

Ghuman BS and Lal R, 1982. Temperature regime of a tropical soil in relation to surface condition and air temperature and its Fourier analysis. *Soil Science* 134: 133-140.

Hagan MT and Menhaj MB, 1994. Training feedforward network with the Marquardt algorithm. *IEEE Trans on Neural Networks* 5: 989-993.

Hanks RJ, Austin DD and Ondrechen WT, 1971. Soil temperature estimation by a numerical method. *Soil Science Society of America Journal* 35: 665-667.

Heusinkveld BG, Jacobs AFG, Holtslag AAM and Berkowicz SM, 2004. Surface energy balance closure in an arid region: role of soil heat flux. *Agricultural and Forest Meteorology* 122: 21-31.

Maclean SF and Ayres MP, 1985. Estimation of soil temperature from climatic variables at Barrow, Alaska, USA. *Arctic and Alpine Research* 17: 425-432.

Meikle RW and Gilchrist AJ, 1983. A mathematical method for estimation of soil temperatures in England and Scotland. *Agricultural Meteorology* 30(3): 221-225.

Moghaddamnia A, Ghafari Gousheh M, Piri J, Amin S and Han D, 2009. Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neurofuzzy inference system techniques. *Advances in Water Resources* 32: 89-97.

Plauborg F, 2002. Simple model for 10 cm soil temperature in different soils with short grass. *European Journal of Agronomy* 17: 173-179.

Summers LE, Glimour CM, Wildung RE and Beck SM, 1981. The effect of water potential on decomposition processes in soils, in water potential relation in soil microbiology. Edited by Parr JE, Gardner WR, and Elliot WR. *SSSA September Publications* 9: 97-117.

Usovicz B and Walczak R, 1994. Soil temperature prediction by numerical model. *Polish Journal of Soil Science* 28: 87-94.

Zheng D, Raymond Hunt E and Running SW, 1993. A daily soil temperature model based on air temperature and precipitation for continental applications. *Climate Research* 2: 183-191.