

مقاله پژوهشی

شبیه‌سازی هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از مدل سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیق (مطالعه موردی خاک‌های استان آذربایجان شرقی) زیبا بدری^۱، صمد دربندی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۰۱

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: samaddarbandi@gmail.com

چکیده

مطالعه خصوصیات هیدرولیکی خاک از جمله هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در بررسی‌های جریان در محیط متخلخل ضروری می‌باشد. تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از روش‌های مستقیم با وجود پیشرفت‌های تکنیکی زمان‌بر و دارای خطا می‌باشد. به علاوه، به علت تغییرات زیاد مکانی K_s ، تعیین این پارامتر به ویژه در صورت مطالعه در مقیاس وسیع مانند یک حوضه آبریز، بسیار مشکل می‌باشد. از این رو در پژوهش حاضر مدل سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور تعداد ۶۰ نمونه خاک از مناطق مختلف استان آذربایجان شرقی نمونه‌برداری شده و سپس پارامترهای فیزیکی شامل pH گل اشباع، هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری، درصد شن، درصد رس و درصد سیلت در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. از بین روش‌های صحرایی و آزمایشگاهی روش صحرایی با استفاده از دستگاه نفوذسنج گلف برای به دست آوردن هدایت آبی اشباع خاک در بالای سطح ایستابی در محل استفاده شد. در گام بعدی داده‌های ورودی مدل در نه الگوی مختلف تعریف و ۷۰٪ از داده‌ها برای آموزش و ۳۰٪ مابقی برای تست در نظر گرفته شد. برای ارزیابی عملکرد روش ANFIS، شاخص‌های آماری خطای انحراف از میانگین (MBE)، نش ساتکلیف (NS) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مد نظر قرار گرفت. نتایج نشان داد که الگوی ششم بهترین عملکرد را با آماره‌های MBE و RMSE برابر با ۱/۷۲ و ۲/۴۵ سانتی‌متر در ساعت و NS برابر با ۰/۹۶ دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیکی خاک، درصد کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی، هدایت هیدرولیکی اشباع

Simulation of Soil Hydraulic Conductivity Using Adaptive Fuzzy Neural Inference System Model (Case Study of East Azarbaijan Province Soils)

Z Badri¹, S Darbandi^{2*}

Received: May 20, 2020

Accepted: March 21, 2021

1-MSc, Dept. of Science and Water Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

2-Assist. Prof., Dept. of Science and Water Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

*Corresponding Author Email: samaddarbandi@gmail.com

Abstract

Study of soil hydraulic properties such as saturated hydraulic conductivity in flow studies in porous media is necessary. Determination of saturated hydraulic conductivity using direct methods in spite of technological advances is still time consuming. In addition, due to the high spatial variability of k_s , it is very difficult to determine this parameter especially in the case of large - scale studies such as a basin. Therefore, in the present study, Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System (ANFIS) was used to estimate saturated hydraulic conductivity. For this purpose, 60 soil samples were taken from different parts of east Azerbaijan province and physical parameters including pH, EC, organic carbon content, bulk density, sand, clay and silt percentages were measured. Between field and laboratory methods, a field method was used to determine water saturation of soil at the top of the water table. In the next step, input data to the model were defined in nine different models. Then 70% of the data were considered for model training and 30% for the test data. To evaluate the performance of ANFIS, statistical indices of mean deviation error (MBE), Nash Sutcliffe (NS) and root mean square error (RMSE) were considered. The results showed that the AFIS model with the sixth pattern has the best performance with statistics, MBE and RMSE equal to 2.45, 1.72 cm h^{-1} and NS, equal to 0.96.

Keywords: Electrical conductivity, Organic carbon, Saturated hydraulic conductivity, Soil physical characteristics, Specific gravity

مقدمه

سازی حرکت آب و املاح استفاده می‌کنند، ضروری است (رضایی و همکاران ۲۰۱۲؛ کاراهان و ارشاهین ۲۰۱۶). سایر محققان نیز گزارش نموده‌اند که اندازه‌گیری مستقیم این ویژگی‌ها چه به صورت صحرایی و چه آزمایشگاهی بسیار وقت‌گیر، هزینه‌بر و دشوار است. همچنین به دلیل تغییرات زمانی و مکانی ویژگی‌های خاک، این اندازه‌گیری‌ها نمی‌توانند نماینده واقعی خصوصیات خاک باشند. مگر آنکه تعداد بسیار زیادی نمونه‌برداری انجام شود به همین جهت، روش‌های غیرمستقیم به عنوان راهکاری مناسب برای رفع نسبی

آگاهی از هدایت آبی اشباع^۱ خاک برای درک و مدل سازی بسیاری از فرآیندهای فیزیکی خاک است. ایجاد تمایز بین رواناب سطحی و نفوذ به درون خاک، ماندگاری موقتی آب در محیط ریشه، نرخ انتقال املاح و بسیاری دیگر از فرآیندهای کشاورزی و زیست محیطی وابسته به میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌باشد (زلکه و سی ۲۰۰۵). بیان کمی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در بسیاری از مطالعات مربوط به جریان در محیط‌های متخلخل که از مدل‌های عددی برای شبیه-

1 - Saturated Hydraulic Conductivity (Ks)

این مشکلات ارائه شده اند (رضایی و همکاران ۲۰۱۲؛ کاراهان و ارشاهین ۲۰۱۶). اهمیت و تقاضا برای بدست آوردن داده های هدایت هیدرولیکی اشباع محققان را به سمت توسعه روش های غیرمستقیم برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع سوق داده و از آنجایی که روابط مبهم موجود در سیستم های طبیعی همچون خاک باعث مشاهدات غیردقیق می گردد، در نتیجه استفاده از مدل های هوشمند همانند شبکه های عصبی مصنوعی، برنامه ریزی بیان ژن، ماشین بردار پشتیبان و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی که قابلیت تشخیص ساختار مبهم سیستم و در اختیار نهادن الگوهای مطابق با واقعیت را دارند، ضروری به نظر می رسد (بوی و همکاران ۲۰۱۷؛ فتاحی و همکاران ۲۰۱۳). منطق فازی روشی است که شیوه های مرسوم برای طراحی و مدل سازی یک سیستم را با استفاده از دانش فرد جایگزین می نماید. این امر سبب می گردد که روابط ریاضی پیچیده تا حد امکان ساده سازی شده و مدل سازی کارآمدتر گردد. هدف این نظریه یافتن الگوهای ریاضی است که با استفاده از تفکر، استنتاج انسانی و همچنین با الگوهای طبیعی و واقعی تطابق و سازگاری داشته باشد. اگر چه سیستم های فازی پدیده های غیر قطعی و نامشخص را توصیف می کنند، با این حال تئوری مجموعه فازی یک تئوری دقیق است (مرادی و همکاران ۲۰۱۷؛ حامدی ۲۰۱۵). بنابراین استفاده از سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی می تواند در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بسیار سودمند باشد. در این زمینه مطالعات متعددی صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می شود: ندیری و همکاران (۲۰۱۳) از مدل هوش مصنوعی بیزین جهت برآورد تمرکز فلوراید در آب زیرزمینی دشت ماکو استفاده نمودند. آنها در تحقیقات خود از مدل های فازی، شبکه عصبی و فازی عصبی - تطبیقی^۱ بهره برده و نتیجه گرفتند در بین مدل های ارایه شده نتایج مدل های فازی و شبکه عصبی

نزدیک به یکدیگر بوده و مدل عصبی فازی تطبیقی نتیجه ضعیف تری داشته است. تیفور و همکاران (۲۰۱۴) به منظور تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از روش های شبکه عصبی^۲ (ANN)، سیستم استنتاج فازی^۳ (FIS) و روش استنتاج عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) بهره برده و گزارش نمودند که عملکرد دو مدل ANFIS و FIS نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی از عملکرد بسیار بهتری برخوردار بودند. یائو و همکاران (۲۰۱۵) به تخمین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با کمک شبکه عصبی مصنوعی در زمین های کشاورزی ساحلی و شور جیانگسوی شمالی در کشور چین پرداختند و به عنوان نتیجه گیری مهم، شوری خاک را یکی از تأثیرگذارترین فاکتورها در مقدار این پارامتر برشمردند. سیهگ (۲۰۱۸) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک پرداخت. نتایج حاصل نشان داد که روش شبکه عصبی مصنوعی از توانایی لازم در برآورد K_s برخوردار بوده و معیارهای ارزیابی R و $RMSE$ به ترتیب برابر با 0.866 و 4.560 سانتیمتر بر ساعت به دست آمد. سیهگ و همکاران (۲۰۱۹) از روش ANFIS، ANN و رگرسیون چندگانه برای تخمین هدایت هیدرولیک اشباع خاک بهره برده و از 46 نمونه خاک استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل ANFIS با تابع عضویت گاوسین بهترین عملکرد را در برآورد K_s به خود اختصاص داده است. هدایت هیدرولیکی اشباع یکی از خصوصیات مهم هیدرولیکی خاک است که سهولت عبور آب از درون خاک را بیان می کند (کشکولی و مشعل ۱۹۹۵) و در بسیاری از حوزه های مطالعات خاکشناسی (حفاظت خاک، مطالعات فرسایش خاک، ارزیابی اراضی، عملیات

2 - Artificial Neural Network (ANN)

3 - Fuzzy Inference System (FIS)

1 - Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

است. سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی (ANFIS) از جمله روش‌های نوینی هستند که در زمینه برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در سال‌های اخیر به کار گرفته شده‌اند. بنابراین در مطالعه حاضر از روش ANFIS برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک استفاده شده و تعیین الگوی بهینه ورودی برای مدل مذکور مورد بررسی قرار گرفت.

روش نفوذسنج گلف به دست آوردن هدایت آبی اشباع خاک در بالای سطح ایستابی در محل می‌باشد. در این روش سطح آب در چاهک به مقدار ثابتی رسیده و پس از ایجاد محیط اشباع در خاک جداره چاهک، سرعت نفوذ آب از داخل دستگاه به درون خاک اندازه‌گیری می‌شود.

برخی نمایه‌های آمار توصیفی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. بر پایه ضریب تغییرات مقادیر EC، هدایت هیدرولیکی اشباع، مواد آلی، رس، سیلت و شن در میان خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق زیاد است. ضریب تغییرات زیاد پارامترهای اندازه‌گیری شده بیانگر تنوع زیاد خاک‌ها بوده و بنابراین مدل ارائه شده از تعمیم‌پذیری زیادی برخوردار خواهد بود.

جدول ۱- آمار توصیفی برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک.

CV (%)	انحراف معیار	حداکثر	میانگین	حداقل	بعد	خصوصیات خاک
88.69	3.22	19.10	3.64	0.44	dS m^{-1}	هدایت الکتریکی (EC)
2.19	0.17	8.35	7.96	7.50	--	pH گل اشباع
61.50	0.46	2.80	0.74	0.04	%	ماده آلی (OM)
7.48	0.10	1.49	1.31	1.12	g cm^{-3}	جرم مخصوص ظاهری (ρ_b)
47.93	8.88	48.00	18.53	4.00	%	رس (Clay)
43.80	11.49	50.00	26.23	4.00	%	سیلت (Silt)
33.05	18.25	90.00	55.23	16.00	%	شن (Sand)
73.08	5.56	29.10	7.61	1.10	cm h^{-1}	هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks)

بهبود وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها)، مدیریت منابع آب و مطالعات مدل‌سازی کاربرد دارد. از این رو برآورد دقیق این پارامتر می‌تواند در طرح‌های عمرانی و اجرایی بسیار سودمند باشد. در سال‌های اخیر با توسعه و گسترش روش‌های هوش مصنوعی از یک دهه قبل به این سو، امکان کشف و آشکارسازی بهتر ارتباطات بین متغیرهای مختلف موثر در هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به طور چشم‌گیری افزایش یافته مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش تعداد ۶۰ نمونه خاک از مناطق مختلف استان آذربایجان شرقی نمونه برداری شد. سپس پارامترهای فیزیکی شامل pH گل اشباع، هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری، درصد شن، درصد رس و درصد سیلت در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از میان روش‌های صحرایی و آزمایشگاهی، روش صحرایی به دلیل در نظر گرفتن شرایط طبیعی، انتخاب گردید. بدین منظور از دستگاه نفوذسنج گلف برای تعیین مقدار هدایت آبی اشباع استفاده شد. دلیل انتخاب این روش را می‌توان نیاز کم آن به آب مصرفی و مدت زمان لازم برای آزمایش دانست. همچنین دستگاه، مقدار هدایت آبی اشباع را با دقت مناسب تقریب می‌زند. هدف از انجام آزمایش هدایت آبی با

سامانه استنتاجی فازی- عصبی تطبیقی

سامانه استنتاجی فازی- عصبی تطبیقی ANFIS برای اولین بار توسط ژانگ (۱۹۹۳) معرفی شد. این سامانه ابزاری جهانی جهت تخمین توابع پیوسته حقیقی در دامنه ای محدود می باشد که به ازای هر درجه ای از صحت قابل استفاده است. همچنین سیستم استنتاجی عصبی- فازی تطبیقی از جمله روش هایی است که در تحلیل پدیده های غیرخطی و بررسی رابطه بین ورودی- خروجی در سیستم های چند پارامتری، به کار بسته می شود (قربانی و همکاران ۲۰۱۰). بخش فازی مدل ANFIS رابطه ای بین متغیرهای ورودی و خروجی برقرار نموده که اصطلاحاً تابع عضویت نامیده می شود. اگر فرض کنیم یک سامانه استنتاجی- فازی دو ورودی x و y و یک خروجی z باشد، مدل فازی مرتبه اول سوگنو با دو قانون فازی اگر- آنگاه به صورت زیر بیان می شود:

قانون ۱- اگر x برابر $A1$ و y برابر $B1$ باشد آنگاه:

$$f_1 = p_1x + q_1y + r \quad [1]$$

قانون ۲- اگر x برابر $A2$ و y برابر $B2$ باشد آنگاه:

$$f_2 = p_2x + q_2y + r \quad [2]$$

[۴]

در شکل ۱ مدل فازی مرتبه اول نوع سوگنو با دو ورودی (x و y) یک خروجی f به همراه دو قانون فازی و همچنین مدل ANFIS معادل آن نشان داده شده است. لازم به توضیح است که سامانه استنتاجی فازی- عصبی موجود در جعبه ابزار نرم افزار MATLAB از نوع سوگنو بوده و برای طبقه بندی داده ها از دو روش افزاز شبکه و دسته بندی تفریقی استفاده می کند. مدل ANFIS دربرگیرنده دو مدل شبکه های عصبی و مدل فازی می باشد. بخش فازی رابطه ای بین ورودی و خروجی برقرار نموده و پارامترهای مربوط به توابع

عضویت بخش فازی به وسیله شبکه های عصبی تعیین می شود. در فرایند استنباط فازی، اطلاعات پنج لایه به شرح زیر بایستی تکمیل گردد: لایه اول گره های ورودی: هر گره این لایه یک مجموعه فازی است و خروجی هر گره در این لایه درجه عضویت متغیر ورودی در این مجموعه فازی است. پارامترهای هر گره تعیین کننده شکل تابع عضویت مجموعه فازی آن گره است. تابع عضویت مجموعه های فازی معمولاً توسط توابع زنگوله ای شکل به صورت زیر بیان می شود (کیشی، ۲۰۰۵):

$$O_i^1 = \frac{1}{1 + [(x - c_i) / a_i]^{2b_i}} \quad [3]$$

که در آن x مقدار ورودی به گره i و a_i, b_i, c_i پارامترهای تابع عضویت این مجموعه است. این پارامترها به نام پارامترهای شرط نامیده می شوند.

لایه های دوم و سوم، گره های قاعده: هر گره در این لایه، درجه فعالیت یک قانون را محاسبه می کند.

$$O_i^3 = w_i^n = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2 \quad [4]$$

در این رابطه w_i^n درجه فعالیت نرمال شده قانون i ام است.

لایه چهارم، گره های نتیجه: در این لایه خروجی هر گره برابر است با:

$$O_i^4 = w_i^n f_i = w_i^n (p_i + q_i + r_i), i = 1, 2 \quad [5]$$

در این رابطه r_i, q_i و p_i پارامترهای تطبیقی لایه اند و به نام پارامترهای نتیجه خوانده می شوند.

لایه پنجم، گره های خروجی: در این لایه، هر گره مقدار خروجی نهایی را به صورت زیر محاسبه می کند

سطح احتمال یک درصد و پنج درصد با هدایت هیدرولیکی اشباع خاک دارند. همبستگی خطی منفی و معنی‌داری سطوح احتمال یک و پنج درصد بین هدایت هیدرولیکی اشباع و جرم مخصوص ظاهری بدست آمد. با افزایش تراکم و جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک کاهش می‌یابد که این امر توسط بایبوردی (۲۰۰۶) و علیزاده (۲۰۰۸) مورد تایید قرار گرفته است. همچنین سیلون و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که تراکم خاک به عواملی چون میزان تراکم، نوع خاک، وضعیت رطوبت و سیستم زراعی بستگی دارد. طبق جدول ۲ ماده آلی همبستگی ضعیف مثبت و EC همبستگی ضعیف منفی با هدایت هیدرولیکی اشباع نشان دادند. ماده آلی و EC از عوامل تأثیرگذار در پایداری ساختمان خاک به شمار می‌روند. در مرحله آموزش مدل، انتخاب ورودی‌های اولیه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به طوری که افزایش تعداد ورودی‌ها نه تنها سبب پیچیدگی الگو و افزایش حافظه درگیر خواهد شد، بلکه سبب کاهش دقت و عملکرد مدل‌ها خواهد شد (احمدی ۲۰۲۰). بنابراین در الگوسازی هدایت هیدرولیکی باید سعی نمود مؤثرترین پارامترهای ورودی انتخاب شود. با توجه به جدول ۲، در این مطالعه حالت‌های مختلف توابع ورودی برای مدل ANFIS به منظور تخمین هدایت هیدرولیکی تعریف و در جدول ۳ ارائه شده است.

(تعدادگره‌ها برابر تعداد خروجی‌هاست):

$$o_i^5 = \sum w_i^n f_i = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i}$$

بدین صورت می‌توان یک سیستم فازی که قابلیت یادگیری دارد، پیاده‌سازی نمود. روش آموزش اصلی در این سیستم، روش پس انتشار خطا می‌باشد (کیشی، ۲۰۰۵).

ارزیابی مدل‌های مورد استفاده

به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های به کار گرفته شده از سه معیار، جذر میانگین مربعات خطا^۱، خطای انحراف میانگین (MBE)^۲ و نش-ساتکلیف^۳ به شرح زیر استفاده گردید.

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

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i) \quad [A]$$

$$ES = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{ave})^2} \quad [9]$$

که در این روابط، n : تعداد مشاهدات، O_i : مقدار مشاهده‌ای داده، O_{ave} : میانگین مقادیر مشاهده‌ای داده و P_i : مقدار پیش‌بینی شده برای داده مورد نظر می‌باشد. مدلی که حاوی کمترین مقدار RMSE و MBE یا بیشترین مقدار ضریب نش-ساتکلیف باشد به عنوان مدل مطلوب شناخته می‌شود.

نتایج و بحث

در جدول ۲ ضرایب همبستگی خطی پیرسون برای متغیرهای مورد مطالعه ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که همه متغیرهای مستقل به جز pH، EC و ماده آلی همبستگی خطی معنی‌داری در

1- Root Mean Square Error

2- Mean Bias Error

3- Nash-Sutcliffe

جدول ۲- ماتریس ضرایب همبستگی خصوصیات خاک.

Ks	Silt	Sand	Clay	ρ_b	OM	EC	pH	پارامتر
							1.00	pH
						1.00	-0.11 ^{ns}	EC
					1.00	0.07 ^{ns}	0.18 ^{ns}	OM
				1.00	-0.65 ^{**}	0.11 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	ρ_b
			1.00	-0.80 ^{**}	0.45 ^{**}	0.12 ^{ns}	0.05 ^{ns}	Clay
		1.00	-0.81 ^{**}	0.86 ^{**}	-0.54 ^{**}	-0.04 ^{ns}	0.07 ^{ns}	Sand
	1.00	-0.51 ^{**}	0.52 ^{**}	0.62 ^{**}	0.46 ^{**}	-0.06 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	Silt
1.00	0.31 ^{ns}	0.83 ^{**}	-0.84 ^{**}	-0.83 ^{**}	0.11 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.06 ^{ns}	Ks

** : اختلاف معنی دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد

ns: عدم اختلاف معنی دار

جدول ۳- الگوهای ورودی مختلف برای مدل ANFIS.

ورودی					خروجی				الگو	ردیف	
ρ_b	Sand	---	---	---	---	---	---	---	Ks	M1	1
ρ_b	Clay	---	---	---	---	---	---	---	Ks	M2	2
ρ_b	Silt	---	---	---	---	---	---	---	Ks	M3	3
pH	EC	OM	---	---	---	---	---	---	Ks	M4	4
Clay	Sand	Silt	---	---	---	---	---	---	Ks	M5	5
ρ_b	Clay	Sand	Silt	---	---	---	---	---	Ks	M6	6
pH	EC	OM	ρ_b	Silt	---	---	---	---	Ks	M7	7
pH	EC	OM	ρ_b	Clay	---	---	---	---	Ks	M8	8
pH	EC	OM	ρ_b	Sand	---	---	---	---	Ks	M9	9

بر آورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از

مدل ANFIS

مورد بحث استفاده شد (سیهگ و همکاران ۲۰۱۹). با توجه به کاربرد گسترده توابع عضویت مثلثی و دوزنقه ای در مسائل کاربردی و نتایج حاصل از بررسی ها، در این تحقیق نیز برای فازی سازی متغیرهای ورودی و خروجی از عضویت مثلثی استفاده گردید. پس از معرفی و فازی سازی ورودی ها و تعیین قوانین، مدل های مختلف ANFIS با ورودی های تعیین شده در جدول ۲ اجرا و نتایج حاصل در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. با توجه به این جداول مشاهده می شود که پارامترهای مربوط به بافت و ساختمان خاک نظیر درصد شن، رس، سیلت و جرم مخصوص بیشترین تاثیر را در بهبود عملکرد مدل ANFIS دارند.

سیستم های استنتاج عصبی فازی تطبیقی، مدل های غیر خطی هستند که رابطه ورودی - خروجی یک سیستم واقعی را با استفاده از قوانین اگر- آنگاه فازی "توصیف می کنند. بدین منظور در ابتدا می باید اطلاعات ورودی و خروجی فازی سازی شود. برای فازی سازی شاخص های ورودی و خروجی، در ابتدا دامنه تغییرات آنها (با توجه به اطلاعات موجود) بررسی و برای متغیرهای ورودی و خروجی مدل تعداد سطوح مناسب در نظر گرفته شد. ضمناً برای تعیین توابع عضویت فازی متغیرهای ورودی و خروجی و تعیین درجه همپوشانی توابع فازی، از خصوصیات فیزیکی مسئله

جدول ۴- شاخص های آماری الگوهای مختلف ورودی به مدل ANFIS در مرحله آموزش.

NS	RMSE (cm h ⁻¹)	MBE (cm h ⁻¹)	الگوی ورودی	ردیف
0/72	2/41	1/58	M1	1
0/87	1/58	1/10	M2	2
0/72	2/44	1/52	M3	3
0/30	3/76	2/49	M4	4
0/93	1/15	0/96	M5	5

0/94	1/10	0/87	M6	6
0/81	1/98	1/35	M7	7
0/88	1/50	1/09	M8	8
0/79	2/07	1/58	M9	9

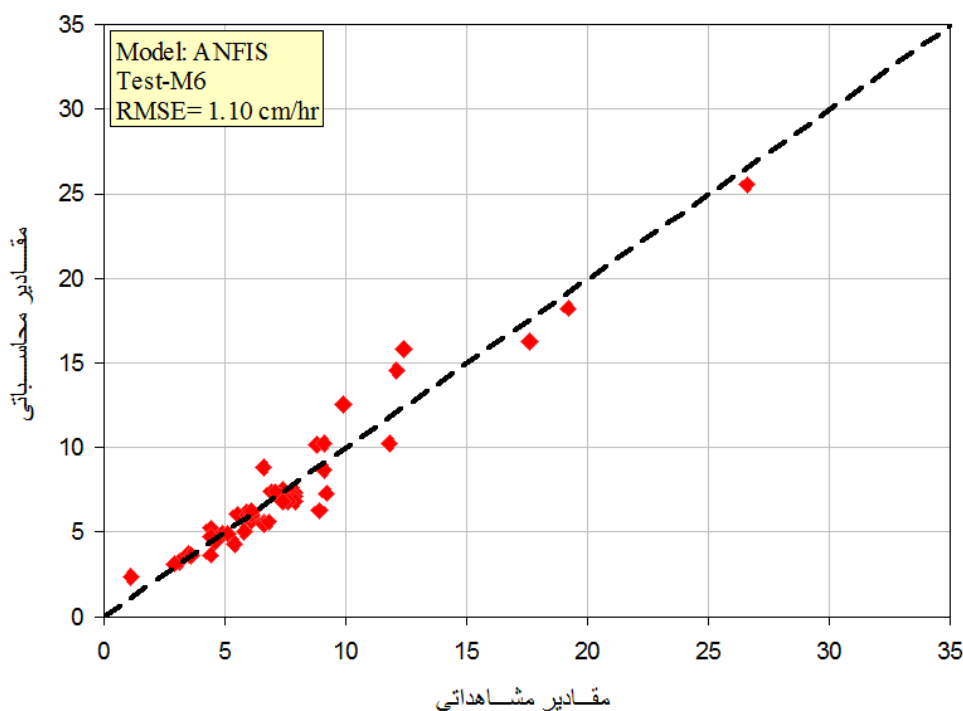
بررسی و مقایسه مقادیر پارامتر RMSE در مرحله آموزش که در جدول ۴ ارائه شده است نشان می‌دهد که اختلاف تک تک مقادیر پیش بینی شده در مدل ANFIS تا حدود زیادی با مقادیر اندازه‌گیری شده متناظر است. مقدار این متغیر آماری برای الگوهای مختلف ورودی بین ۱/۱۰ و ۲/۷۶ سانتی متر در ساعت متغیر می‌باشد. در شکل ۲ نمودار پراکندگی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی حاصل از الگوی M6 معرفی شده به مدل ANFIS در مرحله آموزش ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۵ مشاهده می‌شود که مدل ANFIS با الگوی M6 و پارامترهای مربوط به بافت و ساختمان خاک بهترین عملکرد را به خود اختصاص داده است همچنین اگر مقداری خطای قابل قبول را افزایش دهیم در این صورت مدل M5 نیز با ورودی‌های کمتر می‌تواند برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۳ نمودار پراکندگی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی حاصل از الگو M6 معرفی شده به مدل ANFIS در مرحله آزمون ارائه شده است.

باتوجه به نتایج ارزیابی عملکرد ارائه شده در جدول ۴ می‌توان گفت که براساس شاخص NS در مرحله آموزش دقت بالایی بین مدل‌های ANFIS ارائه شده با مقادیر اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع وجود دارد. بطوری که بیشترین دقت در مرحله آموزش، برای الگوی M6 با پارامترهای درصد رس، درصد شن، درصد سیلت و جرم مخصوص ظاهری و کمترین مقدار آن برای مدل M4 با پارامترهای pH، EC و ماده آلی به دست آمده است. این نتایج نشان می‌دهد که مدل ANFIS بخوبی توانسته هدایت هیدرولیکی اشباع را با متغیرهای ورودی متفاوت محاسبه نماید.

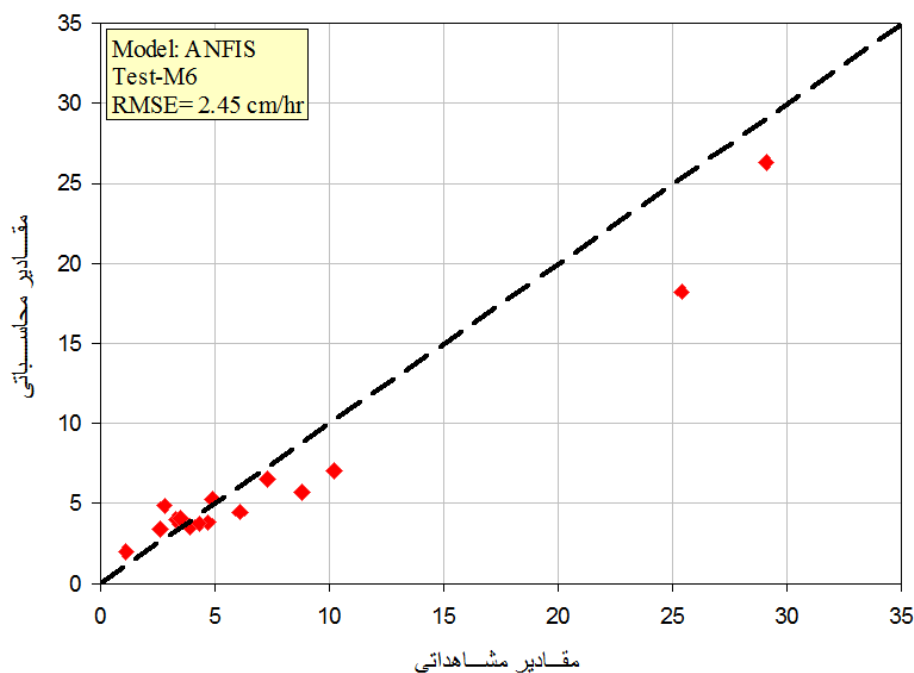
با محاسبه دیگر پارامترهای ارزیابی عملکرد برای مدل ANFIS در مرحله آموزش، شاخص MBE بین ۱/۰۰ تا ۲/۵۰ سانتی متر در ساعت بدست آمد. علاوه براین، با توجه به نتایج حاصل برای MBE، می‌توان اظهار داشت که مقادیر پیش بینی شده توسط مدل‌های فازی با ورودی‌های مختلف از مقادیر اندازه‌گیری شده بیشتر بوده و به بیان دیگر مدل‌ها تا حدودی بیش‌برآورد داشته‌اند اما این بیش‌برآورد باعث ناکارآمدی مدل نمی‌گردد.

جدول ۵- شاخص‌های آماری الگوهای مختلف ورودی به مدل ANFIS در مرحله تست.

NS	RMSE (cm h ⁻¹)	MBE (cm h ⁻¹)	الگوی ورودی	ردیف
0/89	4/70	2/59	M1	1
0/93	3/29	2/14	M2	2
0/92	4/47	2/59	M3	3
0/21	7/24	4/73	M4	4
0/95	2/66	1/86	M5	5
0/96	2/45	1/72	M6	6
0/89	4/43	2/52	M7	7
0/90	3/27	2/47	M8	8
0/91	4/26	2/90	M9	9



شکل ۲- نمودار پراکنندگی حاصل از الگوی M6 با مدل ANFIS در مرحله آموزش.



شکل ۳- نمودار پراکنندگی حاصل از الگوی M6 با مدل ANFIS در مرحله تست.

نتیجه گیری کلی

استفاده از نه الگوی ورودی مختلف توسط مدل سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ۶۰ نمونه خاک تهیه و

تحقیق حاضر به منظور برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، که بیانگر بسیاری از خصوصیات خاک می باشد، توسط پارامترهای زود یافت فیزیکی خاک و با

۰/۹۶، ۱/۱۰ و (cm h^{-1}) ۰/۸۷ و در مرحله تست معادل با ۰/۹۶، (cm h^{-1}) ۲/۴۵ و (cm h^{-1}) ۱/۷۲ محاسبه گردید. چنانچه مقدار خطای قابل قبول اندکی افزایش یابد مدل M5 با ورودی‌های درصد رس، سیلت، شن و مقدار آماره‌های NS، RMSE و MBE برابر با ۰/۹۵، ۲/۶۶ سانتی متر در ساعت، ۱/۸۶ سانتی متر در ساعت در مرحله تست می تواند به عنوان الگوی مناسب در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در نظر گرفته شود.

پارامترهای EC، pH، OM، درصد شن، درصد رس، درصد سیلت، جرم مخصوص ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک اندازه گیری شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که استفاده از پارامترهای بافت و ساختمان خاک به عنوان ورودی، موجب گردید تا مدل ANFIS بالاترین دقت و کمترین خطا را داشته باشد. براین اساس بهترین عملکرد مدل با پارامترهای درصد رس، سیلت، شن و جرم مخصوص ظاهری به دست آمده (الگوی M6) و مقادیر شاخص‌های NS، RMSE و MBE در مرحله آموزش به ترتیب برابر با (cm h^{-1}) ۰/۹۴

منابع مورد استفاده

- Ahmadi F, 2020. Evaluation of support vector machine and adaptive neuro-fuzzy inference system performance in prediction of monthly river flow (case study: Nazlu Chai and Sezar Rivers). *Iranian Journal of Soil and Water Research* 51(3): 673-686. (In Persian with English abstract)
- Alizadeh A, 2008. The relationship between soil and plant water. University of Emam Reza Publications. (In Persian with English abstract)
- Bui MD, Kaveh K and Rutschmann P, 2017. Performance analysis of different model architectures utilized in an adaptive neuro fuzzy inference system for contraction scour prediction. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)* 14(3):18-32.
- Bybord M, 2006. Soil Physics. 6th ed. University of Tehran Publications. (In Persian with English abstract)
- Fattahi H, Shojaee S and Farsangi E, 2013. Application of adaptive neuro-fuzzy inference system for the assessment of damaged zone around underground spaces. *International Journal of Optimization in Civil Engineering* 3(4): 673-693.
- Ghorbani MA, Shiri J and Kazemi H, 2010. Estimation of maximum, mean and minimum airtemperature in Tabriz city using artificial intelligent methods. *Water and Soil Science-University of Tabriz* 20(1):87-104. (In Persian with English abstract)
- Hamedi S, 2015. Estimating saturated hydraulic conductivity using fuzzy set theory. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* 5: 2850-2860.
- Karahan G and Ershahin S, 2016. Predicting saturated hydraulic conductivity using soil morphological properties. *Eurasian Journal of Soil Science* 5(1): 30-38.
- Kashkoli H and Mashal M, 1995. Comparison of field measurement methods of hydraulic guidance at the top of the static surface with guelph permeameter in two different soil types in Khuzestan province. *Journal of Agricultural Science* 18(1): 12-24. (In Persian with English abstract)
- Kisi O, 2005. Daily river flow forecasting using artificial neural networks and auto-regressive models. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 29(1): 9-20.
- Moradi H and Ghahraman B, 2017. Using fuzzy inference systems to estimate saturated hydraulic conductivity. *Water and Soil Journal* 24(2): 274-285. (In Persian with English abstract)
- Nadiri AA, Fijani E, Tsai FTC and Asghari Moghaddam A, 2013. Supervised committee machine with artificial intelligence for prediction of fluoride concentration. *Journal of Hydroinformatics* 15(4): 1474-1490.
- Rezaei M, Tabatabaekolour R, Mousavi Seyedi SR and Aghili Nategh N, 2012. Effects of puddling intensity on the in-situ engineering properties of paddy field soil. *Australian Journal of Agricultural Engineering* 3(1): 22-36.
- Sihag P, 2018. Prediction of unsaturated hydraulic conductivity using fuzzy logic and artificial neural network. *Modeling Earth Systems and Environment* 4(1): 189-198.

- Sihag P, Tiwari NK and Ranjan S, 2019. Prediction of unsaturated hydraulic conductivity using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *ISH Journal of Hydraulic Engineering* 25(2): 132-142.
- Sillon JF, Richard G and Cousin I, 2003. Tillage and traffic effects on soil hydraulic properties and evaporation. *Geoderma* 116(1-2): 29-46.
- Tayfur G, Nadiri AA and Moghaddam AA, 2014. Supervised intelligent committee machine method for hydraulic conductivity estimation. *Water Resources Management* 28(4): 1173-1184.
- Yao RJ, Yang JS, Wu DH, Li FR, Gao P and Wang XP, 2015. Evaluation of pedotransfer functions for estimating saturated hydraulic conductivity in coastal salt-affected mud farmland. *Journal of Soils and Sediments* 15(4): 902-916.
- Zelege TB and Si BC, 2005. Scaling relationships between saturated hydraulic conductivity and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal* 69(6): 1691-1702.