استخراج توابع انتقالی برای برآورد سرعت نفوذ آب به خاک با استفاده از دو روش شبکه عصبی و رگرسیون خطی

روح اله رضایی ارشد[1]، غلامعباس صیاد[2*]، مسعود مظلوم[3]، علیرضا جعفرنژادی[4] و وحید محمدی صفارزاده[5]

(تاریخ دریافت: 89/2/18 تاریخ پذیرش: 89/3/20)

چکیده

اندازه‌گیری مستقیم ویژگی‌های هیدرولیکی خاک وقت گیر و پر هزینه بوده و تا حدی به علت ناهمگن بودن خاک و خطاهای آزمایشگاهی غیرقابل اعتماد است. لیکن، اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای نمی‌تواند نماینده واقعی این ویژگی‌ها باشد، مگر آنکه تعداد بسیار زیادی نمونه‌برداری صورت گیرد. در عوض ویژگی‌های هیدرولیکی خاک می‌تواند از جایگزینی داده‌های زودیافتی مانند بافت‌خاک، چگالی ظاهری و درصد توزیع اندازه ذرات با استفاده از توابع انتقالی خاک (PTFs) بدست آید. شبکه‌های عصبی (ANNs) و رگرسیون آماری از جمله روش‌هایی هستند که برای استخراج توابع انتقالی خاک استفاده می‌شوند. دراین پژوهش از ساختار شبکه عصبی نوع پرسپترون چند لایه با الگوریتم آموزشی مارکوات لورنبرگ و مدل رگرسیونی خطی حذف پس رونده برای استخراج این توابع برای سرعت نفوذ نهایی آب به خاک با استفاده از ویژگی‌های زودیافت خاک همچون چگالی ظاهری، تخلخل مؤثر و بافت خاک استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که رگرسیون خطی با میانگین مربعات خطای 51/9 سانتی‌متر در روز کارایی بهتری نسبت به شبکه عصبی با میانگین مربعات خطای 118 سانتی‌متر در روز دارد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های عصبی مصنوعی، ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، توابع انتقالی خاک (PTFs)، نفوذپذیری خاک

Archive of SID

1- دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران، اهواز
2- استادیارگروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران، اهواز
3- مربی گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران، اهواز
4- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان، اهواز
5- دانشجوی کارشناسی مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران، اهواز
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: gsayyad@scu.ac.ir

www.SID.ir

مقدمه

اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی خاک مانند سرعت نفوذ آب به خاک به دلیل نیاز به صرف هزینه و زمان زیاد اغلب دشواری‌هایی را به دنبال دارد. همچنین به دلیل اینکه ویژگی‌های هیدرولیکی خاک نقش مهمی در تقسیم آب باران به رواناب و ذخیره رطوبتی خاک دارند، استفاده از روش هایی مانند توابع انتقالی خاک که بتواند این خصوصیات را با استفاده از پارامترهای زود یافت خاک مانند بافت‌خاک، کربن آلی، چگالی ظاهری، تخلخل کل و درصد توزیع اندازه ذرات خاک با دقت مناسب تخمین بزنند، لازم به نظر می رسد. توابع انتقالی روشی غیر مستقیم با دقت برآوردی مناسب و با مشخصه صرفه‌جویی در زمان و هزینه برای برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک ارائه شده است. بنابراین توجه و استفاده از توابع انتقالی برای تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک روز به روز در حال افزایش است (رائولز و همکاران (1983) (13)، کاسبی و همکاران (1984) (5)، لیج و همکاران (2002) (7).

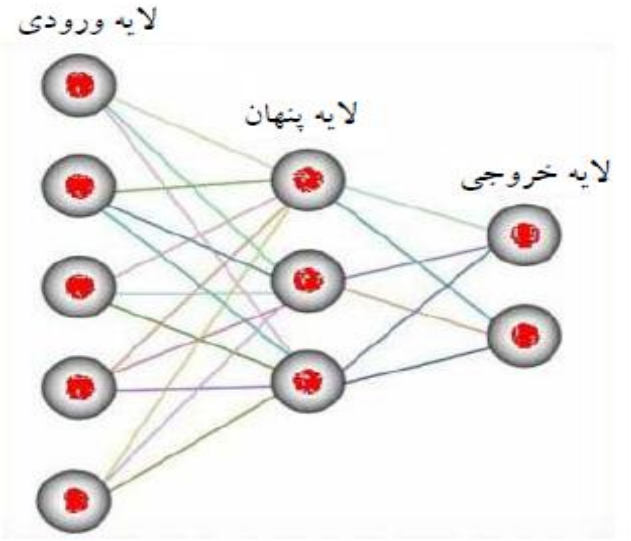
مدل‌های برآوردکننده توابع انتقالی شامل مدل‌های رگرسیونی (رائولز و همکاران 1991) (14) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (مینانسی و همکاران 1999) (8و 9) می‌باشند. در پژوهش‌های که توسط پاچپسکی و همکاران (1996) (11)، اسخاپ و بوتن (1996) (16)، اسخاپ و همکاران (1998) (15) و تاماری و همکاران (1996) (17) صورت گرفت، نتایج نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی در اغلب مـوارد عملـکردی بهتر از روش‌های رگرسیونی دارند. نستور از مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه در پیش‌بینی نفوذپذیری خاک در فیلیپین استفاده کرد. شبکه های مورد استفاده به طور متوسط دارای ضریب تعیین بالایی با میانگین 0/911بودند. آنالیز حساسیت نشان داد که رطوبت خاک و هدایت هیدرولیکی فاکتورهای مؤثر در پیش بینی مدل-های نفوذ با استفاده از شبکه‌های عصبی می‌باشند (10). قربانی دشتکی و همکاران برای بررسی امکان تخمین پارامترهای مدل‌های فیلیپ، کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوییز و هورتون با استفاده از شبکه‌های عصبی نفوذپذیری خاک را در 123 نقطه از استان‌های اردبیل، زنجان، فارس، اصفهان و بوشهر به روش استوانه‌های مضاعف تعیین و پارامترهای مدل را به روش حداقل مربعات خطا تعیین کردند. بهترین رتبه برآوردگری را شبکه‌های طراحی شده برای مدل دو پارامتری فیلیپ داشت. اعتبارسنجی مدل های نفوذ نشان داد شبکه‌های ایجاد شده برای پارامترهای مدل فیلیپ با میانگین RMSD معادل 6/664 سانتی‌متر، دارای بهترین عملکرد در برآورد نفوذ تجمعی آب به خاک بوده و شبکه‌های پی‌ریزی شده برای مدل‌های هورتون، کوستیاکوف-لوییز و کوستیاکوف به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند (1). یکی از مزیت های شبکه‌های عصبی در مقایسه با توابع انتقالی رگرسیونی این است که این شبکه‌ها نیاز به مفاهیم قبلی در مورد ارتباط بین داده های ورودی و خروجی ندارند (3). امروزه شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یک روش هوشمند پردازش داده‌ها، در شاخه‌های متفاوت علوم کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند. شبکه‌های عصبی مشابه با مغز انسان توانایی لازم را در یادگیری داشته و قادر به بکار بردن و استفاده از تجارب بدست آمده در مسائل نو و مشابه می‌باشند (2). مهمترین کاربرد شبکه‌های عصبی پیش‌بینی می‌باشد. در مسائلی که ایجاد ارتباط بین دانسته‌های موجود دشوار است، این شبکه‌ها بسیار موثر هستند.

Archive of SID

www.SID.ir

ساختار شبکه های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) یک ابزار ریاضی قدرتمندی هستند که با تقلید ساده از سیستم عصبی بیولوژیک ساخته شده‌اند. این شبکه‌ها قدرت انعطاف و تصحیح‌پذیری زیادی در انطباق خود با داده‌های موجود دارند. مهمترین موضوع در این مدل‌ها، انتخاب ورودی‌های مناسب به مدل برای رسیدن به خروجی‌های مد نظر می‌باشد (12). علاوه بر آن ساختار شبکه‌های عصبی مصنوعی و چگونگی انتخاب ارتباط بین نرون‌ها و وزنی که هر نرون به خود اختصاص خواهد داد از اهمیت زیادی برخوردار است. روند متداول برای طراحی شبکه عصبی مصنوعی شامل تهیه و آماده سازی بردارهای ورودی و خروجی، گزینش تابع انتقال، گزینش ساختمان و ترکیب شبکه، گزینش وزن‌های تصادفی، گزینش روند یادگیری و تهیه مجموعه آزمون و پیش‌بینی یا مجموعه تأیید از داده‌ها می‌باشد (4). شکل (1) ساختار ساده یک شبکه عصبی ساده را نشان می دهد که در آن لایه-های ورودی، پنهان و خروجی نشان داده شده است.



شکل 1: ساختار یک شبکه عصبی ساده

با توجه به فراوانی آب و خاک در استان خوزستان، پژوهش‌های خاکشناسی متعددی در استان انجام شده است که در این تحقیق از اطلاعات موجود در این پژوهش‌ها برای استخراج توابع انتقالی پیش بینی کننده سرعت نفوذ آب به خاک در زمان سیصد دقیقه با استفاده از پارامترهای زودیافت خاک مانند درصدشن، رس و سیلت و درصد تخلخل استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

دراین تحقیق از داده‌های مربوط به پژوهش‌های خاکشناسی و اصلاح اراضی استان خوزستان، موجود در سازمان آب و برق خوزستان استفاده شد. نفوذپذیری به روش استوانه مضاعف، درصد توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری، چگالی ظاهری و حقیقی، به ترتیب از روش‌های کلوخه و پیکنومتر و تخلخل مؤثر از با استفاده از چگالی ظاهری و حقیقی از رابطه‌ی ($n=1-\rho_b/\rho_s$) محاسبه شد. داده‌ها از 80 نمونه نیمرخ از مناطق مختلف استان

Archive of SID

www.SID.ir

خوزستان جمع آوری شد. در ابتدا داده‌های پرت شناسایی و حذف شده و آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد. سپس توابع انتقالی برای برآورد سرعت نفوذ آب به خاک در زمان سیصد دقیقه با استفاده از پارامترهای زودیافتی مثل توزیع اندازه ذرات، چگالی ظاهری و درصد تخلخل با استفاده از دو روش رگرسیون آماری خطی و شبکه عصبی مصنوعی استخراج شد. برای ایجاد توابع انتقالی خاک با استفاده از شبکه عصبی از نرم افزارهای MATLAB و برای رگرسیون آماری چند متغیره خطی از نرم افزارSPSS استفاده شد.

رگرسیون

به منظور واسنجی روابط رگرسیونی برای گزینش مناسب‌ترین ترکیب از متغیرهای مستقل خاک (نظیر توزیع اندازه ذرات خاک، وزن مخصوص ظاهری و تخلخل مؤثر) جهت برآورد سرعت نفوذ آب به خاک در زمان سیصد دقیقه از مدل رگرسیونی حذف پس‌رونده[1] با استفاده از نرم افزار آماری SPSS استفاده گردید.

طراحی شبکه عصبی

در این تحقیق برای آموزش شبکه MLP از 4 نرون (تعداد ورودی) در لایه ورودی، 1 نرون در لایه خروجی (تعداد خروجی) و تعداد نرون در لایه میانی با سعی و خطا مشخص شد. برای انتخاب تعداد مناسب نرون‌ها در لایه میانی و تعداد تکرار مطلوب و برای ارزیابی یادگیری شبکه‌های عصبی و حصول بهترین نتایج، از شاخص‌های R^2 و MSE استفاده شد.

برای یافتن حالت بهینه شبکه عصبی از توابع آستانه مختلفی از جمله: تابع سیگموئید لگاریتمی، تابع خطی و تانژانت هایپربولیک سیگموئید و همچنین برای بهینه سازی وزن‌های شبکه پرسپترون از الگوریتم آموزشی مارکوات لورنبرگ استفاده شد. پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که شبکه پرسپترون چند لایه با قانون یادگیری پس انشار خطا بیش‌ترین کاربرد را در حل مسائل مهندسی دارد و به عنوان یک تقریب‌گر جهانی از آن یاد می‌شود (6).

برای هر شبکه (ANN)، ابتدا در یک ترکیب پیش فرض و با تکرارهای متفاوت، مقادیر ضریب تعیین (R^2) و خطا (MSE) مورد بررسی قرار گرفت. تعداد تکراری که به ازای آن، مقدار خطا (MSE) داده‌های آزمون کمترین و ضریب تعیین (R^2) بالاترین بود به عنوان تعداد تکرار اولیه انتخاب شد.

معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی نتایج مدل شبکه عصبی و مقایسه آن با برآوردهای رگرسیونی از معیارهای میانگین مربعات خطا (MSE)، و ضریب تعیین(R^2) استفاده شد. معادلات شاخص‌های مذکور بشرح زیر هستند (3):

نتایج و بحث

خلاصه آماری خصوصیات خاک‌های مورد استفاده برای آموزش و آزمون مدل‌ها برای سرعت نفوذ نهایی آب به خاک در جدول (1) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود خاک‌های مورد مطالعه دارای دامنه گسترده‌ای از سرعت نفوذ و توزیع اندازه ذرات هستند. بیشترین ضریب تغییرات متعلق به سرعت نفوذ نهایی آب به خاک بوده که نشان‌دهنده تغییرات بالای این خصوصیت در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد.

نتایج روش رگرسیون

نتایج حاصل از روش رگرسیون چندمتغیره با استفاده از مدل حذف پس رونده در جدول (2)

[1].Backward

Archive of SID

www.SID.ir

نشان داده شده است. این نتایج نشان می دهد که زمانی که از تمامی پارامترهای ورودی (درصدشن، رس، سیلت، تخلخل مؤثر و چگالی ظاهری)، استفاده شد با وجود اینکه بالاترین ضریب تعیین

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)}{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

که در این روابط:

y_i: مقدار اندازه‌گیری شده متغیر، $\hat{y}_i$: مقدار پیش بینی شده متغیر، N: تعداد داده‌ها و $\bar{y}_i$: میانگین مقدار پیش بینی شده متغیر می باشد.

جدول (1): خلاصه آماری داده‌های مورد استفاده در آموزش و آزمون شبکه عصبی و رگرسیون برای سرعت نفوذ نهایی آب به خاک

متغیر	واحد	داده‌های آموزش(N=60)				داده‌های آزمون(N=20)			
		حداکثر	حداقل	میانگین	ضریب تغییرات	حداکثر	حداقل	میانگین	ضریب تغییرات
Ln(n)	%	4/1	3/47	3/78	2/39	4/04	3/61	3/81	2/39
Ln(Sand)	%	4/32	1/39	3/17	3/93	4/06	2/03	3	4
Ln(Silt)	%	4/34	1/10	3/73	3/33	4/15	3/18	3/8	3
Ln(Clay)	%	4/13	2/24	3/25	3/6	4/06	2/77	3/34	3/66
Ln(IR)	Cm day-1	5/02	1/57	3/53	4	5/05	1/28	3/27	4/12

n: تخلخل مؤثر، Sand: درصدشن، Silt: درصدسیلت، Clay: درصدرس، IR: سرعت نفوذ نهایی آب به خاک

بدست می‌آید ولی مقدار خطا زیاد است. ولی زمانی که تنها از درصدرس برای پیش‌بینی سرعت نفوذ استفاده شد، ضریب تعیین و میانگین مربعات خطا اختلاف زیادی با زمانی که از تمامی پارامترها استفاده می‌گردد نداشته است که این نشان از تأثیر قابل توجه درصدرس خاک بر سرعت نفوذ آب به خاک دارد. بدیهی است که در مدل رگرسیونی حذف پس‌رونده ابتدا تمامی متغیرهای مستقل وارد مدل شده و سپس متغیرهایی که کمترین اثر را بر روی متغیر وابسته (خروجی) دارند حذف می‌شوند.

نتایج شبکه عصبی

برای ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی با استفاده از مدل پرسپترون، الگوریتم آموزشی مارکوات لورنبرگ با تابع فعالیت لوگ سیگموئید در لایه پنهان و خطی در لایه خروجی و تعداد 10 نرون در لایه پنهان و تعداد 11 اپوک به عنوان بهترین معماری انتخاب شدند. نتایج حاصل از این مدل در برابر داده‌های اندازه‌گیری شده، ترسیم شده و با برازش بهترین خط عبوری از میان آن‌ها

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (2): نتایج ارزیابی روش رگرسیون برای پیش بینی سرعت نفوذ نهایی آب به خاک

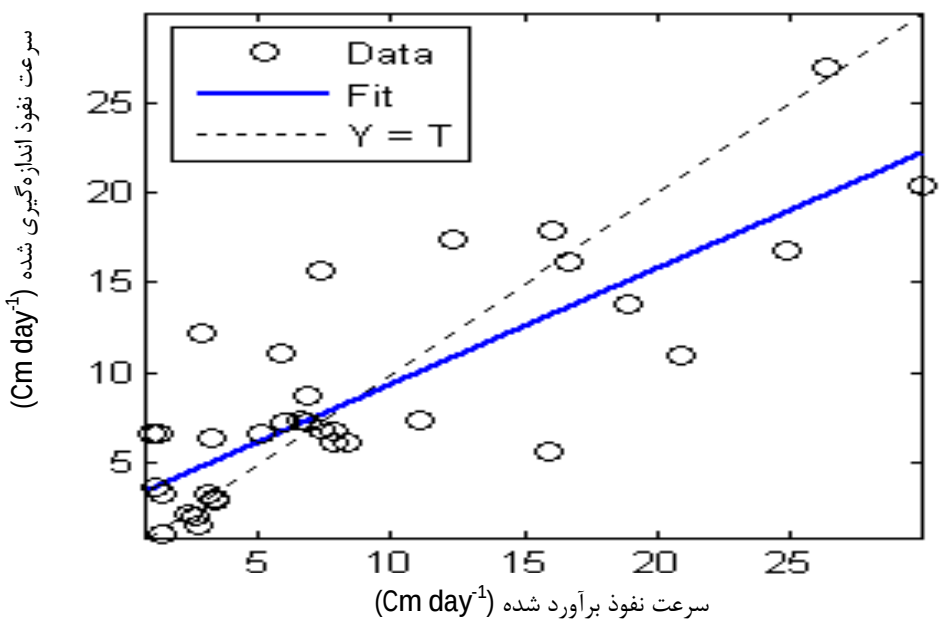
پارامترهای ورودی	سرعت نفوذ (cm/day)	
	R^2	MSE
Sand, Silt, Clay, n	0/217	53/2
Sand, Clay, n	0/217	52/5
Sand, Clay	0/216	51/9
Clay	0/198	52/3

Sand : شن، Silt: سیلت، Clay: رس، n: تخلخل مؤثر

(شکل‌های 2و3)، مقادیر ضریب تعیین و خطا محاسبه و در جدول (3) نشان داده شد. با وجود اینکه ضریب تعیین در شبکه‌های عصبی بیشتر از روش رگرسیون است ولی مقدار خطای این روش بیش از دو برابر روش رگرسیون است که این نشان از برتری رگرسیون خطی در برآورد سرعت نفوذ نهایی آب به خاک دارد.

جدول (3): نتایج شبکه عصبی پرسپترون برای تخمین سرعت نفوذ نهایی آب به خاک

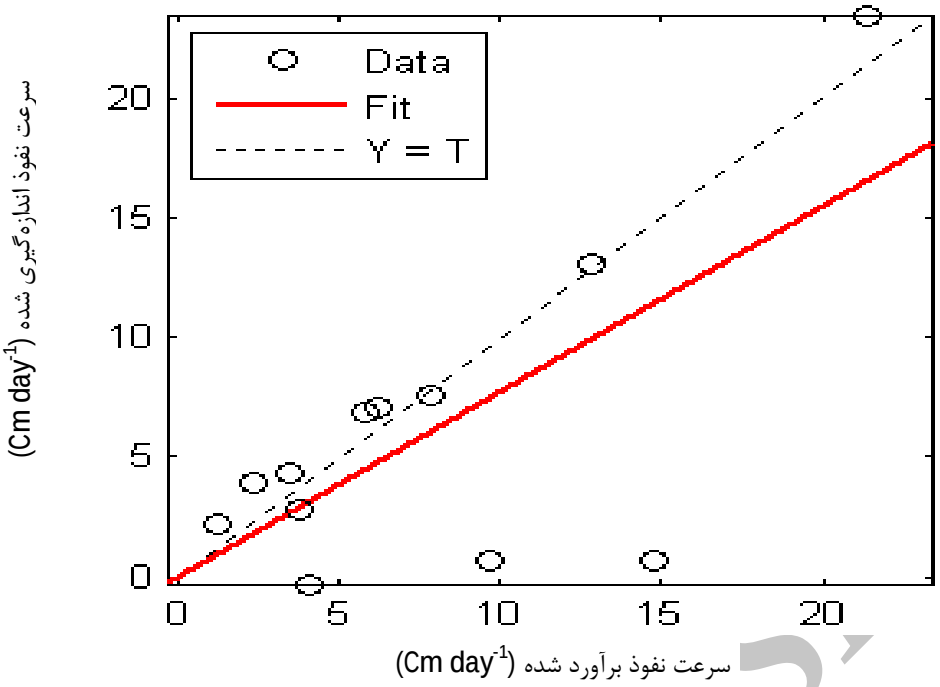
پارامترهای ورودی	مرحله آموزش		مرحله آزمون	
	R^2	MSE(cm/day)	R^2	MSE(cm/day)
Sand, Silt, Clay, n	0/64	24/7	0/36	118



شکل (2): رابطه بین مقادیر سرعت نفوذ نهایی آب به خاک اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط شبکه عصبی با الگوریتم آموزشی مارکوات-لورنبرگ در مرحله آموزش

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (3): رابطه بین مقادیر سرعت نفوذ نهایی آب به خاک اندازه‌گیری شده و براورد شده توسط شبکه عصبی با الگوریتم آموزشی مارکوات – لورنبرگ در مرحله آزمون

نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از دانسته‌های موجود در مطالعات خاکشناسی، سرعت نفوذ نهایی آب به خاک با استفاده از پارامترهای زودیافت (درصد شن، رس، سیلت، تخلخل مؤثر و چگالی ظاهری) با استفاده از دو روش رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که با وجود مقادیر نسبتاً زیاد ضریب تعیین در روش شبکه عصبی ولی مقدار خطا در این روش بسیار بیشتر از روش رگرسیون است پس می‌توان گفت که رگرسیون کارائی بهتری در تخمین سرعت نفوذ نهایی آب به خاک دارد.

منابع

1- قربانی دشتکی، ش.، همایی، م.، مهدیان، م. 1387. برآورد پارامترهای نفوذ آب به خاک با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجله آب و خاک (علوم وصنایع کشاورزی). جلد 23، شماره1، ص 198-185.)

2- نوابیان، م . 1386. مقایسه توابع انتقالی شبکه عصبی و رگرسیونی در تخمین هدایت آبی اشباع، مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران.

3- Agyare, W.A; Park, S.J. 2007. Artificial neural network estimation of saturated hydraulic conductivity. Vadose Zone J. 6: 423–431.

4- Chelani, Asha.B; Chalapati Rao, C.V. Phadke, K.M. and Hasan, M.Z. 2002. Prediction of sulphur dioxide concentration using artificial neural networks. Environmental Modelling & Software. 17: 161–168.

5- Cosby, B.J; Hornberger, G.M; Clapp, R.B; and Ginn, T.R. 1984. A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. Water Resour. Res. 20: 682–690.

Archive of SID

www.SID.ir

6- Hecht, N. R. 1987. Kolmogrove Mapping, Neural network existence theorem. 1st IEEE ICNN, Vol.3. San Diego, CA.
7- Leij, F; Schaap, M.G; and Arya, L.M. 2002. Water retention and storage: Indirect methods. p. 1009–1045. In J.H. Dane and G.C. Topp (ed.) Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods. SSSA Book Ser. No. 5. SSSA, Madison, WI.
8- Minasny, B; Hopman, J; Harter, W. T; Eching, S.O; Toli, A; and Denton, M.A. 2004. Neural networks prediction of soil hydraulic functions for alluvial soils using multistep outflow data. Soil Science. Soc. Am. J. 68: 417–429.
9- Minasny, B; McBratney, A.B; and Bristow, K.L. 1999. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water retention curves. Geoderma 93: 225–253.
10- Nestor S.Y. 2006. Modelling the infiltration process multi-layer perceptron artifical network. Hydrol. Science. J. 51(1):3-20.
11- Pachepsky, Y.A; Timlin, D; and Varallyay, G. 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. Soil Science. Soc. Am. J. 60: 727–733.
12- Parasuraman, K. 2006. Estimating saturated hydraulic conductivity in spatially variable fields using neural network ensembles. Soil Science. Soc. Am. J. 70:1851–1859.
13- Rawls, W.J; Brakensiek, D.L. 1983. A procedure to predict Green and Ampt infiltration parameters. p. 102–112. In Adv. in Infiltration. ASAE, St. Joseph, MI.
14- Rawls, W.J; Gish, T.J; and Brakensiek, D.L. 1991. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. Adv. Soil Science. 9: 213–234.
15- Schaap, M.G. 1998. Using neural networks to predict soil water retention and soil hydraulic conductivity. Soil & Till Research. 47: 37–42
16- Schaap, M.G; Bouten, W; 1996. Modeling water retention curves of sandy soils using neural networks. Water Resour. Res. 32: 3033–3040.
17- Tamari, S; WoÈsten, J.H.M; and Ruiz-SuaÂrez, J.C. 1996. Testing an artificial neural network for predicting soil hydraulic conductivity. Soil Science. Soc. Am. J. 60: 1732–1741.

Archive of SID

www.SID.ir