

مطالعه آزمایشگاهی استخراج توابع انتقالی رگرسیونی و شبکه عصبی GMDH برای برآورد نفوذ در آبیاری سطحی

مریم نوایان^{1*}، امیر شهریاری²، مهدی اسمعیلی ورکی³
تاریخ دریافت: 1394/10/26 تاریخ پذیرش: 1395/9/3

چکیده

نفوذ یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک است که در مطالعات منابع آب و خاک نقش موثری دارد. اندازه‌گیری نفوذ به روش‌های صحرائی وقت‌گیر و هزینه‌بر است از این رو روش‌های غیرمستقیم برآورد آن مانند روش توابع انتقالی مورد توجه است. هدف این پژوهش استخراج توابع انتقالی نفوذ در آبیاری سطحی به روش‌های رگرسیونی و شبکه عصبی GMDH با استفاده از شاخصه‌های شیمیایی آب و خاک است. برای این منظور 17 نمونه خاک از دشت فومنات استان گیلان برداشت شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت و دانه‌بندی خاک، جرم مخصوص حقیقی، جرم مخصوص ظاهری، منحنی رطوبتی، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، مقدار ماده آلی و pH اندازه‌گیری شدند و آزمایش‌های نفوذ به منظور بررسی اثر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب و خاک بر نفوذ شامل سه تیمار ارتفاع 3، 5 و 7 سانتی‌متری آب روی سطح خاک و سه تیمار نسبت جذب سدیم (1/7، 2/5 و 9) در سه تکرار در مدل فیزیکی که برای این منظور ساخته شده بود، انجام شد. نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی GMDH ($R^2=0/82$) نسبت به روش رگرسیونی ($R^2=0/75$) دقت بالاتری در برآورد نفوذ داشت. معادله رگرسیونی نشان داد که نفوذ به پارامترهای هیدرولیکی آبیاری شامل ارتفاع آب روی سطح خاک و سطح تماس آب با خاک بیش‌تر از خصوصیات شیمیایی آب و خاک تاثیر دارد. ساختار بهینه شبکه عصبی GMDH، پارامترهای نسبت جذب سدیم منبع آب، درصد شن و رطوبت خاک در مکش 100 سانتی‌متر را موثرتر از سایر پارامترها تشخیص داد.

واژه‌های کلیدی: استان گیلان، خصوصیات شیمیایی آب، خصوصیات شیمیایی خاک، نفوذ تجمعی

مقدمه

مهم‌ترین مشخصه فیزیکی خاک از نظر کشاورزی نفوذ می‌باشد. بر حسب تعریف وارد شدن آب به داخل خاک را نفوذ گویند. مقدار آبی که در یک دوره زمانی مشخص در خاک نفوذ می‌کند، نفوذ تجمعی و میانگین سرعت وارد شدن آب به داخل خاک طی یک دوره زمانی، متوسط سرعت نفوذ و سرعت نفوذ آب به داخل خاک در یک لحظه معین از زمان را سرعت لحظه‌ای نفوذ می‌گویند. نفوذ یکی از پارامترهای پیچیده‌ی تاثیرگذار بر عملیات آبیاری سطحی است. این پارامتر نه فقط بر جریان آب به داخل خاک و شدت آن، بلکه بر میزان رواناب سطحی نیز تاثیر می‌گذارد. سرعت نفوذ آب به خاک با روش‌های مختلف اندازه‌گیری

می‌شود. هر کدام از این روش‌های اندازه‌گیری با روش خاصی از آبیاری مطابقت داشته و می‌تواند برای طراحی و یا ارزیابی آن روش آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. اندازه‌گیری نفوذ در جویچه را می‌توان به صورت موضعی و یا در تمام طول جویچه انجام داد. روش نفوذسنجی جویچه گردشی، جویچه بسته، جویچه با جریان جانبی، جریانی از جمله روش‌های موضعی اندازه‌گیری نفوذ در آبیاری جویچه‌ای به شمار می‌روند. این روش‌ها نیازمند دستگاه فنی و مهارت زیاد می‌باشد. تحقیقات جینس و هانساگر نشان داد که این روش‌ها به شدت تحت تاثیر تغییرات مکانی نفوذ بوده و باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌ها می‌گردند (Jaynes and Hunsaker, 1989). طیف دیگری از روش‌های تعیین نفوذ مبتنی بر بیان حجمی است که نسبت به روش‌های موضعی ساده‌تر می‌باشند. روش‌های استوانه مضاعف (Haise et al., 1956)، نفوذسنج جویچه مسدود (Bondurant, 1957)، ورودی-خروجی (Walker and Skogerboe, 1987)، دونقطه‌ای (Elliott and Walker, 1982)، سعی و خطا (Valiantzas et al., 2001) و بهینه‌سازی (McClymont and Smith, 1996) با استفاده از بیان حجمی،

1- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
2- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
3- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان
* - نویسنده مسئول: (Email: Navabian@guilan.ac.ir)

همچنین نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی نتایج قابل اطمینان تری برای یک منطقه بزرگ به همراه داشته است.

نوابیان و همکاران (1390) طی مطالعه‌ای روی کلاس‌های بافتی خاک منطقه کرج و اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع، مقایسه‌ای بین توابع انتقالی رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی با سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی در تخمین هدایت آبی اشباع انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد که سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی با ضریب تبیین 0/91 نسبت به رگرسیون چندگانه (ضریب تبیین 0/78) و شبکه عصبی مصنوعی (ضریب تبیین 0/81) با دقت بالاتری قابلیت تخمین هدایت آبی اشباع را داشت.

رگرسیون روشی ساده برای بررسی و تعیین روابط تابعی میان متغیرها است. مراحل تحلیل رگرسیون شامل انتخاب متغیرها، جمع‌آوری داده‌ها، بررسی توزیع نرمال و هم‌راستایی داده‌ها، تشخیص الگو، انتخاب روش برازش و ارزیابی مناسب بودن الگو است (نوابیان، 1390).

روش دسته‌بندی گروهی داده‌های عددی (GMDH)⁽¹⁾ یک فرآیند منظم برای غلبه بر ضعف‌های آماری و شبکه‌های عصبی می‌باشد (Ivakhnenko and Ivakhnenko., 1995). در الگوریتم GMDH اطلاعات مستقیماً از داده‌های ورودی به دست می‌آید به طوری که ساختار مدل شامل متغیرهای موثر ورودی، تعداد لایه‌ها و نرون‌های لایه‌های پنهان و ضرایب بهینه مدل به صورت خودکار براساس حداقل‌سازی یک معیار خارجی (برای نمونه شاخص‌های آماری) در حین کامل شدن ساختار تعیین می‌شوند. به طور کلی الگوریتم GMDH را از دو دیدگاه مبنای ریاضی و تئوری و تحلیل مدل‌سازی سیستم مورد بحث و بررسی قرار می‌دهند. مبنای ریاضی الگوریتم GMDH براساس تجزیه سری توابع ولترا (ولترا یک سری برای شبیه‌سازی یک سیستم غیرخطی حافظه‌دار) به چند جمله‌ای‌های دو متغیره درجه دوم پایه‌ریزی شده است.

$$G(X_i, X_j) = a_0 + a_1x_i + a_2x_j + a_3x_i^2 + a_4x_j^2 + a_5x_ix_j \quad (1)$$

که در این رابطه G تابع تبدیل، x پارامترهای ورودی و a ضرایب مجهول معادله می‌باشند.

مدل‌سازی الگوریتم GMDH براساس دو قاعده کلی انجام می‌شود: الف - استخراج سیستم‌های که شامل (m) متغیر ورودی و یک خروجی می‌باشد (شکل 1). از آنجا که در GMDH سری ولترا، تابع دو متغیره ایجاد می‌نماید، در این مرحله تعداد $C_m^2 = \frac{m(m-1)}{2}$ سیستم جزیی که دارای دو ورودی و یک خروجی است، تشکیل می‌شود.

ب - ترکیب دو سیستم جزیی در قالب یک سیستم واحد و تشکیل

مقدار نفوذ زا برآورد می‌نمایند. در اکثر مراجع از روش استوانه نفوذ به عنوان پایه روش‌های محاسبه نفوذ یاد می‌شود (حق‌نیا، 1374؛ علیزاده، 1378). به دلیل شباهت فرآیند نفوذ در این روش با آبیاری نواری و کرتی شاید مناسب‌ترین روش برای تخمین نفوذ باشد. لیکن به دلیل تفاوت ساختاری این روش با فرآیند نفوذ در آبیاری جویچه‌ای این روش کم‌تر در آن استفاده می‌شود. برآورد نفوذ به روش‌های فوق نیازمند صرف وقت و هزینه زیاد است، بنابراین استفاده از روش‌های غیرمستقیم تخمین نفوذ قابل توصیه است.

توابع انتقالی یکی از روش‌های غیرمستقیم برای برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک است. این روش با استفاده از معادله‌های رگرسیونی (خطی و یا غیرخطی) و یا شبکه عصبی مصنوعی بین پارامترهای دیربافت خاک و پارامترهای زودبافت خاک مانند بافت، جرم مخصوص ظاهری و مقدار ماده آلی که اندازه‌گیری آن‌ها آسان، سریع و کم هزینه است و در پژوهش‌های خاک‌شناسی متداول‌اند، ارتباط برقرار می‌کند.

یکی از ملاحظات مهم در توسعه توابع انتقالی و دقت آن‌ها، تعداد و نوع ورودی‌های مورد استفاده می‌باشد. توزیع اندازه‌های ذرات یکی از ورودی‌های مهم و معمول مورد استفاده در اکثر توابع است (Mazaheri and Mahmoodabadi, 2012; Merdun et al., 2006; Rawls and Brakensiek, 1989; Sy, 2006). جرم مخصوص ظاهری و مواد آلی دو پارامتر ورودی مهم در توسعه توابع انتقالی نگهداشت آب خاک محسوب می‌گردند (Wagner et al., 2001).

ابراهیمی و نایب‌لویی (1388) پژوهشی در زمینه تخمین نفوذپذیری نهایی خاک‌ها با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند. پارامترهای فیزیکی خاک از جمله درصد مواد آلی، جرم مخصوص حقیقی و ظاهری، تخلخل و هم‌چنین پارامترهای شیمیایی خاک مانند اسیدیته و میزان سدیم به عنوان پارامترهای ورودی و در مقابل نفوذپذیری نهایی به عنوان پارامتر خروجی مدل لحاظ شدند. نتایج نشان داد که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با دقت بسیار بالا و قابل قبولی توانایی تخمین و پیش‌بینی مقادیر نفوذپذیری نهایی خاک‌ها را براساس پارامترهای زود یافت خاک داشتند.

اخماج پژوهشی را در کلاس‌های مختلف بافت خاکی کشور لیبی با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی و پارامترهای ورودی درصد ذرات شن، سیلت و رس، جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع و رطوبت حجمی در 10- کیلوپاسکال و پارامتر خروجی سرعت نهایی نفوذ و مقایسه با مدل رگرسیون خطی چندگانه با پارامترهای ورودی درصد جز شن خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع و رطوبت حجمی در 10- کیلوپاسکال و خروجی سرعت نهایی نفوذ انجام داد (Ekhnaj., 2010). نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با اختلاف کمی بهتر از مدل رگرسیون خطی چندگانه بود.

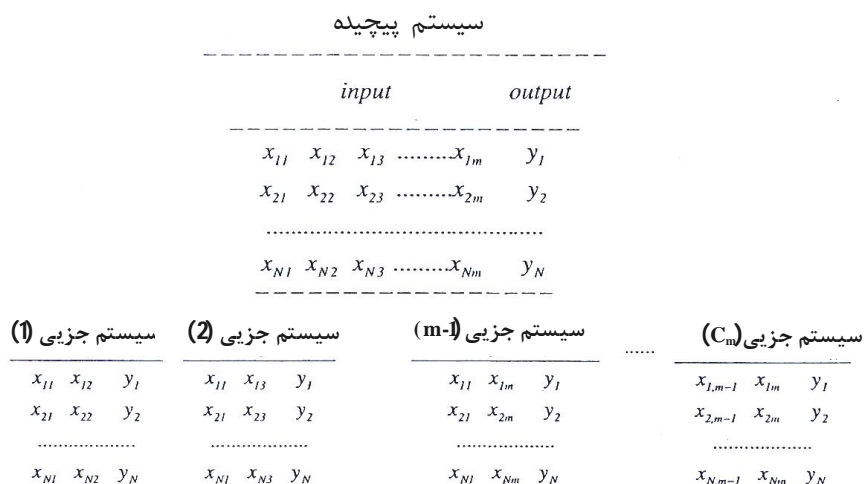
ضرایب مجهول معادله می‌باشند. با ترکیب مدل سیستم‌های جزئی و تکرار این عمل، می‌توان به مدل اصلی سیستم که به فرم رابطه 3 می‌باشد، دست یافت. شکل 2 نمایش دهنده طرح کلی ساختار شبکه عصبی GMDH می‌باشد.

$$\bar{y} = v_0 + \sum_{i=1}^m v_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m v_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m v_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \quad (3)$$

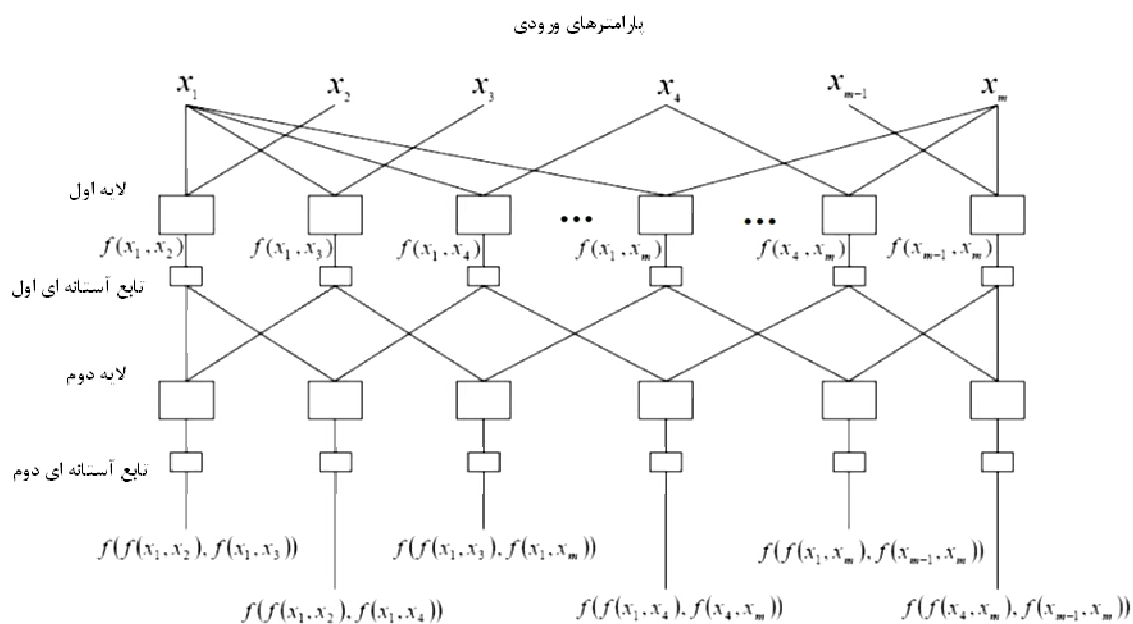
سیستم جزئی جدید دیگری که متغیرهای هر دو سیستم قبلی را در بر می‌گیرد. برای این منظور خروجی و یا مقادیر تخمین‌زده هر دو سیستم جزئی به دست آمده به ازای دو پارامتر ورودی مجدداً باید مدل شوند. بنابراین بعد از آن که سیستم‌های جزئی شکل گرفتند، برای هر یک از این سیستم‌های شکل گرفته تابع f (رابطه 2) که مشابه مدل سیستم جزئی می‌باشد، تشکیل می‌شوند.

$$\hat{f}(x_i, x_j) = v_0 + v_1 x_i + v_2 x_j + v_3 x_i^2 + v_4 x_j^2 + v_5 x_i x_j \quad (2)$$

که در این رابطه \hat{f} تابع تبدیل، x پارامترهای ورودی و v_0



شکل 1- نمایی از چگونگی تجزیه سیستم پیچیده به سیستم‌های جزئی



شکل 2- طرح کلی ساختار شبکه عصبی GMDH برای آموزش [Nariman-Zadeh et al., 2003]

عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چند متغیره (به ترتیب ریشه میانگین مربعات خطای 0/056 و 0/059) رطوبت خاک در مکش 1500 کیلو پاسکال را پیش‌بینی نمود.

با توجه به اهمیت پارامتر نفوذ و محدودیت کاربرد توابع انتقالی موجود در استان گیلان و نیاز به ایجاد توابع انتقالی دقیق‌تر، هدف این پژوهش استخراج توابع انتقالی برآورد نفوذ به روش رگرسیون و شبکه عصبی GMDH و مقایسه دقت برآورد پارامتر نفوذ به دو روش رگرسیونی و شبکه عصبی GMDH در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

به منظور استخراج توابع انتقالی نفوذ بر اساس پارامترهای فیزیکی خاک و شیمیایی آب و خاک، اطلاعات نفوذ بر اساس انجام آزمایش نفوذ در سال 1391 در مقیاس مدل فیزیکی تحت سه تیمار ارتفاع 3، 5 و 7 سانتی‌متری آب روی سطح خاک و سه تیمار نسبت جذب سدیم (1/7، 2/5 و 9) به دست آمد. آزمایش نفوذ بر روی 17 نمونه خاک طراحی شد به طوری که برای هر نمونه‌ی خاک و در هر تیمار نسبت جذب سدیم در سه تیمار ارتفاع آب 3، 5 و 7 سانتی‌متری در سه تکرار انجام گردید. مدل فیزیکی متشکل از مخزن آب، مانومتر برای قرائت سطح آب، مخزن تثبیت سطح آب و استوانه آزمایش از جنس پلی‌اتیلن به قطر 15/23 سانتی‌متر و ارتفاع 35 سانتی‌متر بود. به منظور ثابت نگه‌داشتن ارتفاع آب روی خاک، از شناور استفاده شد.

مبنای انتخاب مناطق نمونه‌برداری بافت غالب خاک استان گیلان بود. برای این منظور از مناطقی که کلاس بافت خاکی آن‌ها در محدوده حداقل 15 درصد رس و حداکثر 30 درصد شن بود، 17 نمونه بین $49^{\circ} 16' 28.32''$ و $49^{\circ} 43' 11.37''$ شرقی و طول $37^{\circ} 5' 17.73''$ و $37^{\circ} 16' 20.56''$ شمالی در دشت فومنات برداشت شد. موقعیت منطقه و محل‌های نمونه‌برداری در شکل 3 نشان داده شده است. مختصات جغرافیایی نقاط مورد نمونه‌برداری از خاک در جدول 1 آمده است.

نمونه‌های خاکی که در معرض هوا خشک شدند پس از عبور از الک دو میلی‌متری مطابق با جرم مخصوص ظاهری خاک در سیلندر آزمایش به صورت لایه به لایه تا ارتفاع 10 سانتی‌متری متراکم شدند (Bowles, 1992; Lambe, 1951). پس از آماده شدن ستون خاک، ارتفاع آب مورد نظر در هر یک از سه تیمار ارتفاع آب بر روی نمونه خاک مستقر شد و سپس مقدار آب نفوذ یافته توسط مانومتر تعبیه شده در مخزن آب در زمان‌های صفر، 5، 10، 15، 20، 30، 40، 50، 60، 75، 90، 105، 120، 150، 180، 210، 240، 300، 360، 420، 480، 540 و 600 دقیقه قرائت شد. خصوصیات شیمیایی تیمار کیفیت آب مطابق با جدول 2 می‌باشد.

شبکه‌های عصبی GMDH جلوه‌ای از الگوریتم GMDH می‌باشند که به فرم و سبک ساختار شبکه‌ای بیان شده‌اند. به طور کلی به کاربردن شبکه‌ها در این الگوریتم باعث ساده‌تر و منطقی شدن و تحلیل مدل‌ها و یا توابع جزئی به روش‌های گوناگون شده که این امر منجر به تنوع در انتخاب مدل بهینه در راستای کاهش میزان خطای مدل و نیز حجم و محتوای تابع ریاضی مدل می‌شود. قادری و همکاران (1389) مطالعه‌ای در زمینه بهره‌برداری سیستماتیک از مخازن آب چندانگانه موجود در دشت تهران شامل سدهای لار، لتیان و کرج با توسعه مدل‌هایی بر اساس GMDH انجام دادند. نتایج نشان داد مدل‌سازی حاصل از GMDH برای بهره‌برداری از مخازن چندانگانه دشت تهران دارای عملکرد بسیار بالایی بود. عطاشروزا و همکاران نشان دادند که شبکه عصبی GMDH در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی توانست مقادیر شدت فعالیت آب را در محلول‌های ethylene glycol و glycol بهتر برآورد نماید (Atashrouza et al., 2015). داغبندان و اکبری‌زاده (1393) در پژوهشی برای برآورد میزان مواد منعقدکننده در تصفیه خانه آب گیلان با استفاده از دو روش شبکه عصبی GMDH و شبکه عصبی - فازی (ANFIS)، گزارش کردند که ANFIS با ضریب تبیین 0/976 و ریشه میانگین مربعات خطای 1/26 در مقایسه با ضریب تبیین 0/961 و ریشه میانگین مربعات خطای 1/64 شبکه عصبی GMDH توانست موفق‌تر عمل نماید.

انگارو و همکاران نشان دادند که روش در هر دو زمینه توابع انتقالی ANN نسبت به GMDH نقطه‌ای و پارامتریک (تخمین پارامترهای معادله (PTF) بروکز و کوری) دارای صحت و مزیت نسبی بیشتری است و با توجه به نتایج اعتبارسنجی، استفاده از GMDH برای مدل‌سازی در خاک‌های مورد مطالعه آن محققین و محیط‌های مشابه توصیه‌پذیر است (Ungaro et al., 2005). توماسلاو و همکاران با استفاده از الگوریتم نقطه‌ای و پارامتریک (برای PTF کارایی توابع GMDH تخمین پارامترهای معادله وان گنوختن) را مقایسه کرد و PTF نشان دادند که مقدار متوسط خطا در تخمین توابع نقطه‌ای کم‌تر بوده است (Tomasella et al., 2003).

دواتگر و همکاران (1394) از شبکه عصبی GMDH برای پیش‌بینی شاخص‌های نگهداری آب در اراضی شالیزاری استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی GMDH (RMSE=0.041) در مقایسه با رگرسیون خطی چند متغیره (RMSE=0.046) و شبکه عصبی مصنوعی (RMSE=0.046) توانست با دقت بیش‌تر رطوبت خاک در مکش 33 کیلو پاسکال را برآورد نماید و به عنوان روش برتر در استخراج تابع انتقالی معرفی شد. همچنین در این پژوهش شبکه عصبی GMDH با ریشه میانگین مربعات خطای کم‌تر به میزان 0/037 در مقایسه شبکه



شکل 3- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری از خاک

جدول 1- مختصات جغرافیایی نقاط نمونه برداری از خاک

شماره نمونه	X (UTM)	Y (UTM)	شماره نمونه	X (UTM)	Y (UTM)
1	356450	4113897	10	352456	4121293
2	357709	4114188	11	357182	4107955
3	381808	4110897	12	372738	4111564
4	383483	4112129	13	370077	4118621
5	352309	4111781	14	352731	4123312
6	380369	4117313	15	356814	4108062
7	366236	4112482	16	354219	4119526
8	367044	4109992	17	354202	4119600
9	364650	4114944			

و هم چنین برای اندازه گیری pH از دستگاه pH سنج استفاده شد. اندازه گیری مقدار کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون صورت گرفت (Page., 1982). مقدار سدیم دستگاه فلیم فتومتری اندازه گیری شد (Pansu and Gautheyrou., 2006). هم چنین مقدار ماده آلی خاک به روش تیتراسیون با تغییر رنگ ارتوفنانترولین صورت گرفت (Bashour and Sayegh., 2007). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک های مورد آزمایش در جدول 3 و 4 آمده است.

تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری انجام گرفت (Dane et al., 2002). برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خشک خاک از روش کلوخه و پارافین کلوته (Klute., 1986) و برای اندازه گیری جرم مخصوص حقیقی خاک از روش پیکنومتر استفاده شد (Dane et al., 2002). رطوبت خاک در مکش های 33، 100، 800- و 1200- کیلو پاسکال به روش صفحه فشاری تعیین شد. برای اندازه گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک از دستگاه EC سنج

جدول 2- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش ها برای سه تیمار نسبت جذب سدیم

تیمار کیفیت آب	نسبت جذب سدیم (meq/lit) ^{0.5}	هدایت الکتریکی (ds/m)	سدیم (meq/lit)	کلسیم (meq/lit)	منیزیم (meq/lit)
1	1/7	1/17	4/07	3/94	6/45
2	2/5	1/52	4/65	3/03	5/06
3	9	2/37	16/05	3/06	3/48

جدول 3- بافت خاک های مناطق نمونه برداری شده

کلاس بافت خاک	شماره نمونه
سیلتی رسی	1-2-5-12-13-16-17
سیلتی رسی لومی	7-8-10-11-14-15
رسی لومی	3-4-9
سیلتی لومی	6

جدول 4-مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک مورد مطالعه

پارامتر	متوسط	حداکثر	حداقل
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	1/570	1/870	1/270
جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی متر مکعب)	2/600	2/760	2/450
تخلخل (درصد)	31/31	48/22	39/80
درصد شن	10/63	29/07	0/980
درصد سیلت	51/54	75/67	40/84
درصد رس	37/82	50/45	16/59
رطوبت اشیاع	61/37	77/66	43/30
رطوبت در پتانسیل ماتریک 33- کیلو پاسکال	40/13	50/66	30/14
رطوبت در پتانسیل ماتریک 100- کیلو پاسکال	37/10	48/40	28/57
رطوبت در پتانسیل ماتریک 800- کیلو پاسکال	22/75	30/91	12/74
رطوبت در پتانسیل ماتریک 1200- کیلو پاسکال	20/40	28/63	11/90
درصد ماده آلی	3/870	7/510	2/020
هدایت الکتریکی عصاره اشیاع (دسی‌زیمنس بر متر)	540/1	1530	134/1
pH	6/300	7/560	4/610
سدیم (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)	0/610	3/540	0/133
کلسیم (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)	3/040	10/50	0/7000
منیزیم (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)	3/940	10/40	1/000

نفوذ تجمعی به‌دست آمده از مدل با مقادیر مشاهده‌ای توسط شاخصه‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، میانگین خطا (ME)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه نرمال میانگین مربعات خطا (nRMSE) ارزیابی شد. جامیسون و همکاران نشان دادند که مقادیر nRMSE کم‌تر از 10 درصد بیان‌کننده کارکرد عالی، در محدوده 10 تا 20 درصد بیان‌کننده کارکرد بسیار خوب و در محدوده 20 تا 30 درصد بیانگر کارکرد متوسط و در بیش‌تر از 30 درصد نیز نشان‌دهنده ضعیف بودن کارکرد مدل است (Jaemison et al., 1991).

$$Y = \ln \left(\frac{Z}{h} \right) \quad (4)$$

$$X_1 = \log \left(\frac{\left(\frac{EC_{iw} / EC_e}{SAR_{iw} / SAR_e} \right)}{1.5} \right) \quad (5)$$

استخراج تابع انتقالی نفوذ به روش رگرسیون خطی چندگانه

به منظور استخراج تابع انتقالی از نرم‌افزار Minitab 16 استفاده شد. پارامترهای ورودی مدل شامل کیفیت منبع آب آبیاری (هدایت الکتریکی بر حسب دسی‌زیمنس بر متر و نسبت جذب سدیم)، خصوصیات شیمیایی و فیزیکی نمونه‌های خاک (هدایت الکتریکی بر حسب دسی‌زیمنس بر متر، نسبت جذب سدیم، درصد ماده آلی و pH عصاره اشیاع خاک، رطوبت در مکش‌های صفر، 33-، 100-، 800- و 1200- کیلو پاسکال، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و درصد اجزا شن، سیلت و رس)، زمان نفوذ تجمعی و ارتفاع آب روی سطح خاک بودند. برای استخراج مدل ابتدا آزمون نرمال بودن و هم‌راستایی داده‌ها انجام شد. به‌منظور نرمال نمودن پارامترهای غیر نرمال روابط **Error! Reference source not found.** تا 7، انتخاب شدند. استخراج معادله رگرسیون با استفاده از 70 درصد داده‌های آزمایش انجام گرفت. پس از استخراج معادله، اعتبارسنجی معادله با 30 درصد داده‌های باقی‌مانده انجام شد و مقادیر

پژوهش در طراحی شبکه عصبی GMDH، از طراحی تکاملی ساختار شبکه عصبی ED توسط الگوریتم ژنتیک برای هم‌گرایی شبکه‌های عصبی استفاده شد. در روش طراحی تکاملی محدودیت ناشی از قرار دادن خطا به‌عنوان معیار تعیین ساختار شبکه برداشته می‌شود و برای تمام نرون‌ها شانس یکسانی برای مشارکت در مدل‌سازی در نظر گرفته می‌شود.

نتایج و بحث

نتایج تابع انتقالی به روش رگرسیون خطی چندگانه

از میان دو پارامتر کیفیت منبع آب و 17 پارامتر فیزیکی و شیمیایی خاک، بر اساس آزمون هم‌راستایی 10 پارامتر EC_{iw} ، p ، h ، EC_e ، SAR_{iw} ، EC_e ، SAR_e ، SAR_{iw} ، t ، $Sand$ ، $Silt$ و $clay$ موثر تشخیص داده شدند. تابع انتقالی رگرسیونی براساس پارامترهای موثر نرمال شده (روابط 5 تا 7) به صورت معادله **Error! Reference source not found.** به دست آمد.

$$Y = 1.22 - 0.266 \times X_1 - 2.58 \times X_2 + 0.0523 \times X_3 \quad (8)$$

نتایج ارزیابی معادله پیشنهادی به ترتیب برای داده‌های واسنجی و اعتبارسنجی در شکل (4 و 5) و جدول 5 آورده شده است.

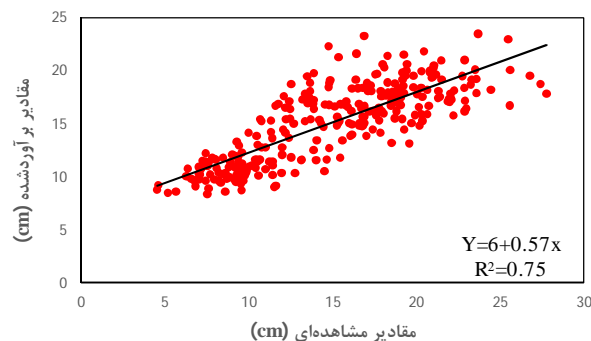
$$X_2 = \frac{h}{p} \quad (6)$$

$$X_3 = \ln \left(\frac{sand}{silt \times clay} \right) \quad (7)$$

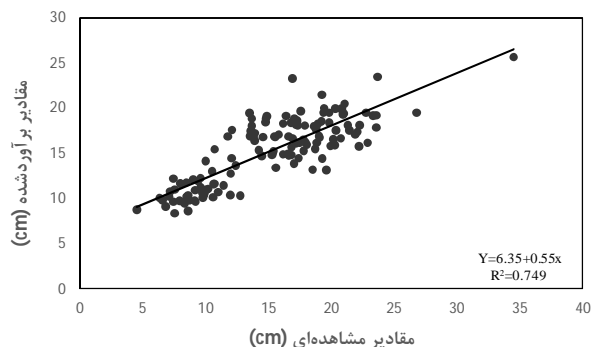
که در این روابط Z ، h ، p ، EC_{iw} ، EC_e ، SAR_{iw} ، SAR_e ، t ، $Sand$ ، $Silt$ و $clay$ به ترتیب نفوذ تجمعی، ارتفاع آب روی خاک، پیرامون خیس شده، هدایت الکتریکی منبع آب، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، نسبت جذب سدیم منبع آب، نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک، زمان نفوذ، درصد شن، درصد سیلت و درصد رس می‌باشند.

استخراج تابع انتقالی نفوذ به روش GMDH

شبکه عصبی GMDH متشکل از تعدادی نرون می‌باشد که نرون‌های هر لایه به صورت غیرخطی با یکدیگر ترکیب شده و نرون‌های جدیدی را تولید می‌نمایند که این نرون‌های جدید لایه بعدی مدل را تشکیل می‌دهند. در این پژوهش، پارامترهای ورودی‌های مدل که نرون‌های لایه اول را تشکیل می‌دهند، مشابه مدل رگرسیونی و خروجی مدل (نرون لایه آخر) مقادیر نفوذ تجمعی بر حسب سانتی‌متر بودند. دستگاه معادله ایجاد شده با استفاده از نرم‌افزار Matlab و کد شبکه عصبی نوع GMDH حل شد. در این



شکل 4- مقایسه مقادیر برآورد شده نفوذ تجمعی معادله رگرسیونی با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های واسنجی



شکل 5- مقایسه مقادیر برآورد شده نفوذ تجمعی معادله رگرسیونی با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های اعتبارسنجی

جدول 5- نتایج آماره‌های معادله پیشنهادی با روش رگرسیون خطی چندگانه برای برآورد نفوذ تجمعی بر اساس داده‌های واسنجی و اعتبارسنجی

داده‌های واسنجی			
nRMSE	RMSE (cm)	ME (cm)	R ²
20/48	3/07	0/11	0/75
داده‌های اعتبارسنجی			
nRMSE	RMSE (cm)	ME (cm)	R ²
19/88	3/01	0/10	0/75

هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، 4: pH عصاره اشباع خاک، 5: نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک، 7: نسبت جذب سدیم منبع آب، 9: جرم مخصوص ظاهری، 10: درصد شن، 11: درصد رس، 12: رطوبت در مکش صفر کیلو پاسکال (θ_s)، 14: رطوبت در مکش 100- کیلو پاسکال (θ_{-100})، 15: رطوبت در مکش 800- کیلو پاسکال (θ_{-800}) و 17: کربن آلی خاک به دست آمد. مطابق با نتایج (شکل 6)، شبکه عصبی GMDH این پژوهش، پارامترهای SAR_{iw}، درصد شن و رطوبت در مکش 100- کیلو پاسکال را موثرتر از 13 پارامتر دیگر تشخیص داد. مقایسه پارامترهای موثر در دو روش رگرسیون خطی و شبکه عصبی GMDH نشان داد که در نمونه خاک‌های مورد مطالعه، در هر دو روش، پارامترهای جرم مخصوص حقیقی، تخلخل، رطوبت در مکش 33- کیلو پاسکال و رطوبت در مکش 1200- کیلو پاسکال بر مقدار نفوذ تجمعی موثر نبودند که علت این مسئله می‌تواند تفاوت کم مقادیر این پارامترها در نمونه‌های مختلف خاک باشد. به‌منظور برآورد نفوذ تجمعی (تابع ولترا مربوط به نرون 15: y_{15})، روابط y_1 تا y_{14} باید مورد محاسبه قرار گیرند. ضرایب روابط y_1 تا y_{14} مقدار نفوذ تجمعی را بر اساس 13 پارامتر ذکر شده برآورد می‌نماید.

نتایج شاخصه‌های آماری به‌دست آمده برای معادله پیشنهادی: به روش GMDH نشان داد که مدل دارای دقت مناسب می‌باشد. هم-چنین مقدار nRMSE در محدوده عملکرد بسیار خوب مدل قرار گرفت. مقایسه شاخصه‌های آماری دو روش رگرسیونی و شبکه عصبی GMDH نشان داد که روش GMDH با مقادیر R² بالاتر و nRMSE و RMSE پایین‌تر دقت تخمینی مناسب‌تری دارد. استفاده از ساختار غیرخطی در شبکه عصبی GMDH یکی از دلایل مهم در افزایش قابلیت شبیه‌سازی فرآیندهای پیچیده مانند نفوذ است.

شاخص آماری nRMSE برای تابع انتقالی به روش رگرسیون خطی چندگانه، نشان می‌دهد که این روش استخراج معادله با دقت خوبی در برآورد مقادیر نفوذ تجمعی عمل کرده است. با توجه به معادله **Error! Reference source not found.** کم‌ترین تاثیر در مقدار خروجی این مدل را ضریب X_3 داشت که با توجه به این که مقادیر عددی برای این متغیر منفی می‌باشند، با افزایش مقدار شن، از میزان منفی بودن این پارامتر کاسته شده و در نتیجه مقدار نفوذ تجمعی افزایش می‌یابد. همچنین متغیر X_2 بیش‌ترین تاثیر را بر مقدار نفوذ تجمعی داشت به طوری که با افزایش مقدار ارتفاع آب آبیاری حاصل تقسیم ارتفاع آب بر پیرامون خیس شده (h/P) کم‌تر شده و در نتیجه مقدار نفوذ تجمعی با توجه به علامت منفی این متغیر در معادله رگرسیونی، کم‌تر کاهش می‌یابد.

به عبارت دیگر با افزایش آب روی سطح خاک مقدار نفوذ تجمعی افزایش می‌یابد که در معادله این مفهوم به خوبی لحاظ شده است. همچنین با افزایش صورت کسر متغیر X_1 یعنی وضعیت شوری آب و خاک به نسبت جذب سدیم آب و خاک، متغیر X_1 منفی‌تر به دست می‌آید که در کنار علامت منفی این متغیر در معادله رگرسیونی منجر به افزایش نفوذ تجمعی می‌شود. به بیان دیگر معادله به خوبی اثر مثبت افزایش شوری و کاهش نسبت جذب سدیم بر نفوذ را شبیه‌سازی می‌نماید. همچنین در متغیر X_1 اگر چه زمان در مخرج کسر آمده است اما به دلیل وجود تابع تبدیل Ln، با افزایش زمان اثر مثبت آن بر افزایش نفوذ تجمعی لحاظ می‌شود.

نتایج تابع انتقالی پیشنهادی با روش GMDH

تابع انتقالی معادله به‌دست آمده از روش GMDH طبق ساختار پیشنهادی این روش (شکل 7) و روابط ارا به شده در جدول 7 به‌دست آمد. مناسب‌ترین ساختار شبکه GMDH به ازای سه لایه پنهان و 13 پارامتر ورودی شامل 1: ارتفاع آب روی سطح خاک، 2: زمان نفوذ، 3:

جدول 6- نتایج آماره‌های معادله پیشنهادی با GMDH برای برآورد نفوذ تجمعی بر اساس داده‌های اعتبارسنجی

داده‌های اعتبارسنجی			
nRMSE	RMSE (cm)	ME (cm)	R ²
17/31	2/69	-0/06	0/82

GMDH نسبت به شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی-فازی و رگرسیون خطی چند متغیره در برآورد برخی پارامترهای مرتبط با آب و خاک نیز توسط برخی محققین تایید شده است (دواتگر و همکاران، 1394; Abdolrahimi et al., 2014; Atashrouza, et al., 2015).

مقایسه مقادیر برآورد شده نفوذ تجمعی به روش GMDH با مقادیر مشاهده‌ای در شکل 7 آورده شده است. این در حالی است که در روش رگرسیون خطی، فرم ارتباط میان پارامترهای ورودی مشخص و از نوع خطی است. توانایی بالای شبکه

جدول 7- روابط سری ولترا در شبکه عصبی GMDH در این پژوهش

لايه	GMDH ضرایب سری ولترا در شبکه عصبی
	$y_1 = 0.0182 + 0.0147\theta_s + 0.4947EC_e - 0.00000158\theta_s^2 - 0.0042EC_e^2 - 0.00017\theta_s \times EC_e$
	$y_2 = 9.8444 + 3.2883SAR_{iw} - 0.0746sand - 0.2971SAR_{iw}^2 + 0.0043Sand^2 - 0.0044SAR_{iw} \times Sand$
	$y_3 = 82.5464 - 3.0316\theta_{-100} - 2.52956sand + 0.01807\theta_{-100}^2 + 0.0211Sand^2 + 0.0697\theta_{-100} \times Sand$
	$y_4 = 23.2911 - 62.4232\rho_b + 2.0206\theta_{-100} + 0.0192\theta_{-100}^2 + 51.5112\rho_b^2 - 2.3949\theta_{-100} \times \rho_b$
اول	$y_5 = 15.8808 + 2.3516SAR_{iw} - 0.3018\theta_{-800} + 0.0016\theta_{-800}^2 - 0.2968SAR_{iw}^2 + 0.0384\theta_{-800} \times SAR_{iw}$
	$y_6 = 3.6482 + 1.0921h + 0.0371t - 0.043h^2 - 0.000026t^2 - 0.00029h \times t$
	$y_7 = -32.4003 + 15.5784pH_e - 16.1122SAR_e - 1.2111pH_e^2 + 0.3284SAR_e^2 + 1.6227pH_e \times SAR_e$
	$y_8 = 13.9552 + 0.0251clay - 2.07904OC - 0.00599clay^2 - 0.01032OC^2 + 0.3774clay \times OC$
	$y_9 = 9.7565 + 3.1672y_3 - 3.5522y_4 - 0.08793y_3^2 + 0.1293y_4^2 + 0.$
	$y_{10} = -2.9098 + 0.0025y_1 + 0.3774y_2 + 0.00091y_1^2 - 0.01144y_2^2 - 0.00118y_1 \times y_2$
	$y_{11} = -9.1542 + 0.1752y_5 + 1.1837y_6 + 0.025803y_5^2 - 0.003284y_6^2 - 0.00633y_5 \times y_6$
دوم	$y_{12} = -73.3643 - 0.1412y_7 + 9.3523y_8 + 0.2134y_7^2 - 0.1113y_8^2 - 0.3265y_7 \times y_8$
	$y_{13} = -91.4528 + 5.6349y_9 + 7.9075y_{10} + 0.4737y_9^2 + 0.3717y_{10}^2 - 1.2793y_9 \times y_{10}$
	$y_{14} = 1.4041 - 0.3346y_{11} + 0.1045y_{12} + 0.00773y_{11}^2 - 0.0075y_{12}^2 + 0.074y_{11} \times y_{12}$
سوم	$y_{15} = 1.1869 - 0.0146y_{13} + 0.3706y_{14} - 0.0186y_{13}^2 - 0.0229y_{14}^2 + 0.0811y_{13} \times y_{14}$

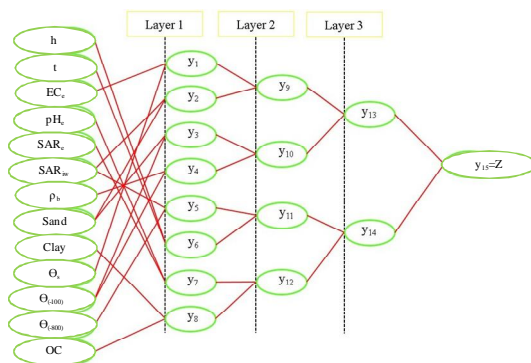
رگرسیونی نشان دهنده تاثیر کم درصد شن به حاصل ضرب درصد سیلت و رس بود. این مسئله در بافت خاک‌های مورد بررسی این پژوهش به دلیل دامنه محدود و مقدار کم شن (به طور میانگین 10 درصد) قابل توجیه است.

روش شبکه عصبی GMDH دقت بیشتری نسبت به معادله رگرسیونی داشت به طوری که خطای برآورد نفوذ در آن به میزان 2/69 سانتی‌متر در مقایسه با رگرسیون خطی 3/01 سانتی‌متر به دست آمد. لازم به ذکر است در صورتی که توابع انتقالی رگرسیونی و GMDH بر اساس هر کلاس بافت خاک استخراج می‌شد، دقت معادلات افزایش می‌یافت. اگرچه شبکه عصبی GMDH روش پیچیده‌تری نسبت به معادله رگرسیونی است اما به کارگیری روابط غیرخطی بین پارامترها نقطه قوت آن محسوب می‌شود و می‌توان با

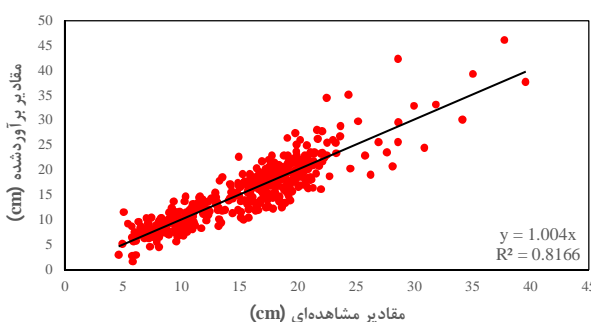
نتیجه گیری

در این پژوهش سعی شد با به کارگیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری و خاک، توابع انتقالی با دقت بالا استخراج شود. طبق معادله رگرسیونی بیشترین تاثیر بر نفوذ را نسبت ارتفاع آب روی سطح خاک به پیرامون خیس شده خاک (سطح تماس آب با خاک) داشت. همچنین مطابق با تاثیرپذیری معکوس نفوذ از شاخص x_2 در معادله رگرسیونی، در شرایطی که شوری آب آبیاری از شوری خاک بیشتر باشد (مرتب اول آبیاری یا پس از مرحله آبشویی خاک) و همچنین در زمانی که نسبت جذب سدیم خاک نسبت به آب آبیاری بنا به شرایط شیمیایی خاک مانند مقادیر بالای کربنات، سولفات و قلیائیت خاک بیشتر باشد، نفوذ کاهش می‌یابد. ضریب X_3 در معادله

ایجاد نرم‌افزارهای کاربر دوست، استفاده از آن را به سادگی فراهم نمود.



شکل 6- ساختار شبکه GMDH به منظور برآورد مقدار نفوذ تجمعی



شکل 7- مقایسه مقادیر برآورد شده نفوذ تجمعی معادله پیشنهادی با روش GMDH با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های اعتبارسنجی

175-188

منابع

قادری، ک، عرب، ک، ر، تشنه‌لب، م و قزاق، آ. 1389. مدل‌سازی بهره‌برداری هوشمند از مخازن با استفاده از برخورد گروهی با داده‌ها (GMDH). تحقیقات منابع آب ایران. 6: 3. 67-55.

نوابیان، م، اشرف‌تالش، س، ج، اسمعیلی‌ورکی، م و جمالی، ع. 1390. مقایسه توابع انتقالی رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی با ANFIS در تخمین هدایت آبی اشباع. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه تبریز. 14-12 شهریور ماه. صفحه 5-1.

Abdolrahimi, S., Nasernejad, B., Pazuki, G. 2014. Prediction of partition coefficients of alkaloids in ionic liquids based aqueous biphasic systems using hybrid group method of data handling (GMDH) neural network. Journal of Molecule Liquids. 191: 79-84.

Atashrouza, S., Pazukia, G and Seyfi Kakhkib, S. 2015. A GMDH-type neural network for prediction of water activity in glycol and Poly (ethylene glycol) solutions. Journal of Molecular Liquids. 202: 95-100.

Bashour, I., Sayegh, A.H. 2007. Methods of analysis for soils of arid and semi-arid regions. Food and

ابراهیمی، ک. و نایب‌لویی، ف. 1388. تخمین نفوذپذیری نهایی خاک‌ها با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: مزرعه پردیس ابوریحان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. 16: 1. 57-37.

حق‌نیا، غ. 1374. دشواری‌های نفوذ آب در خاک. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. شماره 183. 225 صفحه.

علیزاده، ا. 1378. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). 484 صفحه.

داغبندان، ا و اکبری‌زاده، م. 1393. طراحی ساختارهای ANFIS و شبکه‌های عصبی GMDH برای پیش‌بینی میزان بهینه مصرف ماده منعقدکننده در فرایند تصفیه آب، مطالعه موردی: تصفیه خانه بزرگ آب گیلان. نشریه آب و فاضلاب. 5: 41-32.

دوانگر، ع، سپاس‌خواه، ن، نیشابوری، م، رضایی، ل، بیات، ح. و نریمان‌زاده، ن. 1394. ارزیابی کارایی الگوریتم مدیریت داده‌ها به روش گروهی (GMDH) برای پیش‌بینی شاخص‌های نگهداری آب در خاک‌های شالیزاری. نشریه پژوهش‌های خاک. 29: 2.

- 22.
- Merdun,H., ÖÇinar,R., Meral,M. 2006. Comparison of artificial neural network and regression pedotransfer functions for prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research*. 90.1: 108-116.
- Nariman-Zadeh,N., Darvizeh,A and Ahmad-Zadeh,G. 2003. Hybrid genetic design of GMDH-type neural networks using singular value decomposition for modeling and prediction of the explosive cutting process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 217.6: 779-790.
- Page,A.L. 1982. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. 1143 pages.
- Pansu,M., and Gautheyrou,J. 2006. *Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods*. Springer Publication. 993 pages.
- Rawls,W. and Brakensiek,D. 1989. *Estimation of soil water retention and hydraulic properties. Unsaturated flow in hydrologic modeling. Theory and practice*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. pp. 275-300.
- Sy,N.L. 2006. Modeling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network. *Hydrological Sciences Journal*. 51.1: 3-20.
- Tomasella,J., Pchepsky,Ya. Crestana,S. and Rawls,W.J. 2003. Comparison of two techniques to develop pedotransfer functions for water retention. *Soil Science Society. American Journal*. 67: 1085-1092.
- Ungaro,F., Calzolari,C and Busoni,E. 2005. Development of pedotransfer functions using a group method of data handling for the soil of Pianura Padano-Veneta region of North Italy: Water retention properties. *Geoderma*, 124: 293-317.
- Valiantzas,J., Aggelides,S. and Sasselou,A. 2001. Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. *Agricultural Water Management*. 52.1: 17-32.
- Wagner,B., Tarnawski,V., Hennings,U., Miller,G. Wessolek,V and Plagge,R. 2001. Evaluation of pedotransfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. *Geoderma*. 102.3: 275-297.
- Walker,W.R., Skogerboe,G.V. 1987. *Surface irrigation. Theory and practice*. Prentice-Hall. 386 pages.
- Agriculture Organization of the United Nations. 119 pages.
- Bondurant,J.A. 1957. Developing a furrow infiltrometer. *Agricultural Engineering*. 38.8: 602-605.
- Bowles, J.E. 1992. *Engineering properties of soils and their measurement*. McGraw-Hill, Inc. 481 pages.
- Dane,J.H., Topp,C., Campbell,G., Horton,W.A., Jury,D.R., Nielsen,H.M., van,H., Wierenga,P and Top,G.C. 2002. Part 4-Physical methods. *Methods of Soil Analysis*. 1163 pages.
- Ekhmaj,A.I. 2010. Predicting soil infiltration rate using Artificial Neural Network. Pages 117-121 in *Proceeding. Environmental Engineering and Applications (ICEEA), International Conference on IEEE*.
- Haise,H.R. 1956. Use of cylinder infiltrometers to determine the intake characteristics of irrigated soils. 20 pages.
- Ivakhnenko, A. and G. Ivakhnenko. 1995. The review of problems solvable by algorithms of the group method of data handling (GMDH). *Pattern recognition and image analysis c/c of raspoznavaniye obrazov i analiz izobrazhenii*. 5: 527-535.
- Jamieson,P.D., Porter,J.R., Wilson, D.R. 1991. A test of computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*. 27:337-350.
- Jaynes,D and Hunsaker,D. 1989. Spatial and temporal variability of water content and infiltration on a flood irrigated field. *Transactions of the ASAE*. 32.4: 1229-1238.
- Klute,A. 1986. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. American Society of Agronomy, Inc. 1188 pages.
- Lambe,T.W. 1951. *Soil testing for engineers*. Soil Science. 72.5: 406.
- Mazaheri,M.R and Mahmoodabadi,M. 2012. Study on infiltration rate based on primary particle size distribution data in arid and semiarid region soils. *Arabian Journal of Geosciences*. 5.5: 1039-1046.
- McClymont,D and Smith,R. 1996. Infiltration parameters from optimization on furrow irrigation advance data. *Journal of Irrigation science*. 17.1: 15-

Experimental Studying of Extracting of Pedo Transfer Function by Regression and GMDH Method to Estimate Infiltration in Surface Irrigation

M. Navabian^{*1}, A. Shahryari², M. Esmaeili Varaki³

Received: Jan.16, 2016

Accepted: Nov.23, 2016

Abstract

Infiltration is a major soil hydraulic property that has effective role on water and soil resources researches. Field methods of infiltration measuring are time consuming and costly. Therefore an indirect estimation method such as transfer functions is concerned. In this study were derived pedotransfer functions of infiltration of surface irrigation in both GMDH neural network and regression methods by the chemical and physical properties of soil and water. Due to this purpose, 17 soil samples were gathered from Foumanat plain of Guilan province. Physical and chemical properties of soil including soil texture, soil size distribution, particle density, bulk density, soil water retention curve, electrical conductivity, sodium absorption ratio, organic matter content and pH were measured and infiltration experiment were conducted in physical model to evaluate the effects of three treatments of water height on soil surface including 3, 5 and 7 cm and three treatments of sodium adsorption ratio including 1.7, 2.5 and 9. The results showed that GMDH neural network method estimate infiltration more accurate ($R^2 = 0.82$) than regression method ($R^2 = 0.75$). Regression equations showed that hydraulic parameters of irrigation water including water standing on soil surface and contact surface of water with soil had more effect on infiltration than chemical properties of water and soil. In GMDH method, SAR of water resource, sand percentage and soil moisture in 100 cm matric potential were recognized more effective parameter on infiltration estimation.

Keywords: Accumulated infiltration, Guilan province, Soil properties, Water properties

1- Associate Professor of Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan

2- M.Sc. student of Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan

3- Assistant Professor of Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan

(* -Corresponding Author Email: Navabian@guilan.ac.ir)