

ارزیابی شبکه عصبی مصنوعی در برآورد سرعت پیشروی جبهه رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای

بختیار کریمی^{۱*} و پروا محمدی

استادیار گروه مهندسی علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

bakhtiar.karimi@gmail.com

دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.

mohammadi.parva@yahoo.com

چکیده

یکی از پارامترهای مهم در طراحی، مدیریت و اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی تخمین سرعت پیشروی جبهه رطوبتی در خاک است. از جمله پارامترهای تاثیرگذار در این پارامتر نوع خاک (بافت و ساختمان)، دبی قطره‌چکان و رطوبت اولیه خاک است. در این رابطه آزمایش‌ها در یک مدل پلکسی‌گلاس شفاف با ابعاد $0.5 \text{ m} \times 1.22 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ و بر روی سه نوع بافت (متوسط، سنگین و سبک) به انجام رسید. قطره‌چکان‌ها در چهار عمق صفر (سطحی)، ۱۵ (H₁)، ۳۰ (H₂) و ۴۵ (H₃) سانتی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش، تیمارهای دبی قطره‌چکان‌ها با مقادیر ۲/۴ (Q₁)، ۴ (Q₂) و ۶ (Q₃) لیتر در ساعت اعمال شد. با در نظر گرفتن متغیرهای دبی قطره‌چکان، عمق نصب قطره‌چکان، زمان، هدایت هیدرولیکی اشباع، چگالی ظاهری خاک، رطوبت اولیه خاک و همچنین نسبت درصد شن، سیلت و رس روابطی برای تخمین سرعت پیشروی جبهه رطوبتی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ارائه شد. نتایج مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان دادند که مدل شبکه عصبی با دقت بالایی سرعت پیشروی جبهه رطوبتی در خاک را در جهات مختلف برآورد می‌کند. مقادیر شاخص‌های میانگین ریشه دوم خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) به ترتیب برای سرعت افقی از ۰/۰۹ تا ۰/۳۵ و ۰/۰۶ تا ۰/۲۷ سانتی‌متر بر دقیقه، برای سرعت عمودی به پایین از ۰/۰۲ تا ۰/۱۷ و ۰/۰۲ تا ۰/۰۷ سانتی‌متر بر دقیقه و برای سرعت عمودی به بالا از ۰/۰۸ تا ۰/۲۵ و ۰/۰۵ تا ۰/۱۲ سانتی‌متر بر دقیقه نوسان می‌کند. استفاده از این مدل‌ها در طراحی و اجرا می‌تواند باعث بهبود عملکرد این سامانه در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت آبیاری، شبیه‌سازی، آبیاری قطره‌ای زیر سطحی

۱- آدرس نویسنده مسئول: سنندج، گروه مهندسی علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان.

*- دریافت: شهریور ۱۳۹۶ و پذیرش: دی ۱۳۹۶

مقدمه

سیلت و رس است. مزیت این رابطه به این دلیل است که بر خلاف روابط تجربی قبلی، متغیرهای ورودی مختلفی برای تخمین استفاده شده است (از جمله چگالی ظاهری، درصد شن، سیلت و رس) که با داشتن این پارامترها مدل می‌تواند شناخت بهتری از محیط پیچیده خاک داشته باشد. از بین مطالعات صورت گرفته در زمینه شبیه‌سازی سرعت می‌توان به معادله کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) اشاره کرد که به کمک قضیه π باکینگهام و با استفاده از آنالیز ابعادی و با در نظر گرفتن سه متغیر هدایت هیدرولیکی اشباع، دبی خروجی از قطره‌چکان و زمان آبیاری روابطی (روابط ۱ تا ۵) را برای تخمین سرعت پیشروی جبهه حرکت آب در سه جهت افقی، عمودی (روبه‌پائین) و عمودی (روبه‌بالا) در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی ارائه دادند. نتایج مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان دادند که این مدل‌ها با دقت بالایی سرعت پیشروی جبهه حرکت آب در خاک را در جهات مختلف برآورد می‌کنند.

$$v_h = 3.243 K_s^{0.025} q^{0.325} t^{-0.65} \quad (۳) \text{ سطحی}$$

$$v_h = 1.735 K_s^{0.085} q^{0.305} t^{-0.61} \quad (۴) \text{ زیرسطحی}$$

$$v_v = 1.672 K_s^{0.175} q^{0.275} t^{-0.55} \quad (۵) \text{ سطحی}$$

$$v_v = 1.635 K_s^{0.100} q^{0.300} t^{-0.60} \quad (۶) \text{ زیرسطحی}$$

$$v_{up} = 1.382 K_s^{0.100} q^{0.300} t^{-0.60} \quad (۷) \text{ زیرسطحی}$$

که در آن‌ها:

زمان آبیاری (t) بر حسب دقیقه، دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها (q) بر حسب لیتر در ساعت، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) بر حسب متر بر ساعت و سرعت حرکت آب در جهت افقی (v_h)، عمودی (v_v) و عمودی روبه‌بالا (v_{up}) در خاک بر حسب سانتی‌متر در دقیقه است. همچنین، کریمی و همکاران (۱۳۹۴b) با استفاده از قضیه π باکینگهام و با استفاده از آنالیز ابعادی و با در نظر گرفتن همان سه متغیر (هدایت هیدرولیکی اشباع، دبی خروجی از قطره‌چکان و زمان آبیاری) روابطی را برای برآورد

بررسی دینامیک آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای از مهمترین پارامترها در طراحی، مدیریت و اجرای آن‌ها به حساب می‌آید. از عوامل مهم تاثیرگذار بر این پارامتر می‌توان به دبی قطره‌چکان، نوع خاک (بافت و ساختمان خاک)، خصوصیات شیمیایی خاک، کیفیت آب آبیاری و نیاز آبی گیاهان اشاره نمود (ال‌اگیدی و همکاران ۲۰۱۷، کریمی و همکاران a,b ۲۰۱۲). علی‌رغم اهمیت سرعت حرکت آب در خاک، بیشتر مدل‌های ارائه شده به منظور شبیه‌سازی قطر و عمق خیس شده پیاز رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای می‌باشند (شوارتزمن و زور ۱۹۸۶، کریمی ۱۳۹۲، امین و اخماج ۲۰۰۶، سینگ و همکاران ۲۰۰۶، میرزایی و همکاران ۱۳۸۴، کوک و همکاران ۲۰۰۶، کیشنگ و همکاران ۲۰۰۷، کریمی و همکاران a,b ۱۳۹۴، لی و همکاران ۲۰۰۴، لازارویچ و همکاران ۲۰۰۷، الکینا و ابو‌آواد ۲۰۰۱، ال‌اگیدی و همکاران ۲۰۱۶). از بین این روابط معادله ال‌اگیدی و همکاران (۲۰۱۶) دارای اهمیت بوده که با ارائه یک مدل تجربی با استفاده از هشت پارامتر ورودی و به روش رگرسیون توزیع افقی و عمودی در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی را شبیه‌سازی نمود که به صورت زیر است.

$$R_0 = 1.9236 t^{0.2615} q^{0.2365} \rho_b^{0.0176} \theta_i^{0.0555} K_s^{0.0448} S^{0.0897} Si^{0.0504} C^{0.0595} \quad (۱)$$

$$Z = 0.2004 t^{0.4245} q^{0.4363} \rho_b^{0.4715} \theta_i^{-0.197} K_s^{0.2485} S^{-0.0125} Si^{0.2477} C^{0.1692} \quad (۲)$$

که در آن‌ها:

شعاع توزیع افقی حرکت آب (R_0) بر حسب سانتی‌متر، توزیع عمودی حرکت آب (Z) بر حسب سانتی‌متر، زمان آبیاری (t) بر حسب دقیقه، دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها (q) بر حسب لیتر در ساعت، وزن مخصوص ظاهری (ρ_b) بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، رطوبت حجمی اولیه خاک (θ_i)، هدایت هیدرولیکی خاک (K_s) بر حسب سانتی‌متر بر ساعت، S ، Si و C به ترتیب درصد شن،

همکاران ۲۰۰۲، لی و همکاران ۲۰۰۳) و به کمک تکنیک شبکه عصبی مصنوعی، مدل‌هایی را برای تخمین شعاع و عمق خیس شده جبهه رطوبتی پیشنهاد دادند و نتایج نشان داد که همبستگی خوبی بین داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی وجود دارد. لازارویچ و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از یک سری داده‌های تولیدشده توسط مدل عددی هایدروس یک مدل شبکه عصبی مصنوعی را برای توزیع شکل رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی پیشنهاد دادند و نتایج این تحقیق نشان داد که این مدل دارای عملکرد قابل قبولی می‌باشد. صمدی‌فرد و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک و به کمک داده‌های تولید شده توسط مدل عددی هایدروس، مدل‌هایی را برای تخمین الگوی توزیع رطوبت پیشنهاد دادند و نتایج نشان داد که برنامه‌ریزی ژنتیک دارای عملکرد خوبی در تخمین الگوی توزیع رطوبت می‌باشد.

با توجه به اینکه سرعت پیشروی جبهه رطوبتی در جهات مختلف در خاک نیز همانند توزیع آن اهمیت دارد (کریمی و همکاران ۱۳۹۴a) و همچنین با توجه به اینکه مطالعات اندکی به منظور تخمین سرعت پیشروی آب در خاک صورت گرفته است و اکثر تحقیقات انجام گرفته در زمینه الگوی توزیع رطوبت می‌باشد پس اهداف پژوهش شامل ارائه یک رابطه جامع و کامل نسبت به مدل‌های قبل برای تعیین دقیق موقعیت جبهه رطوبتی (قطر و عمق خیس شده) در زمان‌های مختلف و از جمله کاربردهای عملی آن نیز تعیین بهینه فاصله قطره‌چکان‌ها با توجه به گسترش جبهه رطوبتی و همپوشانی مورد نظر و تعیین زمان آبیاری بهینه با در نظر گرفتن عدم نفوذ عمقی و افزایش راندمان آبیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی یک پردازشگر توزیعی اطلاعات است که خصوصیات عملکرد آن شبیه به ساختار عصبی مغز انسان می‌باشد (ASCE, 2000). یکی از

سطح خیس شده در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی پیشنهاد دادند. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد که آنالیز ابعادی توانایی قابل قبولی برای داده‌های آزمایشی استفاده شده و شرایط موجود دارد؛ اما یکی از معایبی که در روابط بالا مشاهده می‌شود این است که تنها شاخص خصوصیات فیزیکی خاک هدایت هیدرولیکی اشباع بوده که این شاخص به تنهایی نمی‌تواند بیانگر خصوصیات فیزیکی و محیط پیچیده خاک باشد (با الگو-گرفتن از مطالعه ال‌اگیدی و همکاران ۲۰۱۶). همچنین تاثیر ساختمان خاک که معمولاً با شاخص وزن مخصوص ظاهری خاک ارائه می‌شود و رطوبت اولیه خاک که به عنوان یکی از پارامترهای تاثیرگذار در تخمین سرعت پیشروی در خاک است، در این روابط در نظر گرفته نشده است (این روابط برای شرایط خاک خشک بسط داده شده است)؛ اما در عین حال این روابط بسیار مهم و منحصر به فرد می‌باشند. یکی از دلایلی که این روابط بدین صورت ارائه شده است به ماهیت آنالیز ابعادی بر می‌گردد که بیشتر از چند متغیر را نمی‌تواند مدلسازی کند و یا به عبارتی با افزایش تعداد متغیرهای ورودی خطای مدل نیز بیشتر می‌شود؛ اما این فن برای بسط روابط مهمی چون عدد فرود نیز بکار رفته است؛ اما هدف اصلی از مطالعه حاضر، استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی برای تخمین سرعت پیشروی جبهه حرکت آب در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی است؛ زیرا این مدل‌ها مشکلات مدل آنالیز ابعادی را ندارند و می‌تواند متغیرهای ورودی بیشتری از جمله شاخص‌های خصوصیات فیزیکی (شامل درصد شن، سیلت، رس، چگالی ظاهری و هدایت هیرولیکی) و همچنین رطوبت اولیه خاک و عمق نصب قطره‌چکان‌ها (در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی) در شبیه‌سازی نظر گرفت و انتظار داشت با توجه به قابلیت‌های بالای شبکه عصبی یک روابط منطقی بین متغیرهای ورودی و سرعت پیشروی خاک پیدا کند. اخماج و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از داده‌های تحقیقات گذشته (تقوی و همکاران ۱۹۸۴، آنجلاکیس و همکاران ۱۹۹۳، حمادی و

پرکاربردترین مدل‌های شبکه عصبی، مدل پرسپترون چندلایه (MLP) بوده که براساس الگوریتم پس انتشار خطا (یک روش یادگیری چند لایه شبکه پیشرو) بنا نهاده شده است (باتنی، ۲۰۰۷). اساس آموزش الگوریتم پس انتشار به این صورت است که وزن‌های اولیه ارتباطی به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. در این پژوهش برای آموزش شبکه از این مدل استفاده شد. معمولاً شامل سه بخش لایه ورودی، پنهان و خروجی است. هر لایه از تعدادی نرون تشکیل شده است که هر نرون اطلاعات را از یک سری ورودی دریافت کرده و پس از پردازش به خروجی تحویل می‌دهد و خروجی این نرون به عنوان ورودی بعدی استفاده می‌شود. تعداد نرون‌های موجود در لایه ورودی و خروجی بستگی به نوع مسئله دارد ولی تعداد گره‌های لایه پنهان با آزمون و خطا بدست می‌آید (امام‌قلی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴). نرون‌های هر لایه به وسیله وزن‌هایی به نرون‌های لایه بعدی متصل می‌شوند. به این وزن‌ها و مقادیر ثابتی که با آن‌ها جمع می‌شود بایاس^۲ گفته می‌شود. بایاس‌ها طی برآیند آموزش شبکه مرتباً تغییر می‌کنند تا زمانی که به بهترین حالت خود برسند. در پژوهش حاضر از تعداد نرون‌های ۱ تا ۲۰ برای لایه پنهان شبکه استفاده شد تا از این طریق بتوان تاثیر ساختارهای مختلف شبکه بر عملکرد آن در شبیه‌سازی سرعت را ارزیابی کرد. تابع غیرخطی سیگموئید به عنوان تابع انتقال شبکه در لایه پنهان و تابع محرک خطی در لایه خروجی مورد استفاده قرار گرفت و برای شبیه‌سازی شبکه عصبی مصنوعی از نرم افزار متلب استفاده شد.

در این پژوهش، برای تخمین سرعت افقی و عمودی در آبیاری قطره‌ای سطحی از ۱۱۰ داده آزمایشگاهی، سرعت افقی و عمودی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از ۳۵۱ داده آزمایشگاهی و سرعت به سمت بالا ۳۰۲ داده آزمایشگاهی استفاده شد. این داده‌ها به طور تصادفی به دو بخش صحت‌سنجی و آموزش تقسیم شد

که ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد دیگر برای بخش صحت‌سنجی مورداستفاده قرار گرفت. از متغیرهای دبی قطره‌چکان (Q)، زمان (t)، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)، چگالی ظاهری خاک (ρ_b)، رطوبت اولیه خاک (θ_i) و نسبت درصد شن (sand)، سیلت (silt) و رس (clay) به عنوان ورودی برای تخمین سرعت افقی و عمودی در آبیاری قطره‌ای سطحی استفاده و برای تخمین سرعت افقی، عمودی و بالا در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی عمق نصب قطره‌چکان (Z)، دبی قطره‌چکان، زمان، هدایت هیدرولیکی اشباع، چگالی ظاهری خاک، رطوبت اولیه خاک و همچنین نسبت درصد شن، سیلت و رس به کار گرفته شد. مشخصات آماری پارامترهای ورودی در جدول (۱) ارائه شده است.

روش انجام آزمایش

این پژوهش که در سال ۱۳۹۱ در آزمایشگاه مرکزی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به انجام رسید. برای انجام آزمایش‌های عملی و اندازه‌گیری‌ها، یک مدل فیزیکی از جنس پلکسی گلاس با ابعاد $3 \times 1/22 \times 0/5$ متر ساخته شد. مدل به سه قسمت مجزا تفکیک و امکان انجام همزمان سه آزمایش فراهم شد. در این پژوهش از یک منبع ۲۵۰ لیتری استفاده و همچنین به دلیل تعداد کم قطره‌چکان‌ها از سامانه کاهنده فشار (بای‌پس) استفاده شد و در کلیه آزمایش‌ها فشارسامانه روی دو اتمسفر تنظیم شد. قطر لوله‌های اصلی، نیمه اصلی و فرعی به ترتیب ۵۰، ۲۰ و ۱۶ میلی‌متر بود. در این پژوهش از سه نوع بافت متوسط، سنگین و سبک استفاده شد (جدول ۲). طراحی مدل آزمایشگاهی به گونه‌ای انجام شد که هر قسمت مربوط به یک نوع خاک باشد. با توجه به اینکه توزیع افقی آب در خاک‌های سنگین بیشتر است، محفظه مربوط به خاک سنگین (۱/۲ متر) بزرگ‌تر از خاک‌های با بافت سبک و متوسط (هر کدام ۰/۹ متر) طراحی شد (شکل ۱). قطره‌چکان‌های مورد ارزیابی شامل سویس درپ و نتافیم بود که در

^۱ Multilayer Perceptron

^۲ Bias

عمودی و عمودی (رویه بالا) و همچنین زمان طی شده، سرعت پیشروی اندازه گیری شد. در پایان هر آزمایش (مدت آبیاری شش ساعت) با تهیه عکسی از بدنه پلکسی گلاس و به کمک نرم افزار Grapher جبهه رطوبتی ترسیم شده در زمان های مختلف رقومی شد.

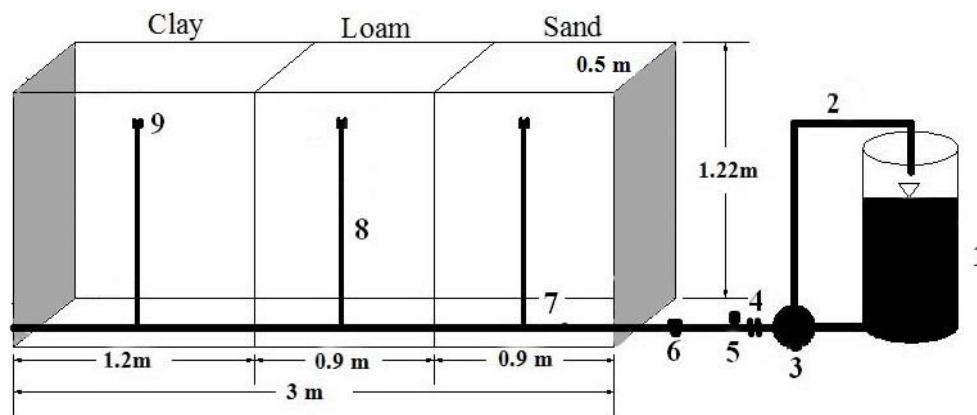
چهار عمق صفر (سطحی)، (H_1) ۱۵cm، (H_2) ۳۰cm و (H_3) ۴۵cm نصب شد. دبی های اعمال شده (Q_1) ۲/۴، ۴، (Q_2) ۶، (Q_3) ۱۰ لیتر در ساعت بود. در این پژوهش با ترسیم جبهه حرکت آب بر روی صفحه شفاف پلکسی گلاس در زمان های مختلف، سرعت پیشروی محاسبه شد (با داشتن مسافت طی شده در جهات افقی،

جدول ۱- مشخصات آماری متغیرهای ورودی

شرایط آزمایشگاهی	سرعت	متغیرها	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
سطحی	افقی و عمودی	T	Min	۱	۳۶۰	۱۰۴/۷۳	۱۰۸/۹۵	۱/۰۴
		Q	lit/hr	۴/۸	۱۲	۸/۰۳	۲/۸۹	۰/۳۶
		K_s	cm/h	۶/۲۵	۱۳/۳۱	۹/۷۷	۲/۹۲	۰/۳۰
		ρ_b	gr/cm ³	۱/۲	۱/۴۵	۱/۳۴	۰/۱۰	۰/۰۷
		θ_i	%	۴/۱۲	۶/۴۳	۴/۷۵	۰/۷۱	۰/۱۵
		Sand	%	۴۶	۷۶	۵۹/۵۸	۱۲/۷۵	۰/۲۱
		Silt	%	۱۳	۲۲	۱۷/۵۴	۳/۷۴	۰/۲۱
		Clay	%	۱۱	۳۶	۲۲/۸۸	۱۰/۲۸	۰/۴۵
زیرسطحی	افقی و عمودی	T	Min	۱	۳۶۰	۱۱۵/۳۸	۱۱۴/۵۰	۰/۹۹
		Q	lit/h	۴/۸	۱۲	۸/۲۶	۲/۹۴	۰/۳۶
		K_s	cm/hr	۶/۲۵	۱۳/۳۱	۹/۶۴	۲/۸۹	۰/۳۰
		ρ_b	gr/cm ³	۱/۲	۱/۴۵	۱/۳۴	۰/۱۰	۰/۰۷
		θ_i	%	۳/۲۲	۶/۳۷	۴/۴۵	۰/۹۰	۰/۲۰
		Sand	%	۴۶	۷۶	۵۹	۱۲/۵۸	۰/۲۱
		Silt	%	۱۳	۲۲	۱۷/۶۶	۳/۶۹	۰/۲۱
		Clay	%	۱۱	۳۶	۲۳/۳۳	۱۰/۲۲	۰/۴۴
زیرسطحی	بالا	Z	Cm	۱۵	۴۵	۳۰	۱۲/۲۷	۰/۴۱
		T	Min	۱	۳۶۰	۹۳/۸۸	۱۰۲/۸۷	۱/۱۰
		Q	lit/h	۴/۸	۱۲	۸/۲۱	۲/۹۴	۰/۳۶
		K_s	cm/hr	۶/۲۵	۱۳/۳۱	۹/۶۲	۲/۹۰	۰/۳۰
		ρ_b	gr/cm ³	۱/۲	۱/۴۵	۱/۳۳	۰/۱۰	۰/۰۸
		θ_i	%	۳/۲۲	۶/۳۷	۴/۴۶	۰/۹۳	۰/۲۱
		Sand	%	۴۶	۷۶	۵۸/۹۱	۱۲/۵۹	۰/۲۱
		Silt	%	۱۳	۲۲	۱۷/۶۷	۳/۶۸	۰/۲۱
Clay	%	۱۱	۳۶	۲۳/۴۲	۱۰/۲۴	۰/۴۴		

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده

نمونه خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	چگالی ظاهری (gr/cm ³)	هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/hr)	درصد رطوبت وزنی اشباع (%)
بافت سنگین	۴۶	۱۸	۳۶	رسی - شنی	۱/۲	۶/۲۵	۳۷/۵
بافت متوسط	۵۵	۲۲	۲۳	لومرسی شنی	۱/۳۵	۹/۳۶	۳۴/۵
بافت سبک	۷۶	۱۳	۱۱	شنی لومی	۱/۴۵	۱۳/۳۱	۳۰/۱



شکل ۱- لایسیمتر آزمایشگاهی و اتصالات مربوط برای انجام آزمایش‌ها ۱- مخزن آب ۲- بای پس ۳- پمپ ۴- شیر فلکه ۵- فشارسنج ۶- توری ۷- لوله اصلی ۸- لوله نیمه اصلی ۹- شیر قطع و وصل

معیارهای ارزیابی

برای مقایسه عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با مقادیر مشاهداتی سرعت از پارامترهای آماری میانگین خطای مطلق (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین در سطح پنج درصد (R^2) به ترتیب از روابط ۸، ۹ و ۱۰ استفاده شد:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{N}} \quad (9)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (10)$$

که در آن‌ها:

O_i و \bar{O} به ترتیب مقادیر مشاهداتی و میانگین مقادیر مشاهداتی، P_i مقادیر محاسباتی، \bar{P} میانگین مقادیر محاسباتی و N تعداد داده‌ها است.

نتایج و بحث

در این بررسی از شبکه عصبی پرسپترون سه لایه و تعداد نرون ۱ تا ۲۰ برای تخمین سرعت افقی، عمودی و بالا در آبیاری سطحی و زیرسطحی استفاده شد. جدول (۳) نتایج ارزیابی عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد. در این جدول، ساختار ۸-۵-۱ به ترتیب هشت ورودی، پنج گره پنهان و یک گره خروجی را شامل می‌شود. این مدل مقادیر آماره‌های ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق در دوره صحت‌سنجی را به ترتیب برابر با ۰/۹۴ (۰/۵۰ و ۰/۳۳ سانتی‌متر بر دقیقه برای سرعت افقی و ۰/۹۳، ۰/۱۹ و ۰/۰۶ سانتی‌متر بر دقیقه برای سرعت عمودی در آبیاری سطحی تخمین زده است. مقادیر RMSE در دوره صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۰/۲۱، ۰/۱۵ و ۰/۱۸ سانتی‌متر بر دقیقه و مقادیر MAE ۰/۱۲، ۰/۰۷ و ۰/۱۱ سانتی‌متر بر دقیقه به ترتیب برای سرعت افقی، عمودی و به سمت بالا در آبیاری زیرسطحی است.

است که مدل شبکه عصبی مصنوعی سرعت در جهات مختلف (سرعت افقی، عمودی و بالا در آبیاری سطحی و زیرسطحی) را با دقت قابل قبولی تخمین زده است.

مقادیر R^2 در دوره‌های صحت‌سنجی برای سرعت افقی، عمودی و بالا در آبیاری زیرسطحی به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۹۳ و ۰/۸۸ به دست آمده است. نتایج مقادیر، MAE، RMSE و R^2 در دوره‌های آموزش و صحت‌سنجی حاکی از این

جدول ۳- آماره‌های عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در تخمین سرعت افقی، عمودی و بالا در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی

صحت‌سنجی			آموزش			سرعت	ساختار	شرایط آزمایش
MAE (cm/min)	RMSE (cm/min)	R^2	MAE (cm/min)	RMSE (cm/min)	R^2			
۰/۳۳	۰/۵۰	۰/۹۴	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۹۷	۱-۵-۸	افقی	سطحی
۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۸۶	۰/۰	۰/۱۶	۰/۹۶	۱-۹-۹	افقی	زیرسطحی
۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۹۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۹۹	۱-۴-۸	عمودی	سطحی
۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۹۳	۰/۰	۰/۰۹	۰/۹۸	۱-۱۶-۹	عمودی	زیرسطحی
۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۸۸	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۹۵	۱-۲-۹	بالا	زیرسطحی

تیمارهای هم نتایج بهتری دارد. همچنین، نتایج مقایسه برای خاک شنی نشان داد که ضرایب تبیین برای مدل شبکه عصبی نیز همانند مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) در رنج قابل قبولی می‌باشد و به همین ترتیب مقادیر خطا نیز در مدل شبکه عصبی در محدوده مناسبی می‌باشد. نتایج مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده از شبکه عصبی برای سرعت افقی در خاک‌های مختلف در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در شکل (۲) ارائه شده است. نتایج ارزیابی ضرایب تبیین بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده شبکه عصبی برای برآورد سرعت عمودی، برای خاک رسی و برای قطره-چکان‌های سطحی، قطره‌چکان‌هایی با عمق نصب ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر به ترتیب مقادیر ۰/۹۹، ۰/۹۶، ۰/۹۸ و ۰/۹۹ بوده و مقادیر خطای RMSE به ترتیب مقادیر ۰/۰۲، ۰/۱۳، ۰/۰۷ و ۰/۰۴ سانتی‌متر بر دقیقه است. همچنین، مقادیر ضریب تبیین برای مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) و برای اعماق مختلف به ترتیب مقادیر ۰/۹۲، ۰/۸۵، ۰/۹۶ و ۰/۹۸ است و مقادیر خطا نیز ۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۲۱ و ۰/۱۹ سانتی‌متر بر دقیقه است (جدول ۴). همچنین مقادیر ضریب تبیین برای سرعت عمودی و خاک لومی و برای مدل شبکه عصبی به ترتیب برای اعماق نصب مختلف مقادیر ۰/۹۳، ۰/۹۸، ۰/۹۴ و ۰/۹۹ است و مقادیر خطای RMSE نیز به ترتیب ۰/۱۷، ۰/۱۱، ۰/۱۶ و

به منظور ارزیابی مدل شبکه عصبی ارائه شده، نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج ارزیابی ضرایب تبیین بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده شبکه عصبی برای برآورد سرعت افقی، برای خاک رسی و برای قطره‌چکان‌های سطحی، قطره‌چکان‌هایی با عمق نصب ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر به ترتیب مقادیر ۰/۹۷، ۰/۹۳، ۰/۸۷ و ۰/۹۵ بوده و مقادیر خطای RMSE به ترتیب مقادیر ۰/۰۳، ۰/۱۷، ۰/۲۱ و ۰/۱۷ سانتی‌متر بر دقیقه است (جدول ۴). همچنین، ضریب تبیین برای مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) و برای اعماق مختلف نصب شده به-ترتیب مقادیر ۰/۹۳، ۰/۹۷، ۰/۸۶ و ۰/۹۴ می‌باشد و مقادیر خطا نیز ۰/۴۳، ۰/۱۱، ۰/۲۵ و ۰/۱۶ سانتی‌متر بر دقیقه است (جدول ۴). همچنین، مقادیر ضریب تبیین برای سرعت افقی و خاک لومی و برای مدل شبکه عصبی به ترتیب برای اعماق نصب مختلف مقادیر ۰/۹۶، ۰/۹۷، ۰/۹۵ و ۰/۹۸ می‌باشد و مقادیر خطا نیز به ترتیب ۰/۳۴، ۰/۱۶، ۰/۲۱ و ۰/۱۰ سانتی‌متر بر دقیقه است. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که مقادیر ضریب تبیین و مقادیر خطای RMSE برای مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) نیز دارای عملکرد مناسبی می‌باشد. این به نوبه خود نشان می‌دهد که این مدل شبکه عصبی همانند مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) دارای عملکرد خوبی است و در بعضی از

عمودی به‌بالا برای خاک‌های مختلف در شکل (۴) ارائه شده است. نتایج برای سرعت عمودی به بالا نیز نشان داد که مدل شبکه عصبی ارائه‌شده نیز عملکرد مناسبی دارد و مقادیر خطا نیز اندک است. همچنین در شکل ۵ مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده سرعت افقی و عمودی نسبت به زمان آبیاری را نشان می‌دهد (در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و برای خاک لومی با دبی چهار لیتر در ساعت) که این نتایج به نوبه خود نشان‌دهنده کارایی بالای این مدل‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی می‌باشد. در شکل ۶ نیز مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده سرعت افقی، عمودی و عمودی رو به بالا نسبت به زمان آبیاری در سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی (در خاک لومی و برای قطره‌چکان با عمق نصب ۳۰ سانتیمتر و با دبی ۴ لیتر در ساعت) ترسیم شده است و این نتایج نشان می‌دهد که سرعت حرکت آب در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی نیز با استفاده از این مدل‌ها به راحتی و با دقت بالایی قابل پیش‌بینی است.

نتیجه‌گیری

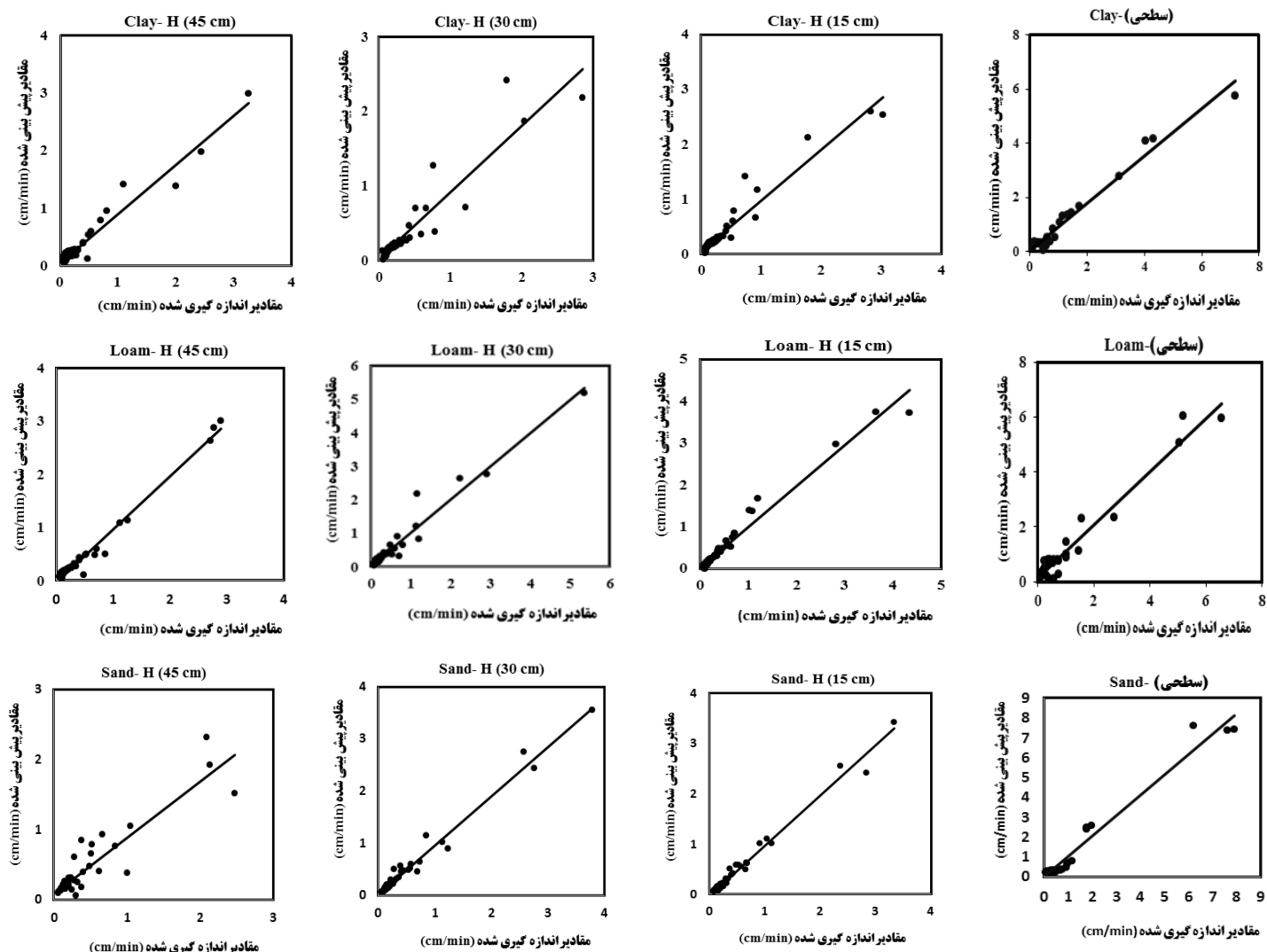
آگاهی از سرعت توزیع جبهه رطوبتی در خاک در جهات مختلف در حین آبیاری اهمیت ویژه‌ای دارد و می‌تواند به عنوان یک پارامتر مهم در طراحی و اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای لحاظ شود که به نوبه خود می‌تواند کمک قابل توجهی به تعیین دقیق فاصله بین لایر-ها و قطره‌چکان‌ها کند. از جمله روش‌هایی که برای مباحث شبیه‌سازی استفاده می‌شود مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی است. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده مدل‌هایی را برای برآورد سرعت حرکت آب در جهات مختلف در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی (با هشت پارامتر ورودی) و زیرسطحی (با نه پارامتر ورودی) ارائه شد. نتایج حاصل از آنالیزهای آماری نشان داد که این مدل‌ها عملکرد مناسبی در تخمین سرعت جبهه رطوبتی دارند و مقادیر خطا نیز اندک است. همچنین نتایج مدل شبکه عصبی با مدل مدل کریمی و همکاران

۰/۰۶ سانتی‌متر بر دقیقه می‌باشد. همچنین مقادیر ضریب تبیین برای مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) به ترتیب مقادیر ۰/۹۸، ۰/۹۶، ۰/۹۶ و ۰/۹۴ بوده و مقادیر خطا نیز ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۲ و ۰/۱۵ سانتی‌متر بر دقیقه است. همچنین نتایج مقایسات برای خاک شنی مشابهاً نشان داد که مدل شبکه عصبی نسبت به مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) برای اعماق نصب دارای مقادیر خطای کمتر و عملکرد مناسب‌تری می‌باشد. نتایج مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط شبکه عصبی برای سرعت عمودی برای خاک‌های مختلف در شکل ۳ آورده شده است. این به نوبه خود نشان می‌دهد که این مدل شبکه عصبی همانند مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) دارای عملکرد مناسبی می‌باشد و در بعضی از تیمارهای هم نتایج بهتری دارد. نتایج این مقایسه برای سرعت عمودی به‌بالا (برای خاک رسی) نشان داد که ضریب تبیین برای مدل شبکه عصبی برای اعماق نصب ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متری به ترتیب مقادیر ۰/۹۸، ۰/۹۱ و ۰/۸۴ می‌باشد و مقادیر خطا نیز ۰/۰۸، ۰/۲۵، ۰/۱۳ سانتی‌متر بر دقیقه می‌باشد و برای مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) مقادیر ضریب همبستگی به ترتیب برای عمق‌های نصب شده مقادیر ۰/۹۵، ۰/۷۶ و ۰/۸۱ می‌باشد و مقادیر خطا RMSE به ترتیب مقادیر ۰/۱۵، ۰/۳۲ و ۰/۲۹ می‌باشد.

همچنین نتایج ارزیابی برای خاک لومی نشان داد که ضرایب تبیین در مدل شبکه عصبی به ترتیب مقادیر ۰/۹۹، ۰/۹۱ و ۰/۸۸ و مقادیر خطا نیز به ترتیب مقادیر ۰/۱۳، ۰/۱۸ و ۰/۱۶ سانتی‌متر بر دقیقه می‌باشد و برای مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) مقادیر ضریب تبیین به ترتیب مقادیر ۰/۹۳، ۰/۷۹ و ۰/۸۰ و مقادیر خطای آن‌ها نیز ۰/۲۱، ۰/۲۸ و ۰/۲۷ سانتی‌متر بر دقیقه می‌باشد. نتایج ضرایب تبیین در خاک شنی و برای مدل شبکه عصبی برای عمق‌های ذکر شده نسبت به مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴a) بیشتر و مقادیر خطای آن‌ها نیز مقادیری به نسبت کمتر می‌باشد. نتایج مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط شبکه عصبی برای سرعت

خصوصیات فیزیکی خاک فقط پارامتر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ارائه شده است. هدایت هیدرولیکی اشباع به تنهایی نماینده خصوصیات و محیط پیچیده خاک باشد در حالی در مدل‌های شبکه عصبی علاوه بر هدایت هیدرولیکی خاک، وزن مخصوص ظاهری، در صد شن، سیلت و رس نیز در نظر گرفته شده است و می‌تواند شناخت بهتری از محیط خاک را ارائه کند. مدل شبکه عصبی ارائه شده به دلیل پارامتر ورودی بیشتر نسبت به مدل آنالیز ابعادی دارای مقبولیت بیشتری می‌باشد و برای رنج‌های گسترده از نوع خاک و دبی قابل تعمیم است.

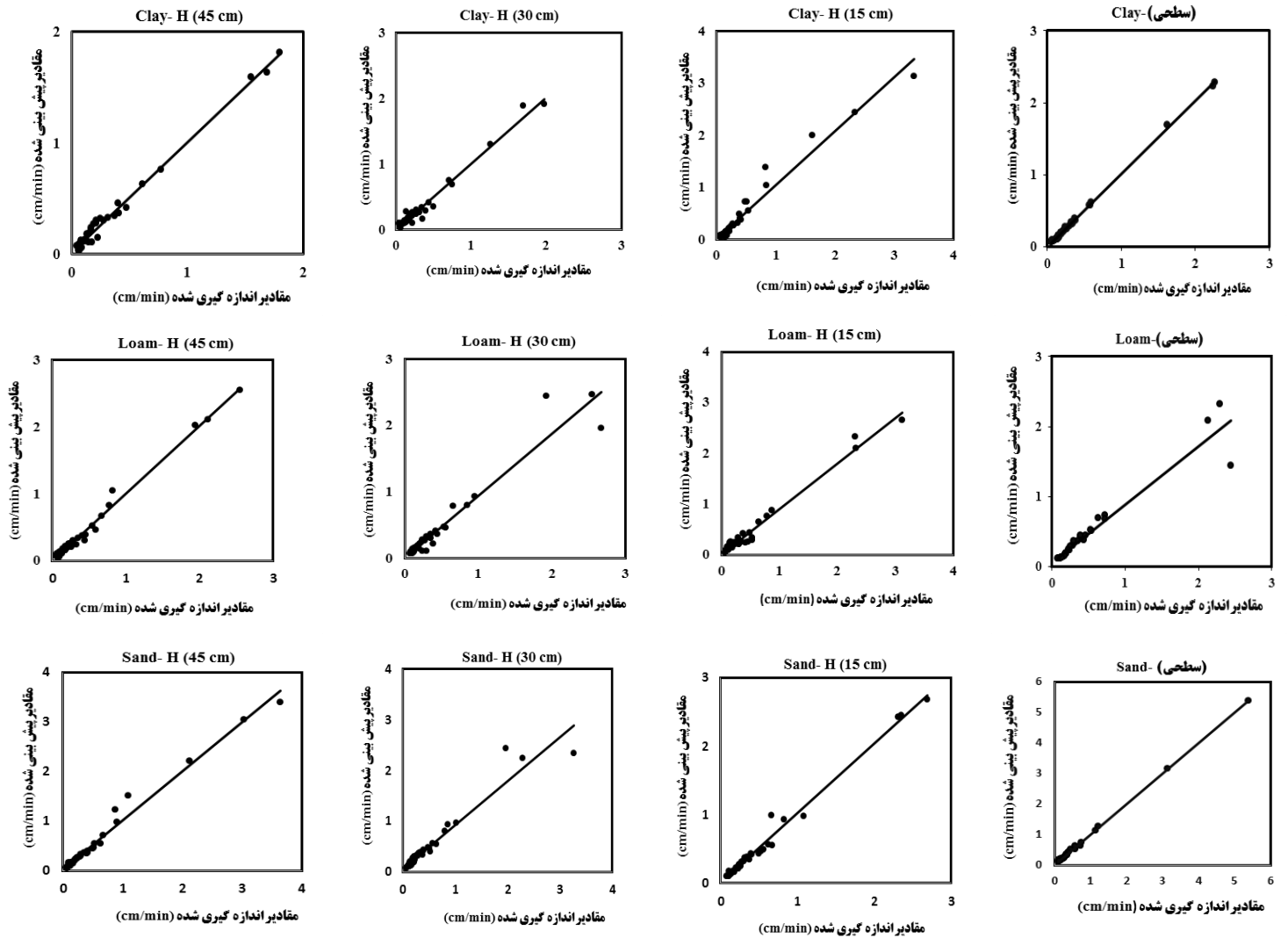
(۱۳۹۴ا) که با استفاده از آنالیز ابعادی روابطی را محاسبه سرعت تخمین کرده بود، مقایسه شد. نتایج مقایسه‌های آماری نشان داد که در اکثر تیمارهای مورد بررسی مدل‌های شبکه عصبی عملکرد بهتری نسبت به مدل آنالیز ابعادی دارند. دلیل آن نیز بدین دلیل است مدل‌های شبکه عصبی در مقایسه با مدل‌های آنالیز ابعادی متغیرهای ورودی بیشتری را در نظر می‌گیرند که این به نوبه خود شناخت بیشتر مدل را از محیط پیچیده خاک فراهم می‌کند. در مدل آنالیز ابعادی مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴ا) تنها سه متغیر در نظر گرفته شده و از



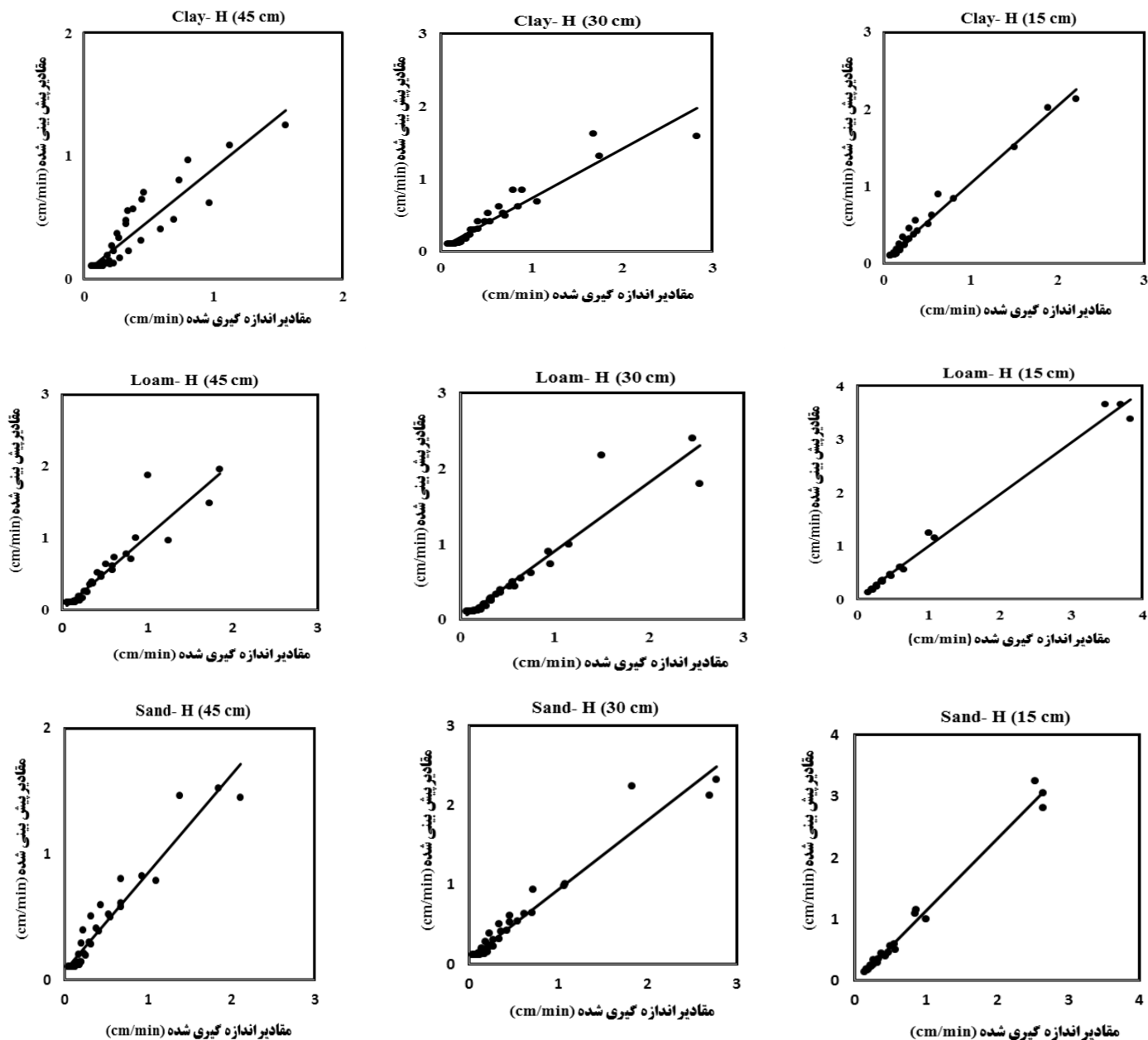
شکل ۲- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی برای سرعت افقی در خاک‌های مختلف در سامانه آبیاری سطحی و زیرسطحی

جدول ۴- آماره‌های عملکرد مدل‌های مورد بررسی در بافت‌های مختلف خاک

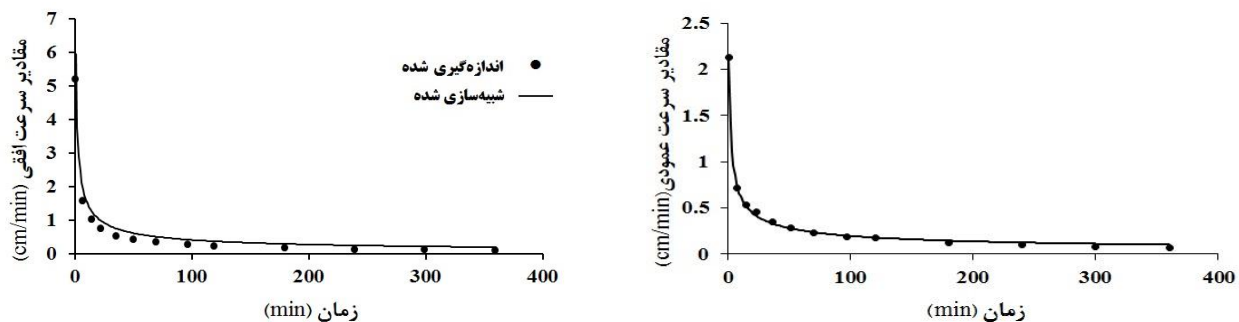
سرعت بالا			سرعت عمودی			سرعت افقی			عمق نصب	بافت خاک	مدل
MAE (cm/min)	RMSE (cm/min)	R ²	MAE (cm/min)	RMSE (cm/min)	R ²	MAE (cm/min)	RMSE (cm/min)	R ²			
-	-	-	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۱۸	۰/۳۰	۰/۹۷	سطحی	رسی	ANN
۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۹۸	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۹۶	۰/۱۰	۰/۱۷	۰/۹۳	۱۵		
۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۹۱	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۹۸	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۸۷	۳۰		
۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۸۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۹۹	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۹۵	۴۵		
-	-	-	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۹۳	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۹۶	سطحی	لومی	
۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۹۹	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۹۸	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۹۷	۱۵		
۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۹۱	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۹۴	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۹۵	۳۰		
۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۸۸	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۹۹	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۹۸	۴۵		
-	-	-	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۲۲	۰/۳۵	۰/۹۷	سطحی	شنی	
۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۹۹	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۹۹	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۹۸	۱۵		
۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۹۵	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۹۳	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۹۸	۳۰		
۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۹۳	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۹۸	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۸۳	۴۵		
-	-	-	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۹۲	۰/۲۳	۰/۴۳	۰/۹۳	سطحی	رسی	کریمی
۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۹۵	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۸۵	۰/۰۵۰	۰/۱۱	۰/۹۷	۱۵		
۰/۲۰	۰/۳۲	۰/۷۶	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۹۶	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۸۶	۳۰		
۰/۱۴	۰/۲۹	۰/۸۱	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۹۸	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۹۴	۴۵		
-	-	-	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۹۸	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۹۸	سطحی	لومی	
۰/۳۲	۰/۶۱	۰/۹۳	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۹۶	۰/۱۵	۰/۳۷	۰/۹۲	۱۵		
۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۷۹	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۹۶	۰/۱۸	۰/۵۲	۰/۷۷	۳۰		
۰/۱۵	۰/۲۷	۰/۸۰	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۹۴	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۹۷	۴۵		
-	-	-	۰/۲۸	۰/۶۶	۰/۸۷	۰/۱۷	۰/۵۱	۰/۹۵	سطحی	شنی	
۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۹۳	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۹۵	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۹۳	۱۵		
۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۹۴	۰/۱۱	۰/۲۳	۰/۸۸	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۹۱	۳۰		
۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۹۰	۰/۱۴	۰/۲۷	۰/۹۰	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۹۶	۴۵		



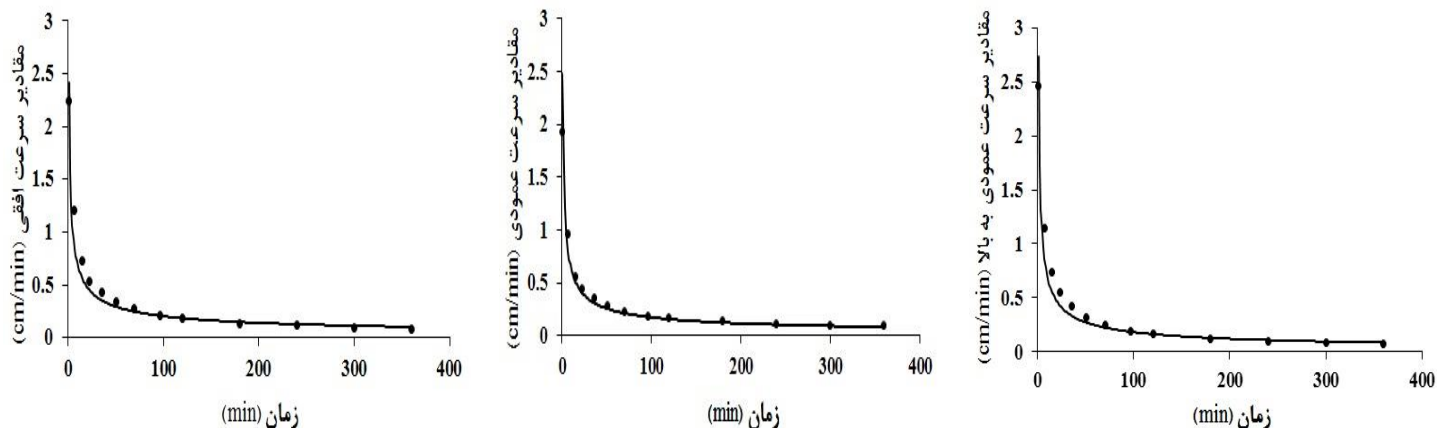
شکل ۳- مقایسه مقادیر اندازه گیری و شبیه سازی شده با شبکه عصبی برای سرعت عمودی در خاک‌های مختلف در سامانه آبیاری سطحی و زیرسطحی



شکل ۴- مقایسه مقادیر اندازه گیری و شبیه سازی شده با شبکه عصبی برای سرعت عمودی به بالا در خاک‌های مختلف در سامانه آبیاری سطحی و زیرسطحی



شکل ۵- مقایسه مقادیر اندازه گیری و شبیه سازی شده با شبکه عصبی برای سرعت افقی و عمودی در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و برای خاک لومی و دبی چهار لیتر در ساعت



شکل ۶- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی برای سرعت افقی، عمودی و عمودی به بالا در سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی، سطحی با عمق ۳۰ سانتیمتری و برای خاک لومی و دبی چهار لیتر در ساعت

فهرست منابع

۱. کریمی ب، سهرابی ت، میرزایی ف و آبایی ب. ۱۳۹۴a. استخراج روابط تخمین سرعت پیشروی جبهه حرکت آب در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با کمک آنالیز ابعادی. مجله دانش آب و خاک جلد ۲۵، شماره ۱، صفحه‌های ۱۰۲ تا ۱۱۲.
۲. کریمی ب، میرزایی ف و سهرابی ت. ۱۳۹۴b. بسط معادلاتی برای برآورد الگوی سطح خیس‌شده در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به روش تحلیل ابعادی. مجله دانش آب و خاک جلد ۲۵، شماره ۳، صفحه‌های ۲۴۱ تا ۲۵۲.
۳. کریمی ب، میرزایی ف و سهرابی ت. ۱۳۹۲. ارزیابی توزیع مجدد جبهه پیشروی آب در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. مجله دانش آب و خاک جلد ۲۳، شماره ۳، صفحه‌های ۱۸۳ تا ۱۹۲.
۴. ملایی م، لیاقت عم و عباسی ف. ۱۳۸۷. تخمین الگوی خیس‌شدگی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با استفاده از آنالیز ابعادی. مجله دانش کشاورزی سابق، جلد ۳۹، شماره ۲، صفحه‌های ۳۷۱ تا ۳۷۸.
۵. میرزایی ف، لیاقت عم، سهرابی ت م و امید م، ۱۳۸۴. نمونه‌سازی جبهه رطوبتی خاک از منبع تغذیه خطی در آبیاری قطره‌ای نواری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۶، شماره ۲، صفحه‌های ۵۳ تا ۶۶.
6. Al-Qinna MI and Abu-Awwad AM, 2001. Wetting patterns under trickle source in arid soils with surface crust. *Journal of Agricultural Engineering Research* 80(3): 301–305.
7. Al-Ogaidi, A.A.M., Wayayok A., Rowshona, M.K. and Abdullah, A.F. 2016. Wetting patterns estimation under drip irrigation systems using an enhanced empirical model. *Journal of Agricultural Water Management* 176: 203-213.
8. Al-Ogaidi, A.A.M., Wayayok A., Rowshona, M.K. and Abdullah, A.F. 2017. The influence of magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. *Journal of Agricultural Water Management*, 180: 70-77.
9. Amin MSM. and Ekhmaj AIM, 2006. DIPAC-drip irrigation water distribution pattern calculator. In: 7th International micro irrigation congress, 10–16 Sept, PWTC, Kuala Lumpur, Malaysia.
10. Angelakis AN, Kadir TN, Rolston DE. 1993. Time-dependent soil water distribution under a circular trickle source. *Journal of Water Resource Management*. 7:225–235.
11. ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology. 2000. Artificial neural networks in hydrology, I: preliminary concepts. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2): 115-123.

12. Bateni SM, Borghei SM, Jeng DS .2007. Neural network and neuro-fuzzy assessments for scour depth around bridge piers. *Journal of Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 20(3):401–414.
13. Cook F.J., Thorburn P.J., Fitch P., Charlesworth P.B. and Bristow K.L. 2006. Modelling trickle irrigation: comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. *Journal of Environmental Model Software*, 21:1353-1359.
14. Ekhmaj, A.I., Abdulaziz, A.M., Almdny, A.M., 2007. Artificial neural networks approach to estimate wetting pattern under point source trickle irrigation. *African Crop Science Conference*, 1625–1630.
15. Emamgholizadeh S., Moslemi K. and Karami G .2014. Prediction the groundwater level of bastam plain (Iran) by artificial neural network (ANN) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *Journal of Water Resource Management* 28(15):5433–5446.
16. Hammami M, Hedi D, Jelloul B, Mohamed M., 2002. Approach for predicting the wetting front depth beneath a surface point source: theory and numerical aspects. *Journal of Irrigation and Drainage* 51:347–360.
17. Karimi, B., Sohrabi, T., Mirzaei, F. and Rodriguez-Sinobas, L. 2012a. Evaluation of wetting area and water distribution on different soils in subsurface drip irrigation emitters. *European Geosciences Union Conference. General Assembly 2012. Vienna, Austria. 22-27 April.*
18. Karimi, B., Sohrabi, T. and Mirzaei, F. 2012b. Determining suitable probability distribution for estimating wetting front in surface and subsurface Drip Irrigation. *Elixir Agriculture Journal*, 48: 9242-9244.
19. Lazarovitch N, Poulton M, Furman A, Warrick AW. 2009. Water distribution under trickle irrigation predicted using artificial neural networks. *Journal of Engineering Mathematics*. 64:207–218.
20. Li, J., Zhang, J., Ren L. 2003. Water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source. . *Journal of Irrigation Science*. 22(1):19–30.
21. Li J., Zhang J., and Rao M. 2004. Wetting Pattern and Nitrogen Distribution as Affected by Fertilization Strategies from a Surface Point Source. *Journal of Agricultural Water Mangement*. 67: 89-104.
22. Lazarovitch N., Warrick A.W., Furman A. and Simunek J. 2007. Subsurface water distribution from drip irrigation described by moment analyses. *Vadose Zone Journal*, 6:116-123.
23. Qiaosheng, Sh., Zuoxin, L., Zhenying, W. and Haigun, L. 2007. Simulation of the soil wetting shape under porous pipe sub-irrigation using dimensional analysis. *Journal of Irrigation drainage Engineering*. 56: 389-396.
24. Samadianfard, S., Sadraddini, A.A., Nazemi, A.H., Provenzano, G., Kisi, O., 2012. Estimating soil wetting patterns for drip irrigation using genetic programming. *Spanish Journal Agricultural Resource*. 10, 1155–1166.
25. Schwartzman M, Zur B, 1986. Emitter Spacing and Geometry of Wetted Soil Volume. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 112(3): 242-253.
26. Singh D. K., Rajput, T. B. S. Sikarwar, H. and Ahmad, V. T. 2006, Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *Agricultural Water Management*, 83:130-134.
27. Taghavi SA, Marino MA, Rolston DE., 1984. Infiltration from trickle irrigation source. *Journal of Irrigation Drainage Engineering*. 110(4):331–341.

Evaluation of Artificial Neural Network for Estimating the Advance Velocity of the Wetting Front in Drip Irrigation

B. Karimi^{1*} and P. Mohammadi

Assistant Professor, Water Engineering Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan.

bakhtiar.karimi@gmail.com

Ph.D. Student, Engineering Department of Water Resources, Department of Irrigation and Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran.

mohammadi.parva@yahoo.com

Abstract

One of the most important parameters in designing, managing, and operating surface and subsurface drip irrigation systems is the advance velocity of the wetting (moisture) front in soil, which enormously affects the performance of these systems. Emitter discharge, soil type (soil texture and structure) and initial moisture content are the main factors affecting advance velocity under drip irrigation. Experiments were carried out in a transparent plexiglass tank (0.5 m*1.22 m*3 m) using three different soil textures (light, heavy, and medium). The drippers were installed at 4 different soil depths (surface, 15 cm, 30 cm, and 45 cm). The emitter outflows were considered 2.4, 4, and 6 L/hr. A simulation model was developed using artificial neural network (ANN) for predicting advance velocity of the wetting front (horizontal, downward, and upward direction) under point sources in surface and subsurface drip irrigation. The variables affecting wetting pattern included emitter discharge, emitter installation depth, application time, saturated hydraulic conductivity, soil bulk density, initial soil moisture content, and the proportions of sand, silt and clay in the soil. The results of the comparisons between the simulated and measured values showed that the ANN model was capable of predicting the advance velocity of the wetting front in different directions with high accuracy. The values of Root Mean Square Error (RMSE) varied from 0.09 to 0.35, from 0.02 to 0.17, and from 0.08 to 0.25 cm/min for horizontal, downward and upward velocity, respectively. Also, the values of Mean Absolute Error (MAE) varied from 0.06 to 0.27, from 0.02 to 0.07, and from 0.05 to 0.12 cm/min for horizontal, downward, and upward velocity, respectively. Using these models in designing and operating surface and subsurface drip irrigation systems could improve system performance.

Keywords: Irrigation management, Simulation, subsurface drip irrigation

1-Corresponding author: Assistant Professor, Water Engineering Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan.

*- Received: September 2017 and Accepted: January 2018