

مقاله علمی-پژوهشی

شبیه‌سازی مساحت خیس شده در اراضی شیب‌دار به کمک شبکه عصبی مصنوعی

فریبا علی نظری^۱، بختیار کریمی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۴

چکیده

الگوی خیس‌شدگی خاک نقش مهمی در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای دارد. الگوی خیس‌شدگی به عوامل مختلفی نظیر بافت خاک، ساختمان خاک، دبی قطره‌چکان، هدایت هیدرولیکی، حجم آب کاربردی و شیب زمین بستگی دارد. در این پژوهش، برای اندازه‌گیری جبهه پیشروی رطوبت در خاک دو مدل فیزیکی به شکل مکعب مستطیل ساخته شد. از مدل کوچکتر برای انجام آزمایش‌ها با دبی کمتر و از مدل بزرگتر برای آزمایش‌ها با دبی بیشتر استفاده شد. آزمایش‌ها برای چهار شیب مختلف (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد)، سه نوع خاک با بافت‌های مختلف (سبک، متوسط، سنگین)، با سه دبی قطره‌چکان (۲، ۴ و ۶ لیتر در ساعت) به انجام رسید. هدف از انجام این پژوهش شبیه‌سازی مساحت جبهه‌ی رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار بود. به منظور شبیه‌سازی مساحت جبهه‌ی رطوبتی از مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی استفاده شد. نتایج مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده نشان دادند که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی در برآورد مساحت جبهه‌ی رطوبتی دارای دقت قابل قبولی می‌باشد. مقادیر ضریب تبیین (R^2) در مرحله‌ی آموزش بین ۰/۹۹۴ تا ۰/۹۹۷، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بین ۱۸/۸۴ تا ۴۲/۷۰ سانتی‌متر مربع و میانگین خطای مطلق (MAE) بین ۱۲/۲۸ تا ۳۱/۹۶ سانتی‌متر مربع قرار داشتند. این مقادیر در مرحله‌ی تست به ترتیب بین ۰/۹۹۳ تا ۰/۹۹۷، ۲۶/۸۷ تا ۴۷/۰۲ سانتی‌متر مربع و ۲۰/۱۴ تا ۳۱/۴۵ سانتی‌متر مربع بودند.

واژه‌های کلیدی: اراضی شیب‌دار، پیاز رطوبتی، شبکه عصبی مصنوعی، مساحت خیس‌شده

مقدمه

با توجه به روند رو به رشد جمعیت و افزایش تقاضا و مصرف آب، استفاده از روش‌های نوین آبیاری همانند سیستم آبیاری قطره‌ای به منظور کاهش تلفات منابع آب و افزایش تولید محصولات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را می‌توان طوری طراحی کرد که در هر نوع توپوگرافی به نحو مؤثری قابل استفاده باشند. در اراضی با شیب زیاد حتی اگر فاصله بین درختان نامنظم و اندازه آنها متفاوت باشد، می‌توان آبیاری قطره‌ای را به نحو مطلوب به کار گرفت، زیرا آب نزدیک به هر درخت پخش می‌شود (ضیاء تبار احمدی، ۱۳۷۱). در سامانه‌ی آبیاری قطره‌ای، الگوی خیس شده‌گی به عوامل مختلفی از جمله بافت خاک، ساختمان خاک، دبی

قطره‌چکان، هدایت هیدرولیکی، حجم آب کاربردی و شیب زمین بستگی دارد. مدل‌های شبیه‌سازی یکی از ابزارهای مطالعه مصرف آب در سامانه‌های آبیاری است. تاکنون در زمینه شبیه‌سازی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای کارهای قابل توجهی صورت گرفته است از جمله: (کریمی و علی‌نظری، ۱۳۹۸؛ بزانه و همکاران، ۱۳۹۵؛ خان‌محمدی و بشارت، ۱۳۹۵؛ کریمی و عبدی، ۱۳۹۲؛ Al-Tripathi, 2017؛ Samadianfard et al., 2014؛ Ogaidi et al., 2016؛ Elnesr et al., 2016؛ Kandelous and Simunek, 2010؛ al., 2012). اکثر این مطالعات به بررسی ابعاد پیاز رطوبتی پرداختند و مطالعات اندکی در زمینه مساحت خیس شده پیاز رطوبتی انجام شده است. در شکل ۱ کاملاً مشخص است که توزیع افقی جبهه رطوبتی در آبیاری در اراضی مسطح و شیب‌دار در عمق‌های مختلف متفاوت می‌باشد و در محور قطره‌چکان بیشترین توزیع افقی و با فاصله گرفتن از محور قطره‌چکان توزیع افقی کم می‌شود پس در نظر گرفتن یک عدد تحت عنوان توزیع افقی پیاز رطوبتی (چه در سیستم در اراضی مسطح و چه در اراضی شیب‌دار) زیاد منطقی نیست. پس به منظور تعیین مقدار دقیق پیاز رطوبتی علاوه بر ابعاد پیاز رطوبتی (توزیع افقی و عمودی) که

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
* نویسنده مسئول: (Email: bakhtiar.karimi@gmail.com)

عصبی مصنوعی پرداختند. آن‌ها از سه بافت لومی‌شنی، شنی و سیلتی لومی استفاده نموده و با استفاده از مدل‌های عددی و با داشتن خصوصیات هیدرولیکی خاک داده‌های مربوط به الگوی خیس‌شدگی خاک را به دست آوردند و پیشروی افقی و عمودی آب در خاک را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی تخمین زدند (Hinnell et al., 2010). با توجه به این‌که در بیش‌تر مطالعات صورت گرفته به ارزیابی و شبیه‌سازی شعاع و عمق جبهه‌ی رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار پرداخته شده است، در این پژوهش به مدل‌سازی مساحت جبهه‌ی رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار پرداخته شده است که از جمله پارامترهای مهم در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی در اراضی شیب‌دار در نظر گرفتن الگوی سطح خیس‌شده بالادست و پایین‌دست قطره‌چکان می‌باشد. بنابراین شناخت دقیق‌گسترش جبهه‌ی رطوبتی به طراحان سامانه‌ای آبیاری قطره‌ای سطحی به خصوص در اراضی شیب‌دار امکان تشخیص چگونگی آرایش بهینه لاترال‌ها و قطره‌چکان‌ها را می‌دهد.

مواد و روش‌ها

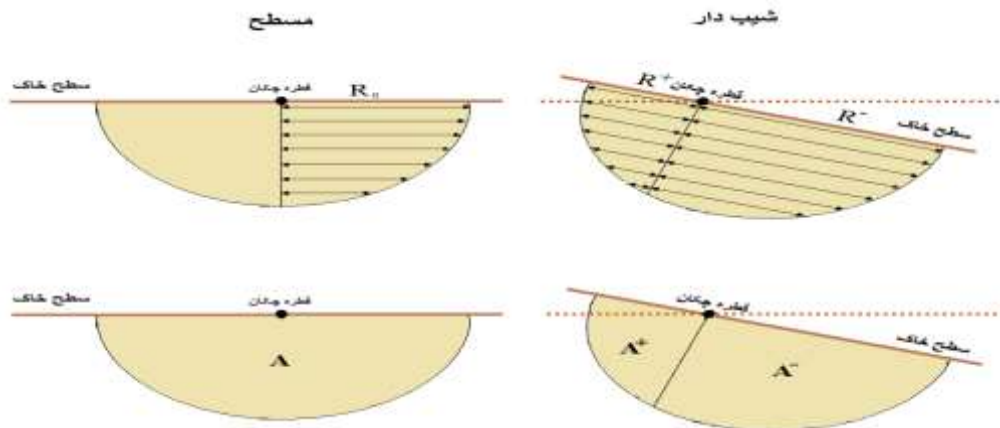
شبکه عصبی مصنوعی

به طور معمول سیستم‌های عصبی بیولوژیکی چندین لایه هستند که هر کدام از این لایه‌ها شامل تعداد زیاد و متفاوتی از واحدهای عصبی یا همان نرون‌ها هستند که قادرند پردازش اطلاعات را به شیوه‌ای موازی انجام دهند. از مدل‌هایی که دارای این ویژگی‌ها باشند به عنوان مدل ANN یاد می‌شود (McCulloch and Pitts, 1943). شبکه‌ی عصبی مصنوعی بر اساس معماری پردازش و آموزش استوار است. معماری شبکه، ارتباط موجود بین نرون‌ها را بیان می‌کند. پردازش در واقع نوع خروجی شبکه‌ها را برای هر ورودی و نیز وزن‌ها را نشان می‌دهد. به طور کلی ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی از سه قسمت لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی تشکیل شده است. لایه ورودی دریافت‌کننده اطلاعات از دنیای خارج است. لایه پنهان با دنیای خارج ارتباط ندارد و تنها با لایه ورودی و خروجی در ارتباط است. شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه^۱ معمول‌ترین نوع معماری است. ساده‌ترین پرسپترون چند لایه، دارای یک لایه پنهان است. شبکه‌ی پرسپترون چند لایه، شناخته شده‌ترین و اغلب مورد استفاده‌ترین نوع در میان انواع مختلف شبکه‌های عصبی هستند. در این نوع از شبکه‌های چند لایه، لایه‌ها به ترتیب به یکدیگر متصل‌اند، به نحوی که خروجی‌های حاصل شده از لایه اول به عنوان ورودی‌های لایه دوم عمل می‌کنند و خروجی‌های به دست آمده از لایه دوم نیز به عنوان ورودی‌های لایه سوم در نظر گرفته می‌شوند و این روال تا زمانی که خروجی‌های لایه آخر به عنوان خروجی‌های

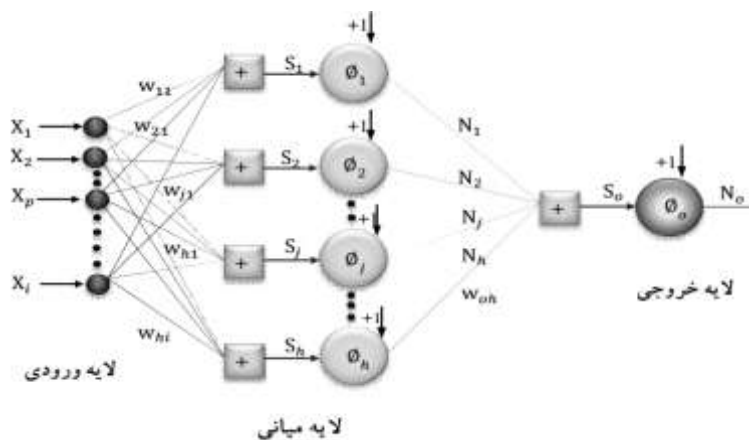
تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است، بایستی مساحت خیس شده پیاز رطوبتی هم مد نظر باشد یعنی این دو شاخص در کنار همدیگر می‌توانند به تخمین دقیق پیاز رطوبتی کمک کنند. مطابق با تحقیقات قبلی صورت گرفته مدل‌های شبیه‌سازی پیاز رطوبتی به سه دسته تقسیم می‌شوند که شامل مدل‌های تحلیلی، عددی و تجربی می‌باشند. یکی از محدودیت‌های مدل‌های تحلیلی و عددی این است که نسبت به انتخاب شرایط اولیه و شرایط مرزی حساس می‌باشند و همچنین نیازمند مهارت بالایی جهت استفاده می‌باشند و همچنین مدل‌های تجربی علی‌رغم سادگی، قابلیت تعمیم برای شرایط مختلف را ندارند (Elnesr and Alazba, 2019; Fan et al., 2019; Kanda et al., 2020; Kilic, 2020). بنابراین، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) به عنوان یک ابزار قوی در مدل‌سازی رابطه‌های ناشناخته و پیچیده بین متغیر ورودی و متغیر خروجی امری منطقی به نظر می‌رسد و این مدل‌ها در زمینه‌های مختلف علوم و مهندسی آب به کار برده می‌شوند (Karimi et al., 2020; Shiri et al., 2020). تاکنون مطالعات محدودی در زمینه مدل‌سازی جبهه پیشروی رطوبت با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی صورت گرفته است که از میان آن‌ها می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. کریمی و محمدی (۱۳۹۷) ارزیابی شبکه‌ی عصبی مصنوعی در برآورد سرعت پیشروی جبهه رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها 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 شبکه‌ی عصبی مصنوعی ارائه دادند. آن‌ها بیان نمودند که نتایج مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان دادند که مدل شبکه‌ی عصبی با دقت بالایی سرعت پیشروی جبهه رطوبتی در خاک را در جهات مختلف برآورد می‌کند. تمجید و همکاران (۱۳۹۳) به مقایسه روش رگرسیون خطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد ابعاد پیاز رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای در اراضی مسطح و شیب‌دار پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در اثر شیب، جبهه رطوبت به سمت پایین دست منحرف شده، به طوری که در زمان آبیاری ۱۲ ساعت در شیب ۲۵ درصد پیاز رطوبتی در پایین دست قطره‌چکان به ۸۰ درصد افزایش یافت. نتایج مقایسه روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه و روش رگرسیون خطی چندگانه از نظر تخمین مساحت خیس شده سطح خاک نشان داد که روش رگرسیون خطی چندگانه نسبت به روش شبکه مصنوعی پرسپترون چند لایه مناسب‌تر می‌باشد. هینل و همکاران به برآورد الگوی خیس‌شدگی در آبیاری قطره‌ای زیر سطحی با استفاده از شبکه‌ی

می‌شود و در صورتی که تعداد نرون‌ها کافی نباشد شبکه نمی‌تواند برآورد دقیقی از رابطه بین پارامترها و بردارهای ورودی و خروجی را ارائه نماید. فرآیند یادگیری در تمامی نرون‌های موجود در تمامی لایه‌ها صورت می‌گیرد، بدین ترتیب در طول فرآیند آموزش و یادگیری، تمامی وزن‌ها و خطاها قابل تغییر خواهند بود. پرسپترون از یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و چندین لایه میانی تشکیل شده است. در شکل (۲) ساختار یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه نشان داده شده است.

اصلی و پاسخ‌های قطعی و واقعی مطرح هستند، ادامه می‌یابند. شبکه‌های چند لایه پرسپترون بر پایه استفاده از دو نوع سیگنال استوار است. نوع اول از آن‌ها سیگنال‌های تابعی نام دارند که بر اساس ورودی‌های هر نرون و پارامترهای وزن و تابع محرک همانند آن‌ها، حاصل می‌شوند و نوع دوم از آن‌ها سیگنال‌های خطا نام دارند که از طریق بازگشت از لایه خروجی و ورود به لایه‌های پنهان دیگر، حاصل می‌شوند. تعداد نرون‌های موجود در لایه پنهان به نظر طراح شبکه بستگی دارد و از طریق آزمون و خطا، تعداد آن‌ها مشخص



شکل ۱- ابعاد و مساحت خیس شده در اراضی مسطح و شیب‌دار برای آبیاری قطره‌ای سطحی



شکل ۲- ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه

ثابت است.

برای شبیه‌سازی شبکه‌ی عصبی مصنوعی از برنامه متلب^۱ ۲۰۱۳ استفاده شد. در مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی از مدل شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه و از میان روش‌های مختلف آموزش از روش الگوریتم پس انتشار خطا استفاده شد. به منظور مدل‌سازی

هر نرون حاصل ضرب ورودی‌ها و وزن‌ها را با یک مقدار بایاس جمع زده و خروجی باعث فعالیت یک تابع انتقال می‌شود.

$$N_k = \varphi \left(\sum_{i=1}^n (w_{ki} x_i + \theta_k) \right) \quad (1)$$

در رابطه (۱) x_i ورودی i ام به نرون k ام (که ممکن است ورودی شبکه یا خروجی لایه قبل باشد) است. w_{ki} شدت ارتباطات بین این نرون و ورودی i ام است. N_k خروجی شبکه و θ_k یک بایاس

داده‌ها به صورت تصادفی به دو بخش آموزش و تست تقسیم شدند که از ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و از ۳۰ درصد دیگر برای تست استفاده شد. از سه سناریو برای تعداد داده‌های ورودی مطابق جدول ۱ استفاده شد.

شبکه از ۱ تا ۱۰ نرون برای لایه پنهان شبکه، تابع غیر خطی سیگموئید به عنوان تابع انتقال شبکه در لایه پنهان و تابع محرک خطی در لایه خروجی استفاده شد. در این پژوهش، به منظور تخمین مساحت پایین دست، بالادست و مساحت کل در آبیاری قطره‌ای سطحی در اراضی شیبدار از ۴۷۱ داده آزمایشگاهی استفاده شد.

جدول ۱- سناریوهای تعریف شده برای تعداد ورودی‌های مختلف

| تعداد ورودی | پارامترها |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|
| ۴ | $(t), (Q), (k_s), (S)$ |
| ۶ | $(t), (Q), (k_s), (S), (\rho_b), (\theta_i)$ |
| ۹ | $(t), (Q), (k_s), (S), (\rho_b), (\theta_i), (Clay), (Silt), (Sand)$ |

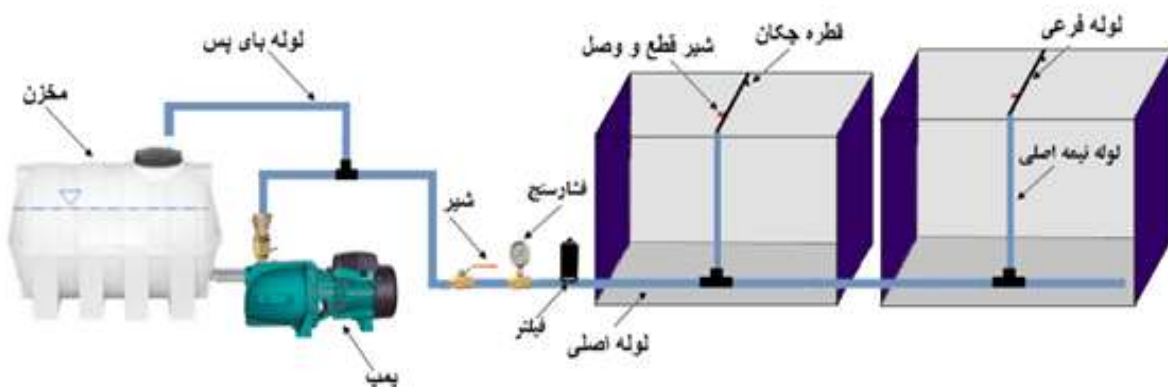
متر درجه‌بندی گردید. به منظور جلوگیری از جریان‌ات ترجیحی در حین آزمایش، با استفاده از مالیدن جلا رنگ بر روی سطح پلی‌کربنات و سپس پاشیدن شن‌های زبر بر روی آن یک سطح نسبتاً زبر ایجاد گردید. با توجه به این که وزن خاک داخل این محفظه زیاد بود، به منظور جلوگیری از ایجاد انحنا در پلی‌کربنات، صفحه جلویی مدل‌ها با استفاده از پروفیل فلزی مهار شدند. شکل ۳ نمایی از مدل‌های فیزیکی را نشان می‌دهد.

در جدول ذکر شده (t) زمان، (Q) دبی قطره‌چکان، (k_s) هدایت هیدرولیکی اشباع، (Sand) درصد شن، (Silt) درصد سیلت، (Clay) درصد رس، (ρ_b) چگالی ظاهری خاک، (θ_i) رطوبت اولیه خاک و (S) درصد شیب زمین می‌باشد.

روش انجام آزمایش

این تحقیق در محوطه آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان صورت پذیرفت. در این تحقیق، برای شبیه‌سازی جبهه پیشروی رطوبت در خاک در آبیاری قطره‌ای سطحی در اراضی شیب‌دار دو مدل فیزیکی به شکل مکعب مستطیل یکی به ابعاد $1/20 \times 1/20 \times 1/6$ متر (به ترتیب عرض، طول و ارتفاع) و دیگری به ابعاد $1/20 \times 1/40 \times 1/7$ متر ساخته شد. از مدل کوچک‌تر برای انجام آزمایش‌ها با دبی کمتر و از مدل بزرگ‌تر برای آزمایش‌ها با دبی بیشتر استفاده شد. به منظور مشاهده و اندازه‌گیری جبهه پیشروی رطوبت در خاک، صفحه جلویی مدل‌ها از جنس پلی‌کربنات شفاف و سایر قسمت‌های آنها از جنس فلز ساخته شد. برای محاسبه جبهه پیشروی رطوبت در جهات مختلف، قسمت جلویی مدل‌ها به وسیله

برای طراحی سیستم آبیاری، آب از یک مخزن ۲۰۰ لیتری به وسیله پمپ منتقل و از لوله پلی‌اتیلن ۳۲ میلی‌متری برای لوله اصلی، ۲۰ میلی‌متری برای نیمه اصلی و ۱۶ میلی‌متری برای لوله‌های فرعی استفاده شد. در مسیر انتقال آب از شیر فلکه، فشارسنج (برای تنظیم فشار در محدوده فشار کارکرد قطره‌چکان) و شیر قطع و وصل جریان استفاده شد. همچنین به منظور کم کردن فشار وارده بر سیستم، یک لوله بای‌پس نصب گردید. کلیه آزمایش‌ها در فشار ثابت ۲ بار انجام شد. با توجه به این که قطره‌چکان رایج در منطقه، قطره‌چکان نتافیم می‌باشد و عمومیت بیش‌تری دارد، از این نوع قطره‌چکان استفاده شد.



شکل ۳- نمایی از مدل و اتصالات مربوطه برای انجام آزمایش‌ها

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه

| نمونه خاک | درصد رس | درصد سیلت | درصد شن | بافت خاک | k_s (cm/hr) | ρ_b (gr/cm ³) |
|------------|---------|-----------|---------|-------------|---------------|--------------------------------|
| بافت سنگین | ۴۵ | ۲۸ | ۲۷ | رسی | ۰/۷ | ۱/۳۴ |
| بافت متوسط | ۳۰ | ۱۵ | ۵۵ | لوم رسی شنی | ۱/۰۴ | ۱/۴ |
| بافت سبک | ۱۱ | ۱۰ | ۷۹ | لوم شنی | ۳/۳۵ | ۱/۵۲ |

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (۶)$$

که در آن‌ها؛ O_i و \bar{O} به ترتیب مقادیر مشاهداتی و میانگین مقادیر مشاهداتی، P_i مقادیر پیش‌بینی شده و N تعداد داده‌ها هستند.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به مقادیر مساحت جبهه‌ی رطوبتی در قسمت پایین‌دست و بالادست قطره‌چکان در تیمارهای مختلف در جدول ۳ نشان داد شده است. همان‌طور که از اعداد جدول مشخص است مساحت پایین‌دست و بالادست قطره‌چکان در حالت مسطح تقریباً با هم برابر هستند ولی با افزایش شیب زمین مساحت پایین‌دست افزایش و مساحت بالادست کاهش یافته است. این نتایج با نتایج به دست آمده توسط حیدری و همکاران (۱۳۹۴) و همچنین محمدی و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت دارد. همچنین با افزایش دبی در هر سه بافت سنگین، متوسط و سبک مساحت خیس‌شدگی افزایش یافته است. مقادیر ارائه شده در جدول ۳ می‌تواند به عنوان یک دستورالعمل اولیه در اراضی شیبدار برای اهداف طراحی استفاده گردد.

پارامترهای آماری محاسبه شده برای مقادیر مساحت جبهه‌ی رطوبتی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی در راضی شیب‌دار در جدول ۴ آورده شده است. در این جدول ساختار مثلاً ۴-۹-۱ به ترتیب از چپ به راست، چهار ورودی، نه گره پنهان و یک خروجی را نشان می‌دهد. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهند که مدل مقادیر R^2 را برای دوره آموزش برای الگوی چهار ورودی در مساحت پایین‌دست، بالادست و مساحت کل به ترتیب ۰/۹۹۵، ۰/۹۹۵ و ۰/۹۹۶، برای تعداد شش ورودی به ترتیب ۰/۹۹۶، ۰/۹۹۵ و ۰/۹۹۷ و برای الگوی نه ورودی به ترتیب ۰/۹۹۶، ۰/۹۹۶ و ۰/۹۹۷ تخمین زده است. مقادیر RMSE برای دوره آموزش برای الگوی چهار ورودی در مساحت پایین‌دست، بالادست و مساحت کل به ترتیب ۳۲/۶۴، ۱۹/۴۸ و ۴۷/۰۲ سانتی‌متر مربع، برای الگوی شش ورودی به ترتیب ۲۸/۸۷، ۱۹/۷۶ و ۴۰/۱۸ سانتی‌متر مربع و برای الگوی نه ورودی به ترتیب ۳۰/۷۸، ۱۸/۸۴ و ۳۵/۹۹ سانتی‌متر مربع بوده است.

دانه‌بندی خاک‌های مورد مطالعه در این تحقیق با روش هیدرومتری به دست آمد. با توجه به آزمایش‌های انجام شده، درصد شن، سیلت و رس برای سه بافت در جدول ۲ آورده شده است. در این تحقیق آزمایش‌ها برای چهار شیب مختلف (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد)، سه نوع خاک با بافت مختلف (سبک، متوسط، سنگین)، با سه نوع دبی قطره‌چکان (۲، ۴ و ۶ لیتر در ساعت)، در مدت زمان آبیاری ۳ ساعت صورت پذیرفت. در این پژوهش، سطح خاک در داخل مدل مکعبی شیب‌بندی (مطابق با شیب‌های ذکر شده) گردید. همچنین در زمان‌های مختلف آبیاری (۱، ۳، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه از شروع آزمایش‌ها) جبهه پیشروی رطوبت ترسیم گردید. بعد از انجام هر آزمایش، از مدل عکس‌هایی تهیه شد و به کمک آن‌ها و با استفاده از نرم‌افزار گرافر، مختصات کلیه نقاط جبهه پیشروی استخراج گردید. سپس با در اختیار داشتن مختصات نقاط و همچنین با استفاده از نرم‌افزار اتوکد، مساحت خیس شده بالا و پائین قطره‌چکان محاسبه گردید.

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی و سنجش اعتبار مدل‌ها، از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) به ترتیب از روابط (۲) تا (۴) استفاده شد:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{O})^2} \quad (۲)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right]^{0.5} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \left| \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \right| \quad (۴)$$

$$CRM = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (P_i)}{\sum_{i=1}^N (O_i)} \right) \quad (۵)$$

جدول ۳- مساحت جبهه‌ی رطوبتی در قسمت پایین دست و بالا دست قطره‌چکان در تیمارهای مختلف

| شیب زمین (درصد) | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| ۰ | | | | | | | | | |
| ۱۰ | | | | | | | | | |
| ۲۰ | | | | | | | | | |
| ۳۰ | | | | | | | | | |
| مساحت جبهه رطوبتی (سانتی متر مربع) | | | | | | | | | |
| بافت خاک | دبی (lit/h) | پایین دست | بالا دست | پایین دست | بالا دست | پایین دست | بالا دست | پایین دست | بالا دست |
| | ۲ | ۴۴۱/۹۴ | ۴۲۰/۳۹ | ۵۰۳/۱۳ | ۳۳۴/۱۰ | ۵۷۱/۴۶ | ۲۲۶/۴۸ | ۵۸۴/۷۱ | ۱۸۹/۱۰ |
| سنگین | ۴ | ۷۱۵/۵۳ | ۶۹۲/۲۲ | ۸۳۶/۲۹ | ۵۵۱/۷۵ | ۹۸۰/۲۰ | ۳۵۷/۴۰ | ۹۶۶/۸۳ | ۲۳۶/۱۶ |
| | ۶ | ۹۸۹/۱۲ | ۹۶۴/۰۴ | ۱۱۶۹/۴۵ | ۷۶۹/۴۵ | ۱۲۰۹/۶۵ | ۴۸۸/۳۲ | ۱۳۴۸/۹۵ | ۳۳۷/۲۲ |
| | ۲ | ۴۷۰/۶۱ | ۴۹۱/۱۶ | ۵۰۳/۷۳ | ۴۴۷/۳۴ | ۵۶۵/۱۱ | ۴۲۵/۴۷ | ۵۶۹/۴۵ | ۳۴۸/۹۴ |
| متوسط | ۴ | ۷۵۸/۳۴ | ۸۲۲/۴۶ | ۸۷۲/۶۶ | ۶۳۹/۶۵ | ۹۴۶/۲۲ | ۵۱۱/۳۷ | ۱۰۲۲/۹۷ | ۴۵۶/۸۰ |
| | ۶ | ۱۰۷۹/۰۹ | ۱۰۴۱/۳۱ | ۱۱۴۴/۲۸ | ۸۲۹/۹۲ | ۱۳۳۶/۳۹ | ۸۰۵/۳۱ | ۱۳۸۷/۲۷ | ۶۸۸/۶۰ |
| | ۲ | ۶۰۷/۰۳ | ۵۹۵/۴۰ | ۶۵۵/۹۵ | ۵۶۶/۱۶ | ۷۰۶/۲۸ | ۵۰۶/۸۹ | ۷۵۷/۶۹ | ۴۰۳/۹۶ |
| سبک | ۴ | ۹۷۸/۷۸ | ۹۳۷/۹۸ | ۱۰۳۳/۵۴ | ۷۹۹/۸۵ | ۱۱۴۲/۲۸ | ۶۶۷/۲۲ | ۱۱۴۵/۵۲ | ۵۳۱/۷۸ |
| | ۶ | ۱۲۸۶/۲۵ | ۱۲۱۸/۶۵ | ۱۳۹۳/۴۲ | ۱۰۸۴/۸۳ | ۱۴۸۸/۱۶ | ۹۱۳/۳۴ | ۱۷۵۵/۴۲ | ۸۱۶/۵۵ |

تست حاکی از این است که مدل در پیش‌بینی مساحت بالادست نسبت به مساحت پایین دست و مساحت کل عملکرد بهتری داشته است. از دیگر نتایج به دست آمده از جدول ۴ این است که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی در حالت نه ورودی نسبت به حالت‌های چهار و شش ورودی دارای عملکرد نسبتاً بهتری می‌باشد، چرا که در این حالت مدل اطلاعات بیش تر و در نتیجه شناخت بهتری از محیط خاک دارد.

در جداول ۵ تا ۷ مقادیر پارامترهای آماری برای مساحت جبهه‌ی رطوبتی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی در بافت‌های سنگین، متوسط و سبک ارائه شده است. نتایج جدول ۵ پارامترهای آماری را برای مساحت پایین دست جبهه‌ی رطوبتی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی در سه نوع بافت سنگین، متوسط و سبک نشان می‌دهد.

نتایج جدول ۵ برای مساحت پایین دست نشان می‌دهند که با استفاده از الگوی چهار ورودی، مقادیر MAE ، $RMSE$ ، R^2 و NS در بافت سنگین به ترتیب بین ۰/۹۷۸ تا ۰/۹۹۷، ۱۶/۲۶ تا ۵۶/۶۳ سانتی متر مربع، ۱۳/۱۱ تا ۴۰/۷۱ سانتی متر مربع، ۰/۹۵۷ تا ۰/۹۹۵ نوسان می‌کند. این مقادیر برای الگوی شش ورودی به ترتیب بین ۰/۹۷۹ تا ۰/۹۹۷، ۱۳/۱۵ تا ۵۲/۹۸ سانتی متر مربع، ۱۰/۹۸ تا ۳۶/۹۶ سانتی متر مربع و ۰/۹۷۳ تا ۰/۹۹۷ متغیر است و همچنین برای الگوی نه ورودی این مقادیر به ترتیب بین ۰/۹۹۳ تا ۰/۹۹۷، ۱۴/۶۶ تا ۴۴/۱۲ سانتی متر مربع، ۱۲/۰۳ تا ۳۴/۱۱ سانتی متر مربع و ۰/۹۸۲ تا ۰/۹۹۶ در نوسان می‌باشند.

همچنین مقادیر MAE برای دوره آموزش برای الگوی چهار ورودی در مساحت پایین دست، بالادست و مساحت کل به ترتیب ۲۲/۶۱، ۲۴/۸۲ و ۳۱/۹۶ سانتی متر مربع، برای الگوی شش ورودی به ترتیب ۱۹/۴۱، ۱۴/۶۵ و ۲۹/۳۱ سانتی متر مربع و برای الگوی نه ورودی به ترتیب ۲۰/۶۵، ۱۲/۲۸ و ۲۷/۲۲ سانتی متر مربع بوده است. این مدل مقادیر R^2 را برای دوره تست برای الگوی چهار ورودی در مساحت پایین دست، بالادست و مساحت کل به ترتیب ۰/۹۹۴، ۰/۹۹۴ و ۰/۹۹۶، برای الگوی شش ورودی به ترتیب ۰/۹۹۵، ۰/۹۹۴ و ۰/۹۹۷، برای الگوی نه ورودی به ترتیب ۰/۹۹۵، ۰/۹۹۳ و ۰/۹۹۷ تخمین زده است. بر طبق داده‌های این جدول مقادیر $RMSE$ برای دوره تست برای الگوی چهار ورودی در مساحت پایین دست، بالادست و مساحت کل به ترتیب ۳۴/۹۰، ۲۹/۱۲ و ۴۷/۰۲ سانتی متر مربع، برای الگوی شش ورودی به ترتیب ۳۱/۹۰، ۲۸/۰۴ و ۴۱/۹۳ سانتی متر مربع و برای الگوی نه ورودی به ترتیب ۳۱/۵۳، ۲۶/۸۷ و ۴۰/۰۸ سانتی متر مربع بوده است. همچنین مقادیر MAE برای دوره تست برای الگوی چهار ورودی در مساحت پایین دست، بالادست و مساحت کل به ترتیب ۲۴/۷۴، ۲۳/۸۷ و ۲۷/۷۸ سانتی متر مربع، برای تعداد شش ورودی به ترتیب ۲۰/۱۴، ۲۳/۴۲ و ۲۹/۰۴ سانتی متر مربع و برای الگوی نه ورودی به ترتیب ۲۱/۳۷، ۲۱/۹۷ و ۳۱/۴۵ سانتی متر مربع بوده است. نتایج مقادیر آماره‌های عملکردی مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی در برآورد مساحت پایین دست، بالادست و مساحت کل جبهه‌ی رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی در اراضی شبیدار نشان دهنده عملکرد خوب این مدل می‌باشد. همچنین مقادیر $RMSE$ در جدول ۴ هم در مرحله آموزش و هم در مرحله

جدول ۴- پارامترهای آماری محاسبه شده برای مقادیر مساحت جبهه‌ی رطوبتی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی

| تست | آموزش | | | تعداد ورودی | ساختار | مساحت | | |
|-------|------------------------|-------------------------|----------------|-------------|--------|--------|------------------------|-------------------------|
| | MAE (cm ²) | RMSE (cm ²) | R ² | | | | MAE (cm ²) | RMSE (cm ²) |
| ۲۴/۷۴ | ۳۴/۹۰ | ۰/۹۹۴ | ۲۲/۶۱ | ۳۲/۶۴ | ۰/۹۹۵ | ۱-۹-۴ | ۴ | پایین دست |
| ۲۰/۱۴ | ۳۱/۹۰ | ۰/۹۹۵ | ۱۹/۴۱ | ۲۸/۸۷ | ۰/۹۹۶ | ۱-۵-۶ | ۶ | |
| ۲۱/۳۷ | ۳۱/۵۳ | ۰/۹۹۵ | ۲۰/۶۵ | ۳۰/۷۸ | ۰/۹۹۶ | ۱-۶-۹ | ۹ | |
| ۲۳/۸۷ | ۲۹/۱۲ | ۰/۹۹۴ | ۱۹/۴۸ | ۲۴/۸۲ | ۰/۹۹۴ | ۱-۴-۴ | ۴ | بالادست |
| ۲۳/۴۲ | ۲۸/۰۴ | ۰/۹۹۴ | ۱۴/۶۵ | ۱۹/۷۶ | ۰/۹۹۵ | ۱-۱۰-۶ | ۶ | |
| ۲۱/۹۷ | ۲۶/۸۷ | ۰/۹۹۳ | ۱۲/۲۸ | ۱۸/۸۴ | ۰/۹۹۶ | ۱-۱۰-۹ | ۹ | |
| ۲۷/۷۸ | ۴۷/۰۲ | ۰/۹۹۶ | ۳۱/۹۶ | ۴۲/۷۰ | ۰/۹۹۶ | ۱-۹-۴ | ۴ | کل |
| ۲۹/۰۴ | ۴۱/۹۳ | ۰/۹۹۷ | ۲۹/۳۱ | ۴۰/۱۸ | ۰/۹۹۷ | ۱-۵-۶ | ۶ | |
| ۳۱/۴۵ | ۴۰/۰۸ | ۰/۹۹۷ | ۲۷/۲۲ | ۳۵/۹۹ | ۰/۹۹۷ | ۱-۸-۹ | ۹ | |

۰/۹۸۸ تا ۰/۹۹۷، ۱۹/۳۷ تا ۳۶/۵۶ سانتی‌متر مربع، ۱۴/۹۰ تا ۲۳/۷۲ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۹۰ تا ۰/۹۹۶ در نوسان می‌باشند. مقادیر CRM در این بافت در نیمی از تیمارها دارای مقادیری منفی و نیمی دیگر دارای مقادیر مثبتی بودند. با توجه به مقادیر به دست آمده برای ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا و خطای مطلق می‌توان فهمید که این مدل توانایی خوبی در برآورد مساحت پایین‌دست جبهه‌ی رطوبتی در آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار در سه بافت سنگین، متوسط و سبک را دارد. همچنین با مقایسه و تحلیل داده‌ها برای تعداد ورودی‌های متفاوت و در شیب‌های مختلف این نتیجه حاصل می‌شود که هر چه تعداد مقادیر ورودی بیشتر باشد مدل می‌تواند با دقت بالاتری مساحت جبهه‌ی رطوبتی را پیش‌بینی نماید. بر طبق نتایج جدول ۶ برای مساحت بالادست با استفاده از الگوی چهار ورودی، کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار R^2 ، RMSE، MAE و NS در بافت سنگین به ترتیب ۰/۹۷۰، ۰/۹۹۶، ۱۶/۶۳ و ۳۲/۷۳ سانتی‌متر مربع، ۱۲/۷۶ و ۲۳/۲۰ سانتی‌متر مربع، ۰/۹۹۵ و ۰/۹۰۳ می‌باشد. این مقادیر برای الگوی شش ورودی به ترتیب بین ۰/۹۸۱ تا ۰/۹۹۴، ۱۲/۹۹ تا ۳۳/۱۱ سانتی‌متر مربع، ۱۰/۶۱ تا ۲۰/۴۵ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۷۱ تا ۰/۹۹۴ نوسان می‌کنند و همچنین برای الگوی نه ورودی این مقادیر به ترتیب بین ۰/۹۷۹ تا ۰/۹۹۷، ۱۰/۵۴ تا ۳۱/۱۹ سانتی‌متر مربع، ۹/۳۸ تا ۱۹/۰۲ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۷۴ تا ۰/۹۹۷ در نوسان می‌باشند. در این بافت مقادیر CRM در نیمی از تیمارها دارای مقادیری منفی و نیمی دیگر دارای مقادیر مثبتی بودند. این نتایج نشان دادند که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی توانسته است مساحت بالادست جبهه‌ی رطوبتی در بافت سنگین را به شکل قابل قبولی شبیه‌سازی نماید. همچنین با توجه به نتایج جدول ۶ برای مساحت بالادست با استفاده از الگوی چهار ورودی، مقادیر R^2 ، RMSE، MAE و NS در بافت متوسط به ترتیب بین ۰/۹۸۱ تا ۰/۹۹۳، ۲۱/۹۳ تا ۲۹/۸۷ سانتی‌متر مربع، ۱۹/۱۵ تا ۲۱/۹۳ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۹۳ تا ۰/۹۹۶ نوسان می‌کنند. این مقادیر برای الگوی شش ورودی به ترتیب بین ۰/۹۹۲ تا ۰/۹۹۶، ۲۵/۹۲ تا ۳۵/۷۲ سانتی‌متر مربع، ۱۹/۹۱ تا ۲۱/۵۶ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۹۱ تا ۰/۹۹۶ قرار دارند و همچنین برای الگوی نه ورودی این مقادیر به ترتیب بین

در پنج تیمار مقادیر مربوط به CRM مثبت بوده که نشان‌دهنده‌ی کم برآوردی مدل در این تیمارها می‌باشد و این شاخصه آماری در بقیه تیمارها مقادیری منفی بوده که بیش‌برآوردی مدل را در این تیمارها نشان می‌دهد. این نتایج نشان دادند که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی توانسته است مساحت پایین‌دست جبهه‌ی رطوبتی در بافت سنگین را به شکل قابل قبولی شبیه‌سازی نماید. همچنین بر طبق نتایج جدول (۵) برای مساحت پایین‌دست با استفاده از الگوی چهار ورودی، مقادیر R^2 ، RMSE، MAE و NS در بافت متوسط به ترتیب بین ۰/۹۸۷ تا ۰/۹۹۷، ۱۷/۲۹ تا ۴۲/۷۸ سانتی‌متر مربع، ۱۲/۰۶ تا ۲۷/۹۴ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۹۰ تا ۰/۹۴۵ نوسان می‌کند. این مقادیر برای الگوی شش ورودی به ترتیب بین ۰/۹۸۹ تا ۰/۹۹۷، ۱۵/۵۲ تا ۳۵/۳۷ سانتی‌متر مربع، ۱۲/۳۸ تا ۲۱/۲۴ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۸۹ تا ۰/۹۹۷ متغیر هستند و همچنین برای الگوی نه ورودی این مقادیر به ترتیب بین ۰/۹۹۲ تا ۰/۹۹۶، ۱۳/۸۷ تا ۳۶ سانتی‌متر مربع، ۱۰/۸۹ تا ۲۵/۸۱ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۸۹ تا ۰/۹۹۷ در نوسان می‌باشند. در بافت متوسط نیز همانند بافت سنگین در پنج تیمار مقادیر مربوط به CRM مثبت بوده که نشان‌دهنده‌ی کم برآوردی مدل در این تیمارها می‌باشد و این شاخصه آماری در بقیه تیمارها مقادیری منفی بوده که بیش‌برآوردی مدل را در این تیمارها نشان می‌دهد. از این نتایج استنباط می‌شود که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی در بافت متوسط نیز برای شبیه‌سازی مساحت پایین‌دست جبهه‌ی رطوبتی در آبیاری قطره‌ای عملکرد خوبی داشته است. مطابق با نتایج جدول ۵ برای مساحت پایین‌دست در الگوی چهار ورودی، مقادیر R^2 ، RMSE، MAE و NS در بافت سبک به ترتیب بین ۰/۹۹۴ تا ۰/۹۹۶، ۲۵/۶۸ تا ۲۹/۸۷ سانتی‌متر مربع، ۱۹/۱۵ تا ۲۱/۹۳ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۹۳ تا ۰/۹۹۶ نوسان می‌کنند. این مقادیر برای الگوی شش ورودی به ترتیب بین ۰/۹۹۲ تا ۰/۹۹۶، ۲۵/۹۲ تا ۳۵/۷۲ سانتی‌متر مربع، ۱۹/۹۱ تا ۲۱/۵۶ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۹۱ تا ۰/۹۹۶ قرار دارند و همچنین برای الگوی نه ورودی این مقادیر به ترتیب بین

جدول ۵. پارامترهای آماری محاسبه شده برای مقادیر مساحت پایین دست چپ‌تری رطوبتی اندازه‌گیری شده و شبه‌سازی شده با شبکه عصبی مصنوعی

| مساحت پایین دست | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|------------------------|-------------------------|----------------|-------|---------|------------------------|-------------------------|----------------|-------|---------|------------------------|-------------------------|----------------|-----|-------------|
| متوسط | | | | | سنگین | | | | | | | | | | | |
| NS | CRM | MAE (cm ²) | RMSE (cm ²) | R ² | NS | CRM | MAE (cm ²) | RMSE (cm ²) | R ² | NS | CRM | MAE (cm ²) | RMSE (cm ²) | R ² | شیب | تعداد ورودی |
| ۰/۹۹۳ | -۰/۰۲۳۳ | ۱۹/۱۵ | ۳۷/۰۷ | ۰/۹۹۵ | ۰/۹۹۰ | -۰/۰۵۰۰ | ۱۹/۷۱ | ۳۶/۶۲ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۹۵ | -۰/۰۳۳۲ | ۱۳/۱۱ | ۱۶/۳۶ | ۰/۹۹۷ | ۰ | |
| ۰/۹۹۳ | -۰/۰۲۳۳ | ۳۱/۷۳ | ۳۹/۸۷ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۹۵ | -۰/۰۰۳۳ | ۱۳/۰۶ | ۱۷/۳۹ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۲ | -۰/۰۲۰۳ | ۱۸/۷۷ | ۲۵/۰۲ | ۰/۹۹۳ | ۱۰ | ۴ |
| ۰/۹۹۴ | -۰/۰۰۱۵ | ۲۰/۹۰ | ۳۹/۳۹ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۸۷ | -۰/۰۳۷۳ | ۲۵/۸۹ | ۳۷/۹۱ | ۰/۹۹۳ | ۰/۹۹۱ | -۰/۰۱۳۴ | ۱۸/۳۴ | ۲۳/۵۳ | ۰/۹۹۴ | ۲۰ | |
| ۰/۹۹۶ | -۰/۰۰۴۱ | ۲۱/۹۳ | ۲۵/۶۸ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۸۴ | -۰/۰۴۵۶ | ۲۷/۹۴ | ۳۲/۷۸ | ۰/۹۸۷ | ۰/۹۵۷ | -۰/۰۲۱۳ | ۴۰/۷۱ | ۵۶/۶۳ | ۰/۹۷۸ | ۳۰ | |
| ۰/۹۹۴ | -۰/۰۲۳۳ | ۲۱/۷۴ | ۳۹/۸۷ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۹۳ | -۰/۰۰۰۳ | ۱۶/۳۷ | ۲۱/۹۸ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۹۷ | -۰/۰۰۶۴ | ۱۰/۹۸ | ۱۳/۱۵ | ۰/۹۹۷ | ۰ | |
| ۰/۹۹۵ | -۰/۰۲۰۱ | ۲۰/۷۸ | ۳۴/۸۳ | ۰/۹۹۵ | ۰/۹۹۷ | -۰/۰۰۵۱ | ۱۳/۳۸ | ۱۵/۵۳ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۱ | -۰/۰۱۲۸ | ۲۰/۳۴ | ۲۵/۸۸ | ۰/۹۹۲ | ۱۰ | ۶ |
| ۰/۹۹۱ | -۰/۰۱۲۷ | ۳۳/۵۶ | ۳۵/۷۳ | ۰/۹۹۲ | ۰/۹۹۳ | -۰/۰۱۳۸ | ۱۸/۵۵ | ۲۶/۴۶ | ۰/۹۹۴ | ۰/۹۸۹ | -۰/۰۰۰۵ | ۲۶/۱۱ | ۳۱/۳۹ | ۰/۹۹۰ | ۲۰ | |
| ۰/۹۹۶ | -۰/۰۰۳۵ | ۱۹/۹۱ | ۲۵/۹۳ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۸۹ | -۰/۰۰۲۵ | ۲۱/۳۴ | ۲۵/۳۷ | ۰/۹۸۹ | ۰/۹۷۳ | -۰/۰۳۴۶ | ۲۶/۹۶ | ۵۲/۹۸ | ۰/۹۷۹ | ۳۰ | |
| ۰/۹۹۶ | -۰/۰۰۵۷ | ۱۳/۹۰ | ۱۹/۳۷ | ۰/۹۸۸ | ۰/۹۹۳ | -۰/۰۰۹۵ | ۲۵/۸۱ | ۳۳/۶۷ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۹۶ | -۰/۰۰۱۳ | ۱۳/۰۳ | ۱۳/۶۶ | ۰/۹۹۴ | ۰ | |
| ۰/۹۹۶ | -۰/۰۰۵۶ | ۱۶/۵۰ | ۲۰/۵۶ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۷ | -۰/۰۰۲۳ | ۱۰/۸۹ | ۱۳/۸۷ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۲ | -۰/۰۱۵۴ | ۱۸/۴۰ | ۳۴/۵۷ | ۰/۹۹۷ | ۱۰ | ۹ |
| ۰/۹۹۰ | -۰/۰۱۹۸ | ۳۳/۷۳ | ۳۶/۵۴ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۰ | -۰/۰۴۱۶ | ۲۱/۹۱ | ۳۳/۳۷ | ۰/۹۹۲ | ۰/۹۹۴ | -۰/۰۳۳۳ | ۱۹/۳۱ | ۲۳/۰۹ | ۰/۹۹۵ | ۲۰ | |
| ۰/۹۹۵ | -۰/۰۰۶۴ | ۲۳/۳۳ | ۲۹/۷۰ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۸۹ | -۰/۰۱۰۲ | ۲۳/۳۱ | ۲۶ | ۰/۹۹۲ | ۰/۹۸۲ | -۰/۰۰۴۵ | ۳۴/۱۱ | ۴۴/۱۲ | ۰/۹۹۳ | ۳۰ | |

جدول ۶. پارامترهای آماری محاسبه شده برای مقادیر مساحت بالادست جبهه‌ی رطوبتی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی مصنوعی

| مساحت بالا دست | | | | | | | | | | | | |
|----------------|----------|------------------------|-------------------------|----------------|-------|----------|------------------------|-------------------------|----------------|-------|-------------|----|
| متوسط | | | | | سنگین | | | | | | | |
| NS | CRM | MAE (cm ³) | RMSE (cm ³) | R ² | NS | CRM | MAE (cm ³) | RMSE (cm ³) | R ² | شیب | تعداد ورودی | |
| ۰/۹۹۰ | -۰/۰۲۳۴ | ۳۲/۳۹ | ۳۲/۴۰ | ۰/۹۹۰ | ۰/۹۹۳ | -۰/۰۰۳۳ | ۱۶/۶۹ | ۲۱/۹۴ | ۰/۹۹۳ | ۱۶/۶۳ | ۰/۹۹۶ | ۰ |
| ۰/۹۸۷ | -۰/۰۰۳۷ | ۳۲/۱۲ | ۳۰/۴۵ | ۰/۹۸۷ | ۰/۹۴۸ | -۰/۰۰۱۹ | ۱۷/۷۳ | ۳۲/۵۷ | ۰/۹۹۰ | ۳۲/۴۰ | ۰/۹۸۸ | ۴ |
| ۰/۹۸۷ | -۰/۰۰۵۶۴ | ۲۰/۶۲ | ۲۶/۶۸ | ۰/۹۹۱ | ۰/۹۸۲ | -۰/۰۰۳۸۲ | ۱۹/۱۲ | ۲۵/۳۴ | ۰/۹۸۷ | ۲۶/۹۲ | ۰/۹۷۰ | ۲۰ |
| ۰/۹۸۸ | -۰/۰۰۳۶۹ | ۱۷/۶۱ | ۲۲/۳۴ | ۰/۹۸۸ | ۰/۹۷۹ | -۰/۰۰۳۵ | ۱۹/۱۱ | ۲۲/۱۵ | ۰/۹۸۱ | ۱۹/۷۰ | ۰/۹۷۳ | ۳۰ |
| ۰/۹۹۲ | -۰/۰۰۵۷ | ۲۰/۷۱ | ۲۸/۰۴ | ۰/۹۹۲ | ۰/۹۸۷ | -۰/۰۰۵۹ | ۲۲/۳۳ | ۲۹/۶۴ | ۰/۹۹۱ | ۱۲/۳۲ | ۰/۹۹۴ | ۰ |
| ۰/۹۸۹ | -۰/۰۰۲۵۶ | ۲۲/۰۸ | ۲۸/۳۹ | ۰/۹۸۹ | ۰/۹۹۴ | -۰/۰۰۱۳۴ | ۱۲/۵۲ | ۱۵/۷۸ | ۰/۹۹۴ | ۲۰/۴۵ | ۰/۹۸۱ | ۶ |
| ۰/۹۹۵ | -۰/۰۰۱۱۸ | ۱۱/۴۲ | ۱۵/۱۹ | ۰/۹۹۵ | ۰/۹۹۳ | -۰/۰۰۳۳ | ۱۲/۳۵ | ۱۵/۷۲ | ۰/۹۹۲ | ۱۵/۶۶ | ۰/۹۸۵ | ۲۰ |
| ۰/۹۹۲ | -۰/۰۰۱۸۳ | ۱۳/۰۸ | ۱۶/۵۹ | ۰/۹۹۲ | ۰/۹۸۰ | -۰/۰۰۲۲۱ | ۱۶/۶۸ | ۲۲/۷۸ | ۰/۹۸۱ | ۱۰/۶۱ | ۰/۹۸۹ | ۳۰ |
| ۰/۹۹۳ | -۰/۰۰۹۳ | ۱۷/۹۳ | ۲۶/۳۸ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۵ | -۰/۰۰۱۴۰ | ۱۸/۸۲ | ۲۴/۲۴ | ۰/۹۹۱ | ۹/۳۸ | ۰/۹۹۷ | ۰ |
| ۰/۹۹۰ | -۰/۰۰۳۳ | ۱۹/۰۳ | ۲۵/۸۰ | ۰/۹۹۸ | ۰/۹۹۴ | -۰/۰۰۸۹ | ۱۵/۱۵ | ۱۱/۸۷ | ۰/۹۹۶ | ۱۹/۰۲ | ۰/۹۸۰ | ۱۰ |
| ۰/۹۹۳ | -۰/۰۰۱۰۸ | ۱۳/۶۸ | ۱۷/۸۷ | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۴ | -۰/۰۰۴۱ | ۱۱/۳۹ | ۱۲/۵۹ | ۰/۹۹۲ | ۱۳/۴۰ | ۰/۹۷۹ | ۲۰ |
| ۰/۹۸۱ | -۰/۰۰۲۳۳ | ۱۸/۹۱ | ۲۵/۷۴ | ۰/۹۹۰ | ۰/۹۸۱ | -۰/۰۰۳۳۱ | ۲۲/۳۱ | ۲۶/۰۱ | ۰/۹۹۲ | ۸/۸۴ | ۰/۹۸۵ | ۳۰ |

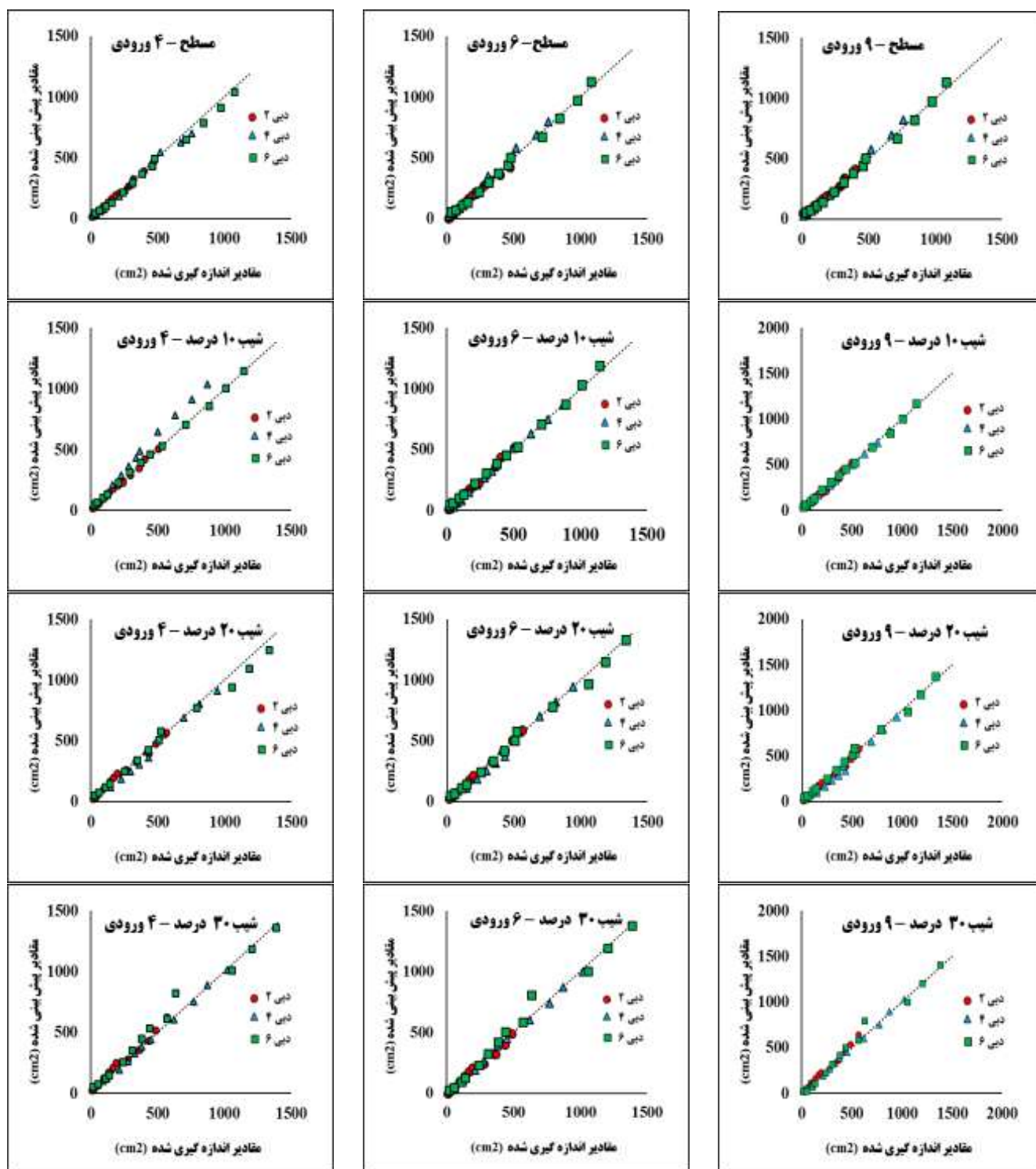
این مقادیر به ترتیب بین ۰/۹۹۱ تا ۰/۹۹۶، ۱۱/۹۷ تا ۳۶ سانتی‌متر مربع، ۱۱/۲۹ تا ۲۳/۳۱ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۸۱ تا ۰/۹۹۵ در نوسان می‌باشند. در پنج تیمار مقادیر مربوط به CRM مثبت بوده که

این مقادیر برای الگوی شش ورودی به ترتیب بین ۰/۹۸۱ تا ۰/۹۹۴، ۱۵/۷۲ تا ۲۹/۶۴ سانتی‌متر مربع، ۱۲/۴۵ تا ۲۳/۴۳ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۸۰ تا ۰/۹۹۴ متغیر است و همچنین برای الگوی نه ورودی

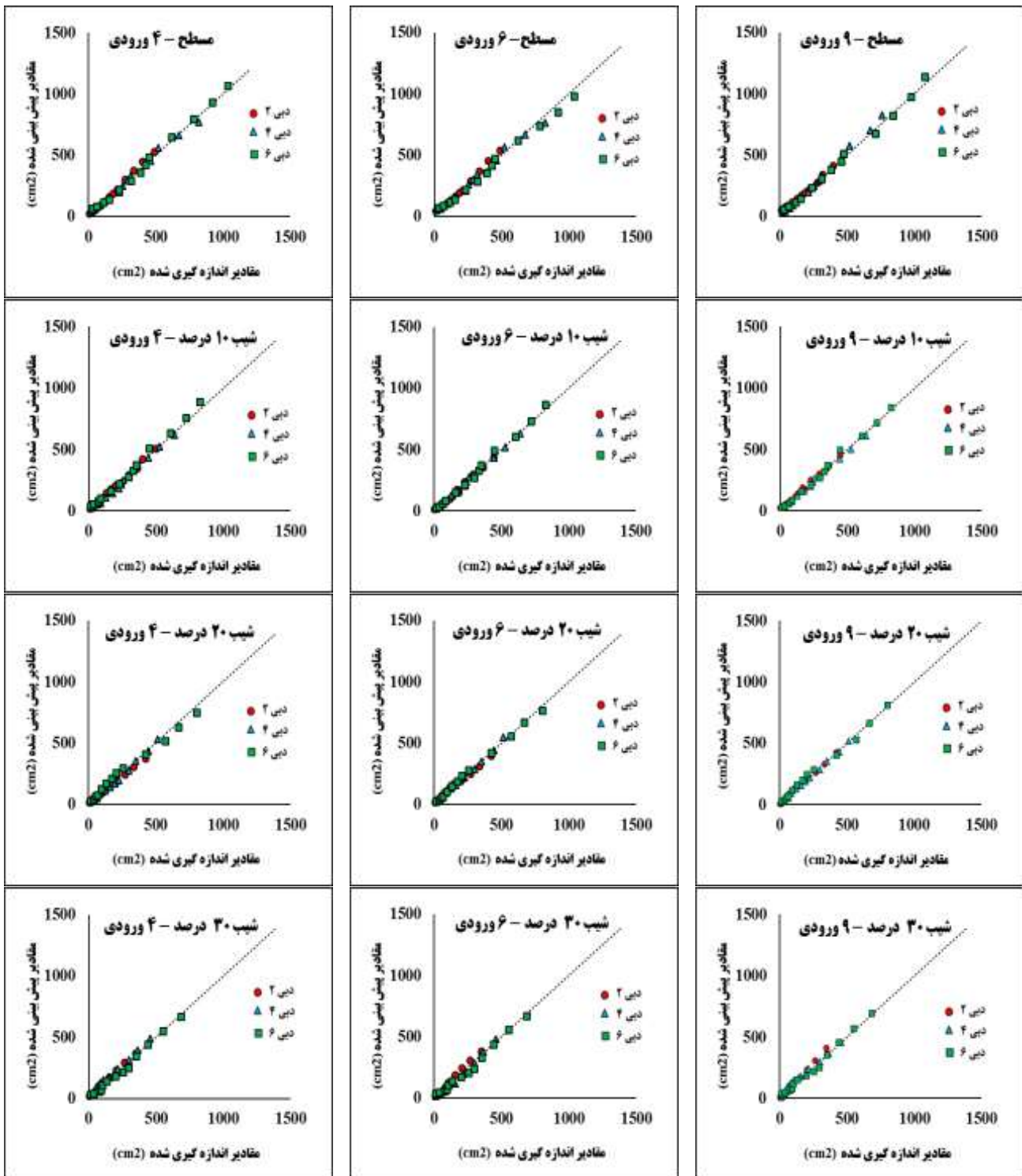
۰/۹۹۲ تا ۰/۹۹۷، ۳۱/۹۰ تا ۵۷/۰۱ سانتی‌متر مربع، ۲۲/۹۲ تا ۴۰/۷۶ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۷۳ تا ۰/۹۹۳ قرار دارند. این مقادیر برای الگوی شش ورودی به ترتیب بین ۰/۹۹۴ تا ۰/۹۹۸، ۳۴/۳۹ تا ۳۴/۳۹ سانتی‌متر مربع، ۲۲/۹۲ تا ۳۰/۰۲ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۹۴ تا ۰/۹۹۵ متغیر هستند و همچنین برای الگوی نه ورودی این مقادیر به ترتیب بین ۰/۹۹۴ تا ۰/۹۹۷، ۲۵/۰ تا ۴۳/۶۲ سانتی‌متر مربع، ۲۰/۳۹ تا ۲۷/۲۳ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۹۳ تا ۰/۹۹۷ در نوسان می‌باشند. در این بافت در بیشتر تیمارها مقادیر مربوط به CRM مثبت بوده که کم-برآوردی مدل را نشان می‌دهد. از این نتایج استنباط می‌شود که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی در بافت متوسط نیز برای شبیه‌سازی مساحت کل جبهه‌ی رطوبتی در آبیاری قطره‌ای دارای عملکرد مناسبی بوده است. مطابق با نتایج جدول ۷ برای مساحت کل در الگوی چهار ورودی، مقادیر R^2 ، RMSE، MAE و NS در بافت سبک به ترتیب بین ۰/۹۹۴ تا ۰/۹۹۷، ۳۸/۳۶ تا ۴۹/۷۴ سانتی‌متر مربع، ۳۰/۶۸ تا ۳۶/۰۱ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۹۳ تا ۰/۹۹۶ در نوسان می‌کند. این مقادیر برای الگوی شش ورودی به ترتیب بین ۰/۹۹۵ تا ۰/۹۹۷، ۳۱/۸۱ تا ۴۳/۵۷ سانتی‌متر مربع، ۲۵/۱۱ تا ۳۰/۸۹ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۹۵ تا ۰/۹۹۷ قرار دارند و همچنین برای الگوی نه ورودی این مقادیر به ترتیب بین ۰/۹۹۵ تا ۰/۹۹۷، ۳۴/۲۱ تا ۴۲/۴۲ سانتی‌متر مربع، ۲۵/۹۵ تا ۳۲/۳۰ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۹۳ تا ۰/۹۹۶ در نوسان می‌باشند. در پنج تیمار مقادیر مربوط به CRM منفی بوده که نشان‌دهنده‌ی بیش‌برآوردی مدل در این تیمارها می‌باشد و این شاخصه آماری در بقیه تیمارها مقادیری مثبت بوده که کم‌برآوردی مدل را در این تیمارها نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهند که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی دارای عملکرد قابل قبولی در برآورد مساحت کل جبهه‌ی رطوبتی در آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار در سه بافت سنگین، متوسط و سبک را دارد.

در شکل‌های ۴ تا ۶ داده‌های اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی با نیم‌ساز خط ۱:۱ به ترتیب برای پارامترهای مساحت پایین‌دست، مساحت بالادست و مساحت کل جبهه‌ی رطوبتی در خاک متوسط نشان داده شده است. با توجه به پراکنش داده‌ها در حول نیم‌ساز خط ۱:۱ فهمیده می‌شود که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی دارای عملکرد قابل قبولی در شبیه‌سازی مساحت پایین‌دست، مساحت بالادست و مساحت کل جبهه‌ی رطوبتی در آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار در خاک متوسط است. به علت طولانی شدن نتایج، از آوردن نمودارهای مربوط به بافت‌های سنگین و سبک خودداری نموده‌ایم اما نتایج برای این بافت‌ها نیز مشابه با بافت متوسط بود، همان‌طور که نتایج جداول ۵ تا ۷ نیز گویای این موضوع می‌باشد.

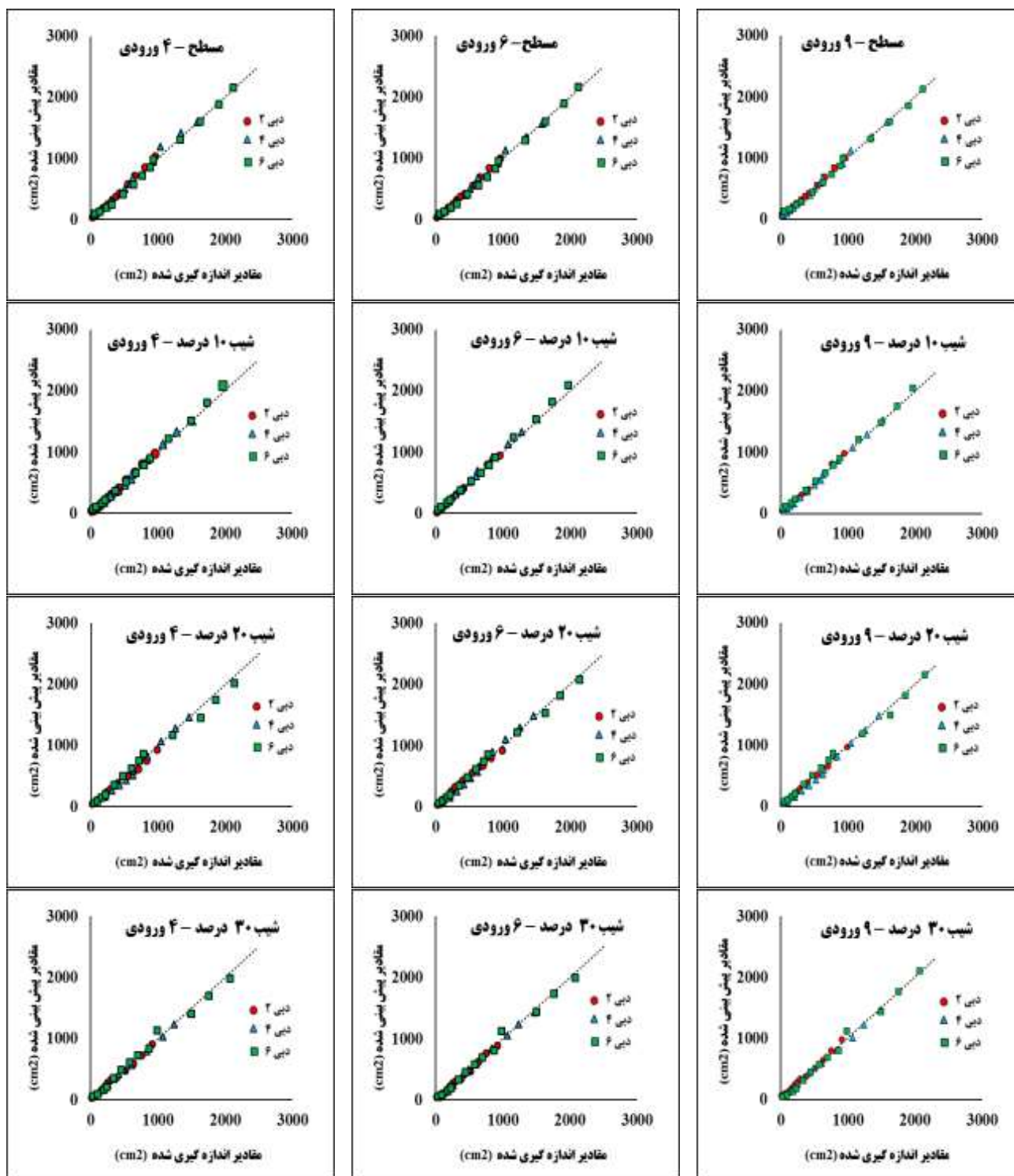
نشان‌دهنده‌ی کم برآوردی مدل در این تیمارها می‌باشد و این شاخصه آماری در بقیه تیمارها مقادیری منفی بوده که بیش‌برآوردی مدل را در این تیمارها نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهند که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی در بافت متوسط نیز برای شبیه‌سازی مساحت بالادست جبهه‌ی رطوبتی در آبیاری قطره‌ای عملکرد خوبی داشته است. مطابق با نتایج جدول ۶ برای مساحت بالادست در الگوی چهار ورودی، مقادیر R^2 ، RMSE، MAE و NS در بافت سبک به ترتیب بین ۰/۹۸۷ تا ۰/۹۹۰، ۲۲/۴۴ تا ۳۲/۴۰ سانتی‌متر مربع، ۱۷/۶۱ تا ۲۴/۳۹ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۸۷ تا ۰/۹۹۰، ۱۷/۶۱ تا ۲۲/۴۴ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۸۹ تا ۰/۹۹۵ مقادیر به ترتیب بین ۰/۹۸۹ تا ۰/۹۹۵، ۱۵/۱۹ تا ۲۸/۳۹ سانتی‌متر مربع، ۱۱/۴۲ تا ۲۲/۰۸ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۸۹ تا ۰/۹۹۵ قرار دارند و همچنین برای الگوی نه ورودی این مقادیر به ترتیب بین ۰/۹۹۰ تا ۰/۹۹۸، ۱۷/۸۷ تا ۲۶/۳۸ سانتی‌متر مربع، ۱۳/۶۸ تا ۱۹/۰۳ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۸۱ تا ۰/۹۹۴ در نوسان می‌باشند. در هفت تیمار مقادیر مربوط به CRM مثبت و در بقیه تیمارها مقادیری منفی بوده است. نتایج به دست آمده برای پارامترهای آماری ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا و خطای مطلق نشان می‌دهند که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی عملکرد خوبی در برآورد مساحت بالادست جبهه‌ی رطوبتی در آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار در سه بافت سنگین، متوسط و سبک را دارد. همچنین با مقایسه و تحلیل داده‌ها برای تعداد ورودی‌های متفاوت، در شیب‌های مختلف این نتیجه حاصل می‌شود که هر چه تعداد مقادیر ورودی بیشتر باشد همانند مساحت پایین‌دست مدل می‌تواند با دقت بالاتری مساحت بالادست جبهه‌ی رطوبتی را پیش‌بینی نماید. نتایج ارزیابی پارامترهای آماری برای مساحت کل در جدول ۷ نشان داده شده است. بر طبق نتایج این جدول در الگوی چهار ورودی، مقادیر R^2 ، RMSE، MAE و NS در بافت سنگین به ترتیب بین ۰/۹۸۹ تا ۰/۹۹۶، ۳۰/۶۷ تا ۵۲/۳۰ سانتی‌متر مربع، ۲۴/۲۱ تا ۳۸/۷۵ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۵۹ تا ۰/۹۹۶ قرار دارند. این مقادیر برای الگوی شش ورودی به ترتیب بین ۰/۹۸۳ تا ۰/۹۹۷، ۲۷/۱۰ تا ۵۹/۱۰ سانتی‌متر مربع، ۲۱/۴۴ تا ۴۷/۶۸ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۷۹ تا ۰/۹۹۶ بوده و همچنین برای الگوی نه ورودی این مقادیر به ترتیب بین ۰/۹۸۸ تا ۰/۹۹۸، ۱۹/۵۸ تا ۴۹/۲۸ سانتی‌متر مربع، ۱۵/۶۱ تا ۳۵/۹۸ سانتی‌متر مربع و ۰/۹۸۸ تا ۰/۹۹۸ قرار دارند. در بیشتر تیمارها مقادیر مربوط به CRM مثبت بوده که کم‌برآوردی مدل را نشان می‌دهد. نتایج این آماره‌ها نشان می‌دهند که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی توانسته است مساحت کل جبهه‌ی رطوبتی در بافت سنگین را به شکل قابل قبولی شبیه‌سازی نماید. همچنین بر طبق نتایج جدول ۷ برای مساحت کل با استفاده از الگوی چهار ورودی، مقادیر R^2 ، RMSE، MAE و NS در بافت متوسط به ترتیب بین



شکل ۴- مقایسه داده‌های اندازه‌گیری و شبه‌سازی شده مساحت پایین‌دست توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی با خط ۱:۱ در بافت متوسط



شکل ۵- مقایسه داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده مساحت بالادست توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی با خط ۱:۱ در بافت متوسط



شکل ۶- مقایسه داده‌های اندازه‌گیری و شبه‌سازی شده مساحت کل توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی با خط ۱:۱ در بافت متوسط

نتیجه‌گیری

مصنوعی شبه‌سازی شد. شناخت مساحت جبهه‌ی رطوبتی در خاک در هنگام آبیاری یک پارامتر مهم در طراحی و اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار می‌باشد، چرا که در اراضی شیب‌دار

در این پژوهش مساحت جبهه‌ی رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی در اراضی شیب‌دار توسط مدل شبکه‌ی عصبی

شماره ۴، صفحات ۲۴۶-۲۳۷.

حیدری، ز.، فراستی، م. و قبادیان، ر. ۱۳۹۴. اثر شیب بر پیاز رطوبتی خاک تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و شبیه‌سازی با مدل HYDRUS 2D. مدیریت آب آبیاری، جلد ۵، شماره ۲، صفحات ۲۷۷-۲۸۸.

خان‌محمدی، ن. و بشارت، س. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی تجربی ابعاد پیاز رطوبتی بافت‌های مختلف خاک. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال بیستم، شماره ۷۷، صفحات ۲۳-۱۳.

ضیاء تبار احمدی، م. ۱۳۷۱. آبیاری قطره‌ای. چاپ اول، انتشارات دانشگاه مازندران، ۳۳۹ صفحه.

کریمی، ب.، میرزایی ف و سهرابی ت. ۱۳۹۴. بسط معادلاتی برای برآورد الگوی سطح خیس شده در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به روش تحلیل ابعادی. مجله دانش آب و خاک جلد ۲۵، شماره ۳، صفحه‌های ۲۴۱ تا ۲۵۲.

کریمی، ب. و عبدی، چ. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی الگوی توزیع رطوبت خاک در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی به روش آنالیز ابعادی. فصلنامه محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۲، شماره ۱. صفحات ۳۷-۵۰.

کریمی، ب. و علی‌نظری، ف. ۱۳۹۸. شبیه‌سازی پیاز رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با مدل رگرسیون غیرخطی. پژوهش آب در کشاورزی، ب. جلد ۳۳، شماره ۲، صفحات ۳۳۹-۳۲۷.

کریمی، ب. و محمدی، پ. ۱۳۹۷. ارزیابی شبکه‌ی عصبی مصنوعی در برآورد سرعت پیشروی جبهه رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای. پژوهش آب در کشاورزی، دوره ۳، شماره ۱، صفحات ۹۲-۷۹.

محمدی، ع.، بیگلویی، م.ح.، خالدیان، م.ر.، مریدنژاد، ع. و رجبی، ج. ۱۳۹۱. بررسی ابعاد پیاز رطوبتی در اراضی شیب‌دار. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد ۱۷، شماره ۶۶، صفحات ۱۲۱-۱۰۹.

Al-Ogaidi, A.A.M., Wayayok, A., Rowshon, M.K. and Abdullah, A.F. 2016. Wetting patterns estimation under drip irrigation systems using an enhanced empirical model. Agricultural Water Management, 176: 203-213.

Elnesr, M.N., Alazba, A.A. and Simunek, J. 2014. Hydrus simulation of the effect of dual-drip subsurface drip irrigation and a physical barrier on water movement and solute transport in soils. Irrigation Science. 32: 111-125.

مساحت پایین‌دست و بالادست قطره‌چکان در جبهه‌ی رطوبتی بر خلاف اراضی مسطح، متقارن نیست، بلکه با افزایش شیب، مساحت پایین‌دست قطره‌چکان افزایش می‌یابد. در این پژوهش برای شبیه‌سازی از سه سناریو با تعداد ورودی‌های مختلف (چهار ورودی، شش ورودی و نه ورودی) استفاده شد. مقادیر مساحت جبهه‌ی رطوبتی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با پارامترهای آماری R^2 ، RMSE و MAE ارزیابی شدند. این پارامترها هم برای مرحله‌ی آموزش و هم برای مرحله تست برای کلیه‌ی تیمارها (سه نوع بافت، چهار دبی و چهار شیب) استخراج شدند. مقادیر R^2 در مرحله‌ی آموزش بین ۰/۹۹۴ تا ۰/۹۹۷، مقادیر RMSE بین ۱۸/۸۴ تا ۴۲/۷۰ سانتی‌متر مربع و مقادیر MAE بین ۱۲/۲۸ تا ۳۱/۹۶ سانتی‌متر مربع قرار داشتند. این مقادیر در مرحله‌ی تست به ترتیب بین ۰/۹۹۳ تا ۰/۹۹۷، ۲۶/۸۷ تا ۴۷/۰۲ سانتی‌متر مربع و ۲۰/۱۴ تا ۳۱/۴۵ سانتی‌متر مربع در نوسان بودند. نتایج حاصل از این پارامترهای آماری نشان دادند که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی در برآورد مساحت جبهه‌ی رطوبتی عملکرد خوبی داشته است. نتایج حاصل از این تحقیق با مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴) مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج شاخص‌های آماری نشان داد که مدل شبکه عصبی عملکرد بهتری نسبت به مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴) دارد. یکی از دلایل برتری مدل پیشنهادی این است که در این روش پیشنهادی متغیرهای ورودی بیشتری (متغیرهای بی‌بعد و بعددار) در نظر گرفته شده است و بر همین اساس مدل شبکه عصبی به راحتی می‌تواند محیط پیچیده خاک را شبیه‌سازی کند. در حالی که در مدل کریمی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از آنالیز ابعادی فقط پارامترهای محدودی (پارامترهای بعددار) جهت شبیه‌سازی استفاده شده است و به همین خاطر مدل عملکرد مناسبی ندارد. با توجه به نتایج جداول آماره‌ها فهمیده می‌شود که این مدل مساحت بالادست قطره‌چکان در جبهه‌ی پیشروی رطوبت را بهتر از مساحت پایین‌دست و مساحت کل شبیه‌سازی نموده است. همچنین مقادیر پارامترهای آماری نشان دادند که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی در الگوی نه ورودی دارای عملکرد بهتری نسبت به الگوی چهار و شش ورودی بوده است.

منابع

بزانه، م.، خورسند، ا.، زینال‌زاده، ک. و بشارت، س. ۱۳۹۵. ارزیابی نرم‌افزار HYDRUS 2D در برآورد عمق آب ذخیره شده و الگوی رطوبتی آبیاری قطره‌ای سطحی. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۲/۱، صفحات ۳۰۱-۲۸۷.

تمجید، م.، بیگلویی، م.ح.، خالدیان، م.ر.، مریدنژاد، ع. و محمدی، ع. ۱۳۹۳. مقایسه رگرسیون خطی و شبکه‌های عصبی در برآورد ابعاد پیاز رطوبتی در اراضی شیب‌دار. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۴،

- enhanced empirical model and artificial neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178: 105767.
- Kilic, M. 2020. A new analytical method for estimating the 3D volumetric wetting pattern under drip irrigation system. *Agric. Water Manag.*, 228, p.105898.
- McCulloch, S.W. and Pitts, W.H. 1943. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, pp.115-133.
- Samadianfard, S., Sadraddini, A.A., Nazemi, A.H., Provenzano, G. and Kisi, O. 2012. Estimating soil wetting patterns for drip irrigation using genetic programming. *Spanish J. Agric. Res.* 10: 1155–1166.
- Shiri, J., Karimi, B., Karimi, N., Kazemi, M.H. and Karimi, S. 2020. Simulating wetting front dimensions of drip irrigation systems: Multi criteria assessment of soft computing models. *J. Hydrol*: p.124792.
- Tripathi, V.K. 2017. Simulating Soil Water Content under Surface and Subsurface Drip Irrigation with Municipal Wastewater. *Journal of AgriSearch*, 4(3): 167-172.
- Elnesr, M.N. and Alazba, A.A. 2019. Computational evaluations of HYDRUS simulations of drip irrigation in 2D and 3D domains (i-Surface drippers). *Comp. and Elec. in Agric.*, 162, pp.189-205.
- Fan, Y., Shao, X., Gong, J. and Wang, Y., 2019. An empirical model for estimating soil wetting pattern dimensions during film hole irrigation. *Archives of Agro. and Soil Sci.*, pp.1-15.
- Hinnell, A.C., Lazarovitch, N., Furman, A., Poulton, M. and Warrick, AW. 2010. Neuro-Drip: estimation of subsurface wetting patterns for drip irrigation using neural networks. *Irrigation Science*, (28): 535–544.
- Kanda, E.K., Senzanje, A. and Mabhaudhi, T. 2020. Soil water dynamics under Moistube irrigation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, p.102836.
- Kandelous, M.M. and Simunek, J. 2010. Comparison of numerical, analytical and empirical models to estimate wetting patterns for surface and subsurface drip irrigation. *Irrigation Science*, 28: 435-444.
- Karimi, B., Mohammadi, P., Sanikhani, H., Salih, S.Q. and Yaseen, Z.M. 2020. Modeling wetted areas of moisture bulb for drip irrigation systems: An

Simulation of Wetted Area in Slope Lands Using Artificial Neural Network

F. Alinazari¹, B. Karimi^{*2}

Received: May.01, 2020

Accepted: Aug.14, 2020

Abstract

Soil wetted pattern plays an important role in the design of drip irrigation systems. Wetting pattern depends on various factors such as soil texture, soil structure, emitter outflow rate, hydraulic conductivity, applied water volume and the values of slope. In this research, two physical rectangular cubic models were constructed to monitor the soil moisture advance front. The smaller model was applied for experiments with lower discharge and the larger model was used for experiments with higher discharge. These experiments were carried out for four different slopes (0, 10, 20 and 30%), three soil types with different textures (coarse, medium, fine) and three emitter discharges (2, 4, and 6 lit/hour). This study was aimed to simulate the wetting area in a drip irrigation system on slope land. The artificial neural network (ANN) model was used to simulate the wetted area. The results of the comparison between the measured and simulated values demonstrated that the ANN model has an acceptable accuracy in estimating the moisture front area. Coefficient of determination (R^2) in training phase varied between 0.994-0.997, root mean square error (RMSE) ranged between 18.84-42.70 cm² and mean absolute error (MAE) varied between 12.28-31.96 cm². These values for the test phase were 0.993- 0.997, 26.87-47.02 cm² and 20.14-31.45 cm², respectively.

Keywords: Artificial Neural Network, Moisture Bulb, Slope Lands, Wetted Area

1- M.Sc. Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: bakhtiar.karimi@gmail.com)