

شبیه‌سازی پیاز رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با مدل رگرسیون غیرخطی

بختیار کریمی^{۱*} و فریبا علی نظری

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

bakhtiar.karimi@gmail.com

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

an.fariba@gmail.com

چکیده

الگوی پیاز رطوبتی به عنوان یک فاکتور مهم در طراحی و مدیریت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی مورد توجه است. آگاهی از ابعاد پیاز رطوبتی در انتخاب فاصله دقیق بین قطره‌چکان‌ها و فاصله مناسب بین لاترالها ضروری است. در این پژوهش، آزمایش‌ها در یک مدل فیزیکی پلکسی گلاس شفاف با ابعاد $3 \times 1.22 \times 0.5$ متر به انجام رسید. از سه نوع بافت (رسی - شنی، لوم - رسی - شنی و شنی - لومی) به طور مجزا استفاده شد. در این رابطه، قطره‌چکان‌ها در سه عمق (۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متری از سطح خاک) نصب شد و همچنین قطره‌چکان‌هایی با آبدهی $۲/۴$ ، ۴ و ۶ لیتر بر ساعت انتخاب و زمان آبیاری، شش ساعت اعمال شد. با استفاده از داده‌های به دست آمده از بررسی‌های آزمایشگاهی و با استفاده از روش رگرسیون غیرخطی، یک مدل تجربی به منظور برآورد توزیع افقی جبهه رطوبتی در زمان‌های مختلف ارائه شد. در این مدل تجربی، با در نظر گرفتن پارامترهای دبی قطره‌چکان، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، زمان آبیاری، جرم ویژه ظاهری خاک، عمق نصب قطره‌چکان، رطوبت حجمی اولیه، درصد شن، سیلت و رس، شعاع خیس‌شدگی در بالا و پایین محور قطره‌چکان برآورد شد. همچنین، با در نظر گرفتن مدل پیشنهادی یادشده، شعاع خیس‌شده پیاز رطوبتی در اعماق مختلف تعیین شد (بهینه‌سازی ضرایب معادلات) و متناسب با آن شکل کامل پیاز رطوبتی برآورد شد. بهترین کارایی مدل مربوط به عمق صفر (روی محور قرارگیری قطره‌چکان) است که مقادیر MAE، RMSE و R^2 به ترتیب $۲/۱۵$ ، $۱/۷$ سانتی‌متر و $۱۴/۸۵\%$ و مقدار R^2 برابر $۰/۹۲$ بدست آمد و کمترین کارایی مدل مربوط به عمق ۲۰ سانتی‌متری از محل قطره‌چکان بوده که مقادیر MAE، RMSE و R^2 برای آن‌ها به ترتیب مقادیر $۳/۹۳$ و $۳/۲۶$ سانتی‌متر و $۳۷/۵۵\%$ و مقدار R^2 (در سطح پنج درصد معنی‌دار) نیز $۰/۷۵$ محاسبه شد. نتایج این پژوهش نشان داد مدل پیشنهادی، شکل کامل الگوی خیس‌شدگی را با دقت معقولی برآورد کرده است. لحاظ این مدل در طراحی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند باعث بهبود عملکرد آن‌ها شود.

واژه‌های کلیدی: شعاع خیس‌شده، جبهه پیشروی رطوبت، مدیریت آبیاری

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

* - دریافت: آبان ۱۳۹۷ و پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۸

مقدمه

قسمت عمده منابع آب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و با توجه به وجود بحران آب در کشور، انتخاب روش مطلوب آبیاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از این روش‌ها، استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای بوده که برخی ویژگی‌های آن باعث تمایز این روش با سایر روش‌های آبیاری شده که از آن جمله می‌توان به راندمان بالا و امکان استفاده در اراضی شیب‌دار، تپه‌ای و ناهموار اشاره کرد (علیزاده، ۱۳۸۵). برای طراحی صحیح سامانه آبیاری قطره‌ای، شناخت کافی از توزیع آب در خاک ضروری است. ابعاد پیاز رطوبتی تأثیر قابل توجهی در کمیت و کیفیت عملکرد گیاهان زراعی دارد، به طوری که اگر ابعاد پیاز رطوبتی کمتر از حد مورد نیاز گیاه باشد، گیاه نمی‌تواند آب کافی را جذب کند که این امر موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود (کوک و همکاران ۲۰۰۶، اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۴). اگر ابعاد پیاز رطوبتی بیش‌تر از حد مورد نیاز گیاه باشد، باعث تلفات آبیاری می‌شود. پس با اصلاح ابعاد پیاز رطوبتی می‌توان راندمان کاربرد آب را افزایش داد. در سامانه آبیاری قطره‌ای، الگوی خیس‌شدگی به عوامل مختلفی از جمله بافت و ساختمان خاک، دبی قطره‌چکان، هدایت هیدرولیکی خاک، حجم آب کاربردی و شیب زمین بستگی دارد. حجم خاک خیس‌شده، نشانگر مقدار آبی در خاک است که در ناحیه ریشه ذخیره شده و عمق آن باید منطبق بر عمق توسعه ریشه باشد، در حالی که عرض آن باید با فاصله بین قطره‌چکان‌ها و همچنین لاترال‌ها، منطبق باشد (ریوول و همکاران، ۱۹۹۱).

ال‌اگیدی و همکاران (۲۰۱۶) با ارائه یک مدل تجربی با استفاده از هشت پارامتر ورودی و به روش رگرسیون، توزیع افقی و عمودی آب در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی را شبیه‌سازی نمودند. مزیت این رابطه این است که برخلاف روابط تجربی قبلی، متغیرهای ورودی مختلفی برای برآورد استفاده کرده است (جرم مخصوص ظاهری، درصد شن، سیلت و رس) که با داشتن این

پارامترهای مدل، می‌توان شناخت بهتری از محیط پیچیده خاک داشت. نوروزیان و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی الگوی توزیع رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، در خاک دو لایه و در دو حالت زمین مسطح و شیب‌دار را با انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای بررسی و اثرات شیب زمین و لایه‌ای بودن خاک را بر الگوی خیس‌شدگی خاک بررسی کردند. از نرم‌افزار Hydrus دو بعدی برای شبیه‌سازی جبهه رطوبتی برای شرایط مشابه با آزمایش‌های صحرائی استفاده نمودند. معیارهای جذر میانگین مربعات خطا $2/47$ سانتی-متر، ضریب همبستگی $0/82$ و ضریب کارایی مدل $0/24$ حاصل شد. معیارهای یادشده در خاک دو لایه‌ای شیب‌دار نیز به ترتیب برابر $4/03$ سانتی‌متر، $0/75$ و $0/36$ محاسبه شد. آربات و همکاران (۲۰۱۳) نتایج به دست آمده از آبیاری قطره‌ای با مدل Hydrus را با نتایجی که از آزمایش‌های مزرعه‌ای در سه نوع مختلف خاک انجام شد، مقایسه کرده و به این نتیجه رسیدند که توزیع آب در خاک (شعاع و عمق خیس‌شده) که از آبیاری قطره‌ای و مدل Hydrus به دست آمد، شبیه بودند. که در این حالت $RMSE$ برابر $0/18$ متر و R^2 برابر $0/86$ بود. صمدیان فرد و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک و به کمک داده‌های تولید شده با مدل عددی Hydrus، الگوی توزیع رطوبت در آبیاری قطره‌ای را برای ۱۲ کلاس بافت خاک برآورد نمودند. نتایج نشان داد که برنامه‌ریزی ژنتیک دارای عملکرد خوبی در تخمین الگوی توزیع رطوبت است، به طوری که مقادیر R^2 به ترتیب برای شعاع و عمق خیس‌شدگی برابر $0/99$ و $0/99$ و همچنین مقادیر $RMSE$ به ترتیب برابر $2/88$ و $4/94$ بوده است. زین العابدین و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر استفاده از پلی‌آکریل آمید^۲ را بر الگوی خیس‌شدگی خاک، در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بررسی کردند. نتایج نشان داد که با اضافه نمودن پلی‌آکریل آمید به خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک (در قطره‌چکان‌هایی با عمق نصب ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک) بهبود می‌یابد. میانگین رطوبت خاک در جبهه پائین قطره‌چکان (در عمق نصب ۱۵

^۲ Polyacrylamide

شبییه‌سازی شکل کامل جبهه رطوبتی با در نظر گرفتن پارامترهای ورودی بیشتر (۹ پارامتر ورودی) در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است.

مواد و روش‌ها

روش انجام آزمایش

برای انجام آزمایش‌های عملی و اندازه‌گیری‌ها، یک مدل فیزیکی از جنس پلکسی گلاس با ابعاد $3 \times 1.22 \times 0.5$ متر تهیه شد. مدل به سه قسمت مجزا تفکیک و امکان انجام همزمان سه آزمایش فراهم شد (شکل ۱). از یک منبع آب ۲۵۰ لیتری استفاده و همچنین به دلیل تعداد کم قطره‌چکان‌ها، از سامانه کاهنده فشار (بای‌پس) استفاده شد. در کلیه آزمایش‌ها فشار سامانه روی دو اتمسفر، تنظیم شد. قطر لوله‌های اصلی، نیمه اصلی و فرعی به ترتیب ۵۰، ۲۰ و ۱۶ میلی‌متر بودند. در این پژوهش، از سه نوع بافت رسی - شنی، لوم - رسی - شنی و شنی - لومی استفاده شد (جدول ۱). 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). به منظور جلوگیری از جریان‌ات ترجیحی در حین آزمایش، با استفاده از چسب و پاشیدن شن‌های زیر، یک سطح نسبتاً زیر ایجاد شد. قطره‌چکان‌های مورد ارزیابی شامل سویس درپ^۳ و نتافیم^۴ بود که در سه عمق ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متری از سطح خاک نصب شد. دبی‌های اعمال شده $2/4$ ، ۴ و ۶ لیتر در ساعت بود. با ترسیم جبهه حرکت آب روی صفحه شفاف پلکسی گلاس در زمان‌های مختلف، سطح خیس شده محاسبه شد (با استفاده از نرم افزارهای اتوکل و گرافر^۵). مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، در شرایط آزمایشگاهی و به روش بار ثابت، اندازه‌گیری شد.

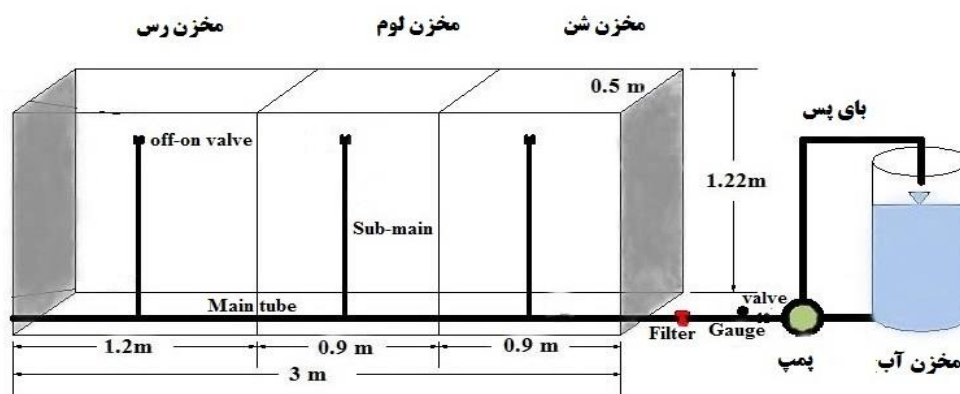
سانتی‌متری) بر روی محور عمودی، حدود ۷/۴ درصد و در جبهه بالای قطره‌چکان، حدود ۲۰ درصد افزایش داشته است.

کریمی و همکاران (۱۳۹۴b) 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 را برای برآورد سطح خیس شده خاک بالا و پایین قطره‌چکان در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی برای عمق‌های نصب ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متری ارائه دادند. نتایج ارزیابی این مدل نشان داد که این معادلات با دقت بالایی سطح خیس شده را برآورد می‌کنند. تمجید و همکاران (۱۳۹۲) رگرسیون خطی و شبکه‌های عصبی را برای برآورد ابعاد پیاز رطوبتی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد در تخمین عمق پیاز رطوبتی، روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه نسبت به روش رگرسیون خطی چندگانه، مناسب‌تر بود. آماره های R^2 ، EF و RMSE در روش شبکه عصبی مصنوعی چند لایه به ترتیب برابر ۰/۸۹، ۰/۸ و ۱/۰۷ سانتی‌متر و در روش رگرسیون خطی چندگانه به ترتیب ۰/۹۳، ۰/۹۳ و ۲/۱ سانتی‌متر بود، اما در تخمین مساحت خیس شده سطح خاک، روش رگرسیون خطی چندگانه نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه، مناسب‌تر بود. آماره های R^2 ، EF و SE روش شبکه عصبی مصنوعی چند لایه به ترتیب برابر ۹۰، ۰/۹۰ و ۱۲۶/۶۴ سانتی‌متر مربع و در روش رگرسیون خطی چندگانه به ترتیب ۰/۹۹، ۰/۹۹ و ۱۸/۲۲ سانتی‌متر مربع بود. با توجه به مطالعات صورت گرفته، اکثر پژوهش‌ها، توزیع افقی و عمودی جبهه رطوبتی را برآورد کرده‌اند و هنوز مطالعه جامع و کاملی برای برآورد شکل کامل جبهه رطوبتی صورت نگرفته است. همچنین، در اکثر مطالعات قبلی از متغیرهای ورودی کمتری برای شبیه‌سازی استفاده شده است. هدف اصلی پژوهش حاضر،

^۵ - Grapher

^۳ Swiss Drip

^۴ Netafim



شکل ۱- لایسیمتر و اتصالات مربوطه برای انجام آزمایش‌ها

مدل پیشنهادی

اشباع خاک، زمان آبیاری، جرم ویژه ظاهری خاک، عمق نصب قطره‌چکان، رطوبت اولیه و درصد شن، سیلت و رس پیشنهاد شد. فرم کلی معادله پیشنهادی به صورت زیر است:

$$R_z = \alpha_1 \times t^{\alpha_2} \times q^{\alpha_3} \times k_s^{\alpha_4} \times s^{\alpha_5} \times si^{\alpha_6} \times c^{\alpha_7} \times \rho_b^{\alpha_8} \times \theta_i^{\alpha_9} \times D^{\alpha_{10}} \quad (1)$$

که در آن:

R_z شعاع خیس شدگی بالا و پایین قطره‌چکان در عمق $z = 1, 2, 3, 4, \dots$ (انتهی متر)، z اندازه‌گیری جبهه رطوبتی، t مدت زمان آبیاری (دقیقه)، q دبی قطره‌چکان (لیتر بر ساعت)، k_s هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (سانتی‌متر بر ساعت)، s درصد ذرات شن، si درصد ذرات سیلت، c درصد ذرات رس، ρ_b چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، θ_i رطوبت حجمی اولیه (درصد) و D عمق نصب قطره‌چکان (سانتی‌متر) است. همچنین، ضرایب α_1 تا α_{10} ثابت‌های معادله هستند که برای اعماق مختلف z کالیبره شد.

پارامترهای متعددی بر روی ابعاد پیاز رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای تأثیر گذار هستند. بخشی از این عوامل مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک بوده که شامل هدایت هیدرولیکی خاک، رطوبت اولیه خاک، لایه بندی خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک و درصدهای شن، سیلت و رس است. بخشی دیگر از این عوامل مربوط به خصوصیات قطره‌چکان بوده که شامل دبی قطره‌چکان، زمان کاربرد آب و عمق نصب قطره‌چکان (در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی) در خاک است. همچنین، بخش دیگری از این عوامل مربوط به شیوه کاربرد آب (آبیاری پالسی و پیوسته) بوده که هر کدام به نوبه خود بر ابعاد پیاز رطوبتی تأثیرگذار است. با توجه به عوامل یادشده در این پژوهش، یک مدل تجربی به منظور تخمین ابعاد پیاز رطوبتی و با در نظر گرفتن پارامترهای دبی قطره‌چکان، هدایت هیدرولیکی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده

بافت خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	چگالی ظاهری (gcm^{-3})	هدایت هیدرولیکی اشباع ($cmhr^{-1}$)	رطوبت وزنی اشباع (%)
سنگین	۴۶	۱۸	۳۶	رسی- شنی	۱/۲۰	۶/۲۵	۳۷/۵
متوسط	۵۵	۲۲	۲۳	لوم- رسی- شنی	۱/۳۵	۹/۳۶	۳۴/۵
سبک	۷۶	۱۳	۱۱	شنی- لومی	۱/۴۵	۱۳/۳۱	۳۰/۱

معیارهای ارزیابی

خطای نسبی (E)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین در سطح پنج درصد (R^2)، به ترتیب از روابط (۱) تا (۴) استفاده شد:

برای مقایسه عملکرد رگرسیون غیرخطی با مقادیر مشاهداتی پیشروی، از پارامترهای آماری درصد

قابل مشاهده است. نتایج پارامترهای آماری خطا در جدول (۳) نشان می‌دهند که مدل‌های ارائه شده در اعماق بررسی شده دارای عملکرد مناسبی هستند و این پارامترها در دامنه قابل قبولی هستند (ملک و پتر و صمدیان فرد و همکاران). همچنین، نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که بیشترین کارایی مدل در عمق‌های کمتر (اعماق صفر و پنج سانتی‌متر) است و مدل عملکرد مناسب‌تری دارد. ولیکن، با زیاد شدن عمق و فاصله گرفتن از محل قرارگیری قطره‌چکان، کارایی مدل کمتر می‌شود. این بدین دلیل است که تعداد داده‌های اندازه‌گیری در نزدیکی قرارگیری محل قطره‌چکان بسیار زیاد بوده و مدل ارائه شده می‌تواند شناخت بهتری از محیط خاک را فراهم آورد. بهترین کارایی مدل مربوط به عمق صفر (روی محور قرارگیری قطره‌چکان) است که مقادیر $RMSE$ ، MAE و ε برای آن‌ها، به ترتیب مقادیر ۲/۱۵، ۱/۷ و ۱۴/۸۵ بوده و مقدار R^2 برابر ۰/۹۲ می‌باشد و کمترین کارایی مدل مربوط به عمق ۲۰ سانتی‌متری از محل قطره‌چکان بوده که مقادیر $RMSE$ ، MAE و ε برای آن‌ها، به ترتیب مقادیر ۳/۹۳ و ۳/۲۶ و ۳۷/۵۵ می‌باشند و مقدار R^2 نیز ۰/۷۵ می‌باشد. در طراحی سامانه آبیاری قطره‌ای، برای محاسبه فاصله و عمق لاترال‌ها، باید از چگونگی پیشروی رطوبت در خاک آگاهی داشت تا بتوان متناسب با آن، عمق بهینه نصب لاترال‌ها را برآورد نمود. همچنین، در مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری نیز یک امر لازم و ضروری است. در این پژوهش با توجه به این‌که در عمق‌های متفاوت روابطی برای برآورد شعاع خیس‌شدگی ارائه شده است، به طراحان کمک می‌کند تا دید بهتر و دقیق‌تری نسبت به چگونگی پیشروی رطوبت داشته باشند و در نتیجه بتوانند در دوره‌های مختلف رشد گیاه آبیاری مناسب برای گیاه را اعمال کنند.

$$\varepsilon = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{N}} \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (5)$$

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 هستند.

نتایج و بحث

با توجه به اینکه در این پژوهش، سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مورد ارزیابی قرار گرفت، شکل پياز رطوبتی به دو بخش مجزای جبهه بالای محور قطره‌چکان و جبهه پایین محور قطره‌چکان، تقسیم شد. فرمت کلی معادلات به صورت معادله (۱) می‌باشند. برای شبیه‌سازی جبهه پایین قطره‌چکان، با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی و با استفاده از آنالیز رگرسیون غیرخطی (به کمک نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۰، *Toolbar Solver*) ضرایب α_1 تا α_{10} بهینه شد. در جدول (۲) ضرایب α_1 تا α_{10} به صورت منتخب در عمق‌های ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متری از سطح پایین قطره‌چکان ارائه شده است. نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های پیشنهادی در برآورد شعاع خیس‌شده پایین قطره‌چکان در جدول (۳)

جدول ۲- ضرایب معادلات مدل پیشنهادی در چند عمق منتخب برای جبهه رطوبتی پایین قطره‌چکان

عمق (cm)	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}
۰	۰/۱۴	۰/۳۵	۰/۳۴	-۰/۱۴	۰/۴۶	۰/۲۷	-۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۰۹	۰/۰۷
۵	۰/۲۸	۰/۴	۰/۳۴	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۴۱	۰/۱۳	۰/۰۶
۱۰	۰/۲۱	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۲۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۴۷	۰/۰۹	۰/۰۴
۱۵	۰/۲۴	۰/۶۲	۰/۵۸	۰/۲۴	-۰/۱۱	-۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۵۱	۰/۰۵	۰/۰۴
۲۰	۰/۲۵	۰/۷۹	۰/۷۲	۰/۱۲	-۰/۲۳	-۰/۲۳	-۰/۲۶	۰/۴۵	۰/۰۰	۰/۰۷
۲۵	۰/۲۵	۱/۰۳	۰/۵۴	۰/۱۹	-۰/۴۴	-۰/۰۵	-۰/۵۵	۰/۵۱	-۰/۰۹	۰/۰۶

جدول ۳- شاخص‌های آماری تعیین خطا برای مدل پیشنهادی در اعماق منتخب برای جبهه رطوبتی پایین قطره‌چکان

عمق (cm)	R^2	RMSE(cm)	MAE(cm)	ϵ (%)
۰	۰/۹۲	۲/۱۵	۱/۷	۱۴/۸۵
۵	۰/۸۹	۲/۵۱	۱/۹۴	۱۶/۱۷
۱۰	۰/۸۱	۳/۱۲	۲/۴۴	۱۹/۵۷
۱۵	۰/۶۰	۳/۸۵	۳/۰۴	۴۳/۲۷
۲۰	۰/۷۵	۳/۹۳	۳/۲۶	۳۷/۵۵
۲۵	۰/۷۶	۳/۶۷	۳/۰۱	۳۶/۶۲

خطا، در دامنه قابل قبولی است. به طور مشابه نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد که بهترین عملکرد مدل پیشنهادی مربوط به عمق صفر (روی محور قرارگیری قطره‌چکان) که مقادیر RMSE، MAE و ϵ برای آن‌ها، به ترتیب مقادیر ۲/۱۸، ۱/۷ و ۱۳ می‌باشد و مقدار R^2 برابر ۰/۹۲ می‌باشد. همچنین کمترین کارایی مدل مربوط به عمق ۲۰ سانتی متری از محل قطره‌چکان است که مقادیر RMSE، MAE و ϵ برای آن‌ها، به ترتیب مقادیر ۳/۱۹، ۴/۱ و ۲۳/۹۶ است و ضریب همبستگی ۰/۸۷ است. دلیل این امر نیز این است که در نزدیکی محل قطره‌چکان تعداد داده‌های استفاده شده برای شبیه‌سازی بیشتر است و با فاصله گرفتن از آن تعداد داده‌های کمتر می‌شود و این به نوبه خود بر عملکرد مدل‌ها تأثیر می‌گذارد.

همچنین، به صورت مشابه برای شبیه‌سازی جبهه بالای قطره‌چکان نیز با استفاده از داده‌های به دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی و با استفاده از آنالیز رگرسیون غیرخطی ضرایب α_1 تا α_{10} بهینه شد. این ضرایب نیز برای اعماق مختلف $z = 1, 2, 3, 4, \dots$ و به فواصل یک سانتی-متر برآورد و برای تمامی اعماق کالیبره شد و در جدول (۴) ضرایب α_1 تا α_{10} به صورت انتخابی در عمق‌های ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی متری از سطح بالای قطره‌چکان ارائه شده است. همچنین، ارزیابی عملکرد مدل‌های پیشنهادی در برآورد شعاع خیس شده بالای قطره‌چکان در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که مدل‌های پیشنهاد شده نیز همانند جبهه پایین قطره-چکان دارای عملکرد مناسبی می‌باشند و پارامترهای آماری

جدول ۴- ضرایب معادلات مدل پیشنهادی در چند عمق منتخب برای جبهه رطوبتی بالای قطره‌چکان

عمق (cm)	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}
۰	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۴۸	۰/۳۲	۰/۰۸
۵	۰/۲۳	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۴۷	۰/۲۹	۰/۱۱
۱۰	۰/۱۵	۰/۳۲	۰/۵۱	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۴۶	۰/۴۲	۰/۱۸
۱۵	۰/۰۹	۰/۵۰	۰/۵۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۴۲	۰/۲۰	۰/۰۶
۲۰	۰/۰۱	۰/۶۳	۰/۴۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۴۰	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۱۵
۲۵	۰/۰۰	۰/۸۵	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۱	۰/۷۷	۰/۰۰	۰/۴۲	۰/۷۰

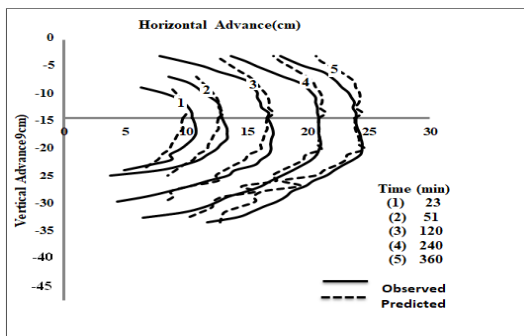
جدول ۵- شاخص‌های آماری تعیین خطا برای مدل پیشنهادی در اعماق منتخب برای جبهه رطوبتی بالای قطره‌چکان

عمق (cm)	R ²	RMSE (cm)	MAE (cm)	ϵ (%)
۰	۰/۹۲	۲/۱۸	۱/۷	۱۳
۵	۰/۸۶	۲/۶۶	۲/۱۲	۱۵/۴۳
۱۰	۰/۷۴	۳/۴۹	۲/۸۵	۲۴/۷۹
۱۵	۰/۷۶	۳/۸۲	۳/۰۸	۲۴/۹۶
۲۰	۰/۸۷	۴/۰۱	۳/۱۹	۲۳/۹۶
۲۵	۰/۷۱	۳/۳۳	۲/۹۰	۲۳/۱۶

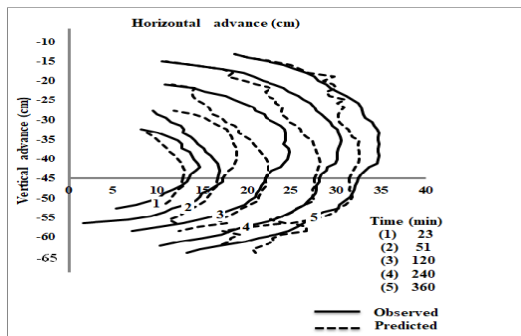
پایین و بالای قطره‌چکان را نشان می‌دهند (با خط ۱:۱) که این مقایسه برای اعماق صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی-متری است. نتایج این اشکال نیز نشان می‌دهند که در عمق-های نزدیک به محور قطره‌چکان (عمق صفر و پنج سانتی-متری)، به علت زیاد بودن تعداد داده‌های مورد استفاده برای شبیه‌سازی، عملکرد مدل مناسب‌تر است و با زیاد شدن فاصله از محل قرارگیری قطره‌چکان (به سمت بالا یا به سمت پایین)، کارایی مدل‌ها کمتر می‌شود. همچنین، شکل-های (۵) و (۶) در اعماق صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی-متری، بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی مقادیر شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهند.

در مرحله بعد به منظور تخمین شکل کامل پیازرطوبتی، کلیه داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در یک گراف همانند شکل‌های (۲) تا (۴) به ترتیب مربوط به خاک رسی، لومی و شنی ترسیم شد. در تمامی این اشکال مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر شبیه‌سازی شده جبهه رطوبتی در زمانهای ۲۳، ۵۱، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ دقیقه از شروع آبیاری مقایسه شد. نتایج این اشکال نشان می‌دهند که مدل ارائه شده به صورت قابل قبولی شکل کامل پیاز رطوبتی را برآورد می‌کند.

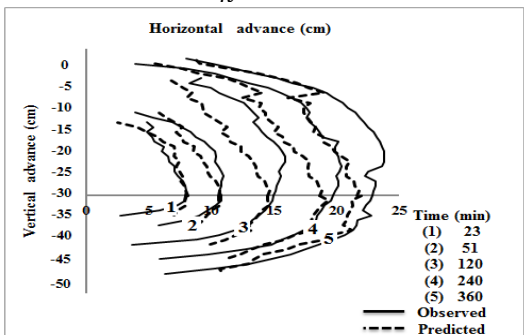
همچنین، شکل‌های (۵) و (۶) به ترتیب مقایسه داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده شعاع خیس شده



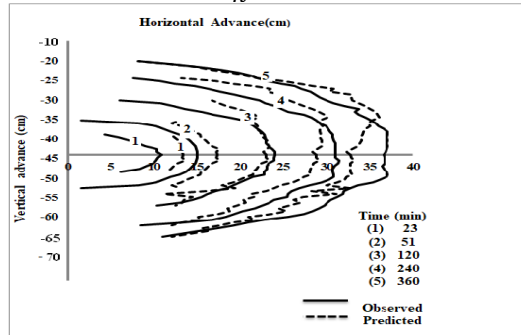
$q=2.4 \frac{l}{h}, z=15\text{cm}$



$q=4 \frac{l}{h}, z=45\text{cm}$

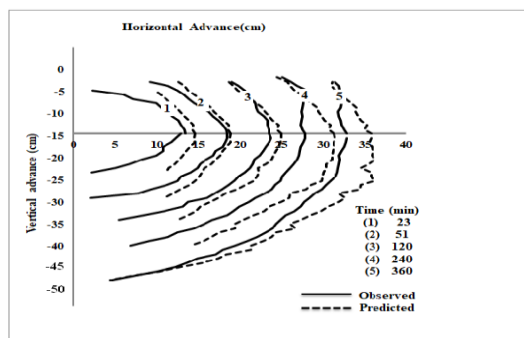


$q=2.4 \frac{l}{h}, z=30\text{cm}$

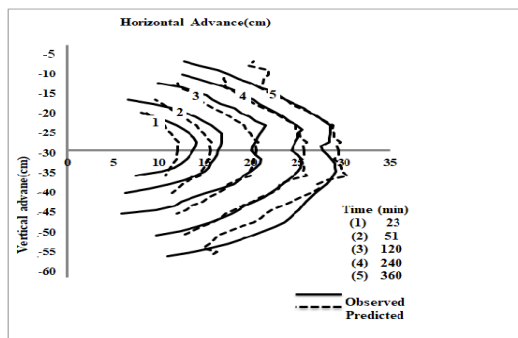


$q=6 \frac{l}{h}, z=45\text{cm}$

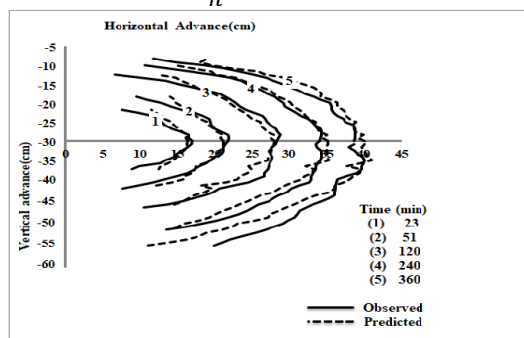
شکل ۲- پیاز رطوبتی اندازه‌گیری شده در مقایسه با مقادیر شبیه‌سازی شده در خاک رسی برای تیمارهای مختلف



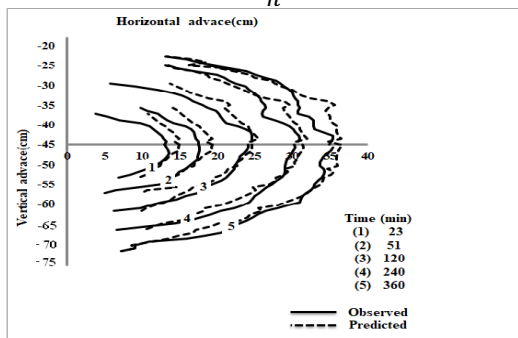
$q=6 \frac{l}{h}, z=15\text{cm}$



$q=2.4 \frac{l}{h}, z=30\text{cm}$

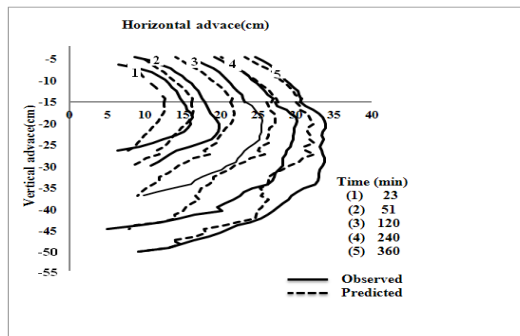


$q=6 \frac{l}{h}, z=30\text{cm}$

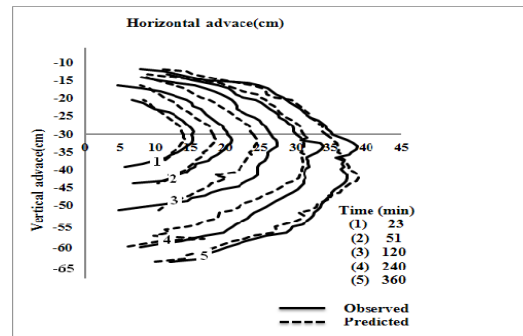


$q=6 \frac{l}{h}, z=45\text{cm}$

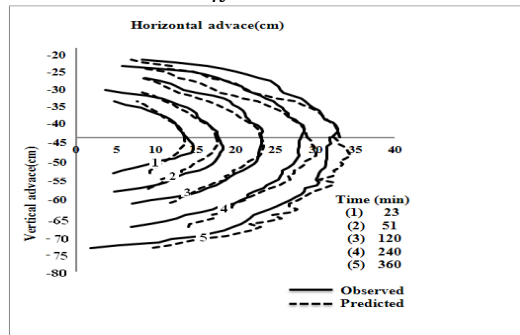
شکل ۳- پیاز رطوبتی اندازه‌گیری شده در مقایسه با مقادیر شبیه‌سازی شده در خاک لومی برای تیمارهای مختلف



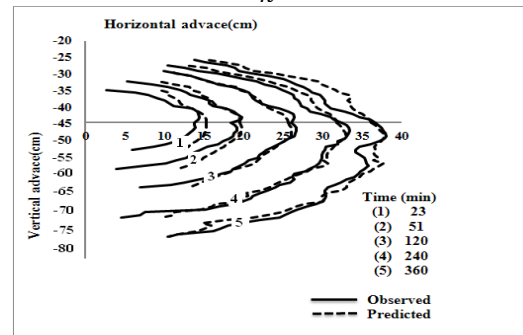
$$q=4 \frac{l}{h}, z=15\text{cm}$$



$$q=6 \frac{l}{h}, z=30\text{cm}$$

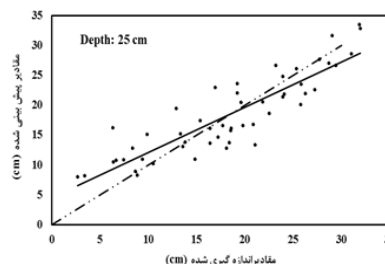
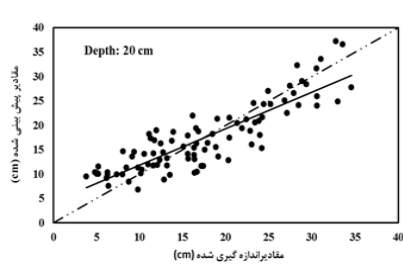
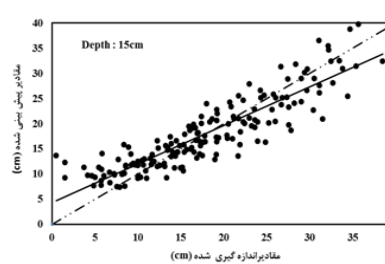
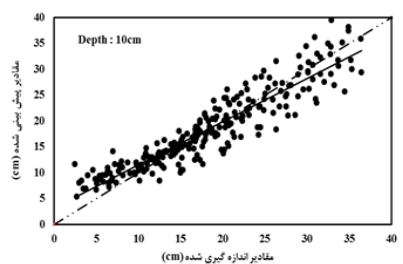
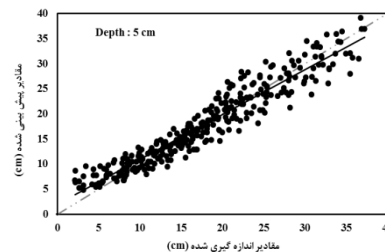
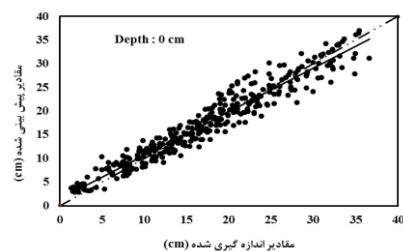


$$q=4 \frac{l}{h}, z=45\text{cm}$$

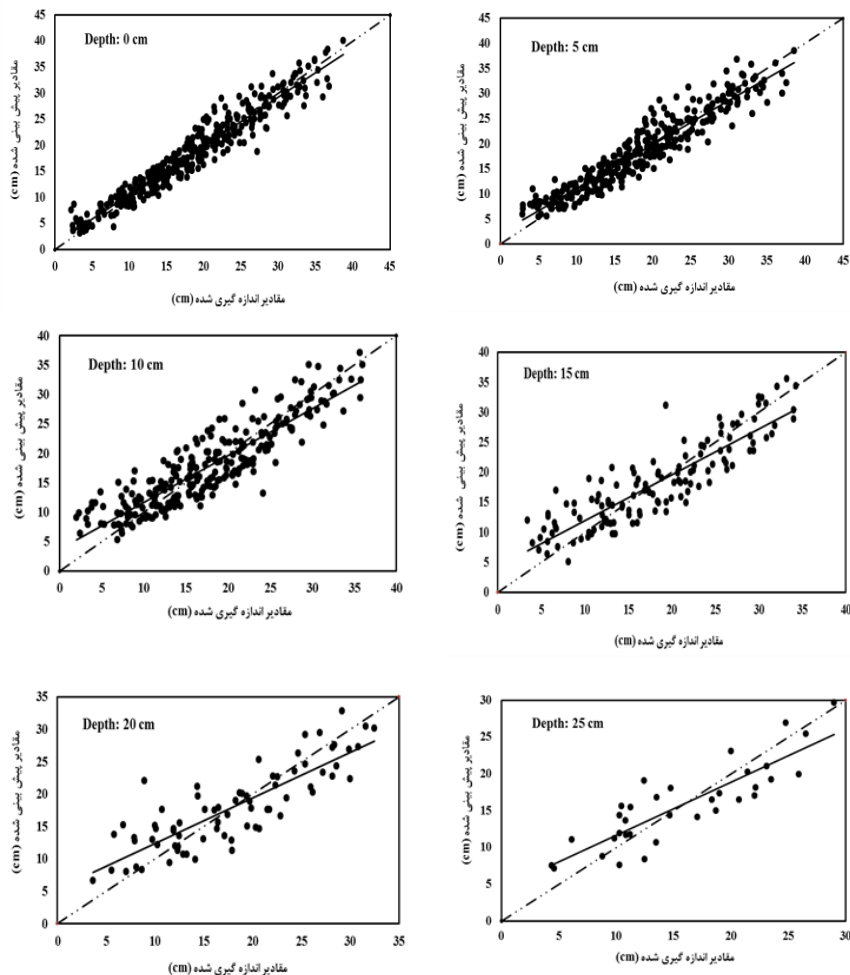


$$q=6 \frac{l}{h}, z=45\text{cm}$$

شکل ۴- پیاز رطوبتی اندازه‌گیری شده در مقایسه با مقادیر شبیه‌سازی شده در خاک شنی برای تیمارهای مختلف



شکل ۵- مقایسه داده‌های اندازه‌گیری و برآورد شده شعاع خیس‌شده پایین قطره‌چکان هر سه عمق در اعماق مختلف با خط ۱:۱



شکل ۶- مقایسه داده‌های اندازه‌گیری و برآورد شده شعاع خیس شده بالای قطره‌چکان هر سه خاک در اعماق مختلف با خط ۱:۱

نتیجه‌گیری

تخمین ابعاد پیاز رطوبتی در سامانه آبیاری قطره‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند به عنوان یک پارامتر مهم در طراحی و اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای لحاظ شود. این موضوع می‌تواند کمک قابل توجهی به تعیین دقیق فاصله بین لاترال‌ها و قطره‌چکان‌ها کند. عوامل زیادی روی ابعاد پیاز رطوبتی تأثیر می‌گذارد که برخی از این عوامل به خصوصیات فیزیکی خاک بر می‌گردد (شامل هدایت هیدرولیکی خاک، رطوبت اولیه خاک، لایه بندی خاک، چگالی ظاهری خاک و درصد های شن، سیلت و رس). بخشی دیگر از این عوامل مربوط به خصوصیات قطره‌چکان است که شامل دبی قطره‌چکان، زمان کاربرد آب و عمق نصب قطره‌چکان (در سامانه آبیاری

قطره‌ای زیرسطحی) در خاک است. هدف اصلی این پژوهش ارائه یک روابط جدید و در نظر گرفتن اکثر پارامترهای تأثیرگذار روی ابعاد پیاز رطوبتی است. در این پژوهش یک مدل تجربی به منظور تخمین ابعاد پیاز رطوبتی با در نظر گرفتن پارامترهای دبی قطره‌چکان، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، زمان آبیاری، جرم ویژه ظاهری خاک، عمق نصب قطره‌چکان، رطوبت اولیه، درصد شن، سیلت و رس برای سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی پیشنهاد شد. تفاوت مدل پیشنهادی با مدل‌هایی که قبلاً ارائه شده در این است که مدل حاضر در تمامی عمق‌های پیاز رطوبتی (جبهه بالای قطره‌چکان و جبهه پایین قطره‌چکان) و به فواصل یک سانتی‌متری، شعاع خیس شده (جبهه رطوبتی) را برآورد می‌کند. برای تمامی عمق‌های مورد

قبلی می‌تواند دارای عمومیت بیشتری باشد. این مدل با در نظر گرفتن پارامترهای لازم می‌تواند رفتارهای رطوبتی پیچیده خاک را آسان‌تر از مدل‌های قبلی شبیه‌سازی کند. استفاده از مدل پیشنهادی می‌تواند در طراحی دقیق سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و بهبود عملکرد آنها، نقش بسزایی ایفا کند.

بررسی، ضرایب معادلات بهینه شد و در نهایت شکل کامل پیاز رطوبتی برآورد گردید. نتایج مقایسه بین داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده نشان دادند که مدل پیشنهادی دارای عملکرد مناسبی است و می‌تواند جبهه پیشروی رطوبت در بالای و پایین محل قرارگیری قطره‌چکان را برآورد کند. مدل ارائه شده به دلیل در نظر گرفتن پارامترهای ورودی زیاد، برای شبیه‌سازی نسبت به مدل‌های

فهرست منابع

۱. اسماعیلی، ا.، سلطانی محمدی، ا. و برومندنسب، س. ۱۳۹۴. بررسی ابعاد پیاز رطوبتی آبیاری قطره‌ای نواری در اراضی شیب‌دار. مجله علمی کشاورزی، علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۹، شماره ۱، صفحات ۱۹۰-۱۸۱.
۲. تمجید، م.، بیگلویی، م.ح.، خالدیان، م.ر.، مریدنژاد، ع. و محمدی، ع. ۱۳۹۲. مقایسه رگرسیون خطی و شبکه‌های عصبی در برآورد ابعاد پیاز رطوبتی در اراضی شیب‌دار. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۴، صفحات ۲۴۶-۲۳۷.
۳. عزیزاده، ا. ۱۳۸۵. اصول طراحی سیستم‌های آبیاری تحت فشار. جلد دوم، چاپ پنجم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۳۶۷ صفحه.
۴. کریمی، ب.، سهرابی، ت.، میرزائی، ف. و آبابایی، ب. ۱۳۹۴. استخراج روابط تخمین سرعت پیشروی جبهه حرکت آب در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با کمک آنالیز ابعادی. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۱، صفحات ۱۰۱ تا ۱۱۲.
۵. نوروزیان، ز.، صدرالدینی، ع.ا.، ناظمی، ا.ح. و دلیرحسن نیا، ر. ۱۳۹۵. بررسی تجربی و عددی توزیع رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خاک‌های لایه‌ای و شیب‌دار. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۴، بخش ۱، صفحات ۲۷-۱۳.
6. Al-Ogaidi, A.A.M., Wayayok, A., Rowshona, M.K., and Abdullah, A.F. 2016. Wetting patterns estimation under drip irrigation systems using unenhanced empirical model. *J. Agric. Water Mang.* 176: 203-213.
7. Arbat, G., Puig-Bargués, J., Duran-Ros, M., Barragán, J., and Ramírez de Cartagena, F. 2013. Drip-Irrigator: Computer software to simulate soil wetting patterns under surface drip irrigation. *Comput. Electron. Agric.* 98: 183-192.
8. Cook, F.J., Thorburn, P.J., Fitch, P., Charlesworth, P.B., and Bristow, K.L. 2006. Modeling trickle irrigation: comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. *Environ Model Software*, 21: 1353-1359.
9. Malek, K., and Peters, R.T. 2011. Wetting pattern models for drip irrigation: new empirical model. *J. Irrig. Drain. Eng.* 137: 530-536.
10. Philip, J.R. and Knight, J.H. 1997. Steady infiltration flows with sloping boundaries. *J. Water Res. Research.* 33(8): 1833-1841.
11. Revol, P.H., Clothier, B.E., Vachaud, G., and Thony, J.L. 1991. Predicting the field characteristics of trickle irrigation. *J. Soil Tech.* 4: 125-134.
12. 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.

13. Tarek, K. Zin El-Abedin., Mohamed, A. Mattar. And Alazba, A. A. 2015. Soil wetting pattern from subsurface drip irrigation as affected by application Of A polyacrylamide Layer. *Irrig. And Drain.* 64: 609–618.

Simulation of Full Shape of Wetting Bulb in Subsurface Drip Irrigation System with Nonlinear Regression Model

B. Karimi ¹* and F. Alinazari

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

bakhtiar.karimi@gmail.com

MSc Student, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

an.fariba@gmail.com

Abstract

The wetted profile pattern is an important factor to consider when designing and managing a surface and subsurface drip irrigation systems. The knowledge of the pattern dimensions is imperative in choosing the suitable spacing between emitters and the correct distance between laterals. The experiments were carried out in a transparent plexiglass tank (0.5 *1.22 *3 m) using three different soil textures (sandy clay, sand clay loam, and sandy loam). The drippers were installed at 3 different soil depths (15, 30 and 45 cm). The emitter outflows were 2.4, 4 and 6 Lhr⁻¹ with irrigation duration of 6 hr. In this study, using the data obtained from the laboratory experiments and conducting the nonlinear regression analysis using Microsoft Excel Solver tool 2010, an empirical model was developed to predict the horizontal distribution of the wetting front for different application times. The suggested model includes estimation of the wetted radius at the top and bottom of the emitter horizontal axis as a function of emitter discharge, saturated hydraulic conductivity, water application time, soil bulk density, emitter installation depth, initial soil moisture content, and the percentages of sand, silt, and clay in the soil. We pursued a similar procedure in developing empirical formulas for estimating the wetted radius at different soil depths (by optimizing the coefficients of Equations) to predict the full shape of the wetting pattern. The best performance of the model was related to the depth of zero (on the emitter positioning axis), where the values of RMSE, MAE, ϵ and R^2 were 2.15, 1.7 cm, 14.85 % and 0.92, respectively. The lowest performance of the model was related to the depth of 20 cm from the emitter, where values of RMSE, MAE, ϵ and R^2 were 3.93, 3.26 cm, 37.55% and 0.75, respectively (R^2 coefficient was significant at 5% level). The results of this research showed that the suggested model predicted the full shape of wetting pattern with acceptable accuracy. Considering these models in designing subsurface drip irrigation systems could improve system performance.

Keywords: Wetted radius, Moisture advance front, Irrigation management

¹ - Corresponding author: Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan

*-Received: November 2018 , and Accepted: May 2019