



شبیه‌سازی شکل کامل پیاز رطوبتی در آبیاری قطره‌ای سطحی

بختیار کریمی^۱، شلیر صولت^۲

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۹/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۵

مقاله پژوهشی

چکیده

شبیه‌سازی توزیع و توزیع مجدد رطوبتی در خاک و همچنین آگاهی از ابعاد پیاز رطوبتی می‌تواند به‌عنوان یکی از معیارهای بهبود طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای مورد توجه باشد. جهت انجام آزمایش‌های این تحقیق از یک مدل فیزیکی پلکسی گلاس شفاف با ابعاد $(3m \times 1.22m \times 0.5m)$ استفاده شد. در این تحقیق از سه نوع بافت (متوسط، سنگین و سبک) مجزا استفاده گردید. همچنین دبی قطره‌چکان‌ها با زمان آبیاری ۶ ساعت و با مقادیر $2/4$ و 4 لیتر بر ساعت اعمال گردید. در این تحقیق با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی و با استفاده از آنالیز رگرسیون غیر خطی (با استفاده از نرم افزار اکسل ۲۰۱۰، Toolbar Solver)، یک مدل تجربی به منظور پیش بینی توزیع و توزیع مجدد افقی جبهه رطوبتی برای سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی ارائه گشت. به‌طور مشابه شعاع خیس شده پیاز رطوبتی (در فاز توزیع و توزیع مجدد رطوبت) در اعماق مختلف با بهینه کردن ضرایب پیش‌بینی شده و متناسب با آن شکل کامل پیاز رطوبتی برآورد شد. نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های پیشنهادی نشان داد که مقادیر R^2 بین $0/7$ تا $0/89$ ، شاخص آماری RMSE بین $1/54$ تا 3 سانتیمتر و مقادیر MAE نیز بین $1/38$ تا $2/6$ سانتیمتر برای فاز توزیع، نوسان دارد. همچنین شاخص‌های R^2 بین $0/6$ تا $0/92$ ، RMSE بین $2/15$ تا $3/93$ سانتیمتر و MAE نیز بین $1/7$ تا $3/67$ سانتیمتر در فاز توزیع مجدد رطوبت، متغیر است. با مقایسه نتایج بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده می‌توان نشان داد که مدل‌های پیشنهادی توانایی قابل قبولی در پیش‌بینی شکل جبهه رطوبتی در هر دو فاز توزیع و توزیع مجدد را دارند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای سطحی، توزیع مجدد رطوبت، پیاز رطوبتی، مدل‌سازی

^۱ - استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران، Email: bakhtiar.karimi@gmail.com

شماره تماس: ۰۹۳۷۹۸۳۲۱۲۴ (نویسنده مسئول)

^۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران،

Email: solat.sh1990@gmail.com، شماره تماس: ۰۹۱۸۴۵۷۰۳۱۸



مقدمه

با توجه به وضعیت کمبود آب در ایران و همچنین استفاده بهینه از منابع آب به خصوص در بخش کشاورزی، استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای (به دلیل بالا بودن راندمان آب) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (حقیقی، ۱۳۷۵). توزیع رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای و بررسی آن به‌عنوان یک موضوعی مهم، هم برای تحقیقات مزرعه‌ای و هم برای مدل‌سازی از اهمیت خاصی برخوردار است (Cote et al., 2003 & Thorburn et al., 2003). رسیدن به بیشینه بازده در آبیاری قطره‌ای مانند هر روش آبیاری دیگری مستلزم شناخت و تخمین مناسب خصوصیات و عوامل موثر آن می‌باشد. شناخت الگوی خیس شده‌ی خاک توسط منبع نقطه‌ای که اصطلاحاً به آن پیاز رطوبتی گفته می‌شود، نقش قابل توجهی در طراحی آبیاری قطره‌ای داشته و بر محاسبه‌ی عمق آب آبیاری، فاصله قطره‌چکان و فاصله لاترال‌ها موثر است (شریف نیا و همکاران، ۱۳۸۸). شکل و ابعاد پیاز رطوبتی، تأثیر قابل توجهی در کمیت و کیفیت عملکرد گیاهان زراعی دارد، به طوری که اگر ابعاد پیاز رطوبتی کمتر از میزان مورد نیاز گیاه باشد، گیاه قادر به جذب آب کافی نمی‌باشد و عملکرد گیاه کم می‌شود (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۴). یکی دیگر از شاخص‌هایی که برای شناخت الگوی خیس‌شدگی و بهبود عملکرد سیستم‌های آبیاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد، در نظر گرفتن الگوی توزیع مجدد رطوبتی می‌باشد که بعد از قطع زمان آبیاری در خاک اتفاق می‌افتد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲). پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که در نظر گرفتن مقادیر توزیع مجدد آب و موقعیت دقیق پیاز رطوبتی در آبیاری قطره‌ای موجب مصرف بهینه‌ی آب، انرژی و افزایش بهره‌وری آب از طریق کاهش تلفات می‌گردد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۳). چنانچه ابعاد پیاز رطوبتی بیشتر از نیاز گیاه باشد منجر به تلفات عمقی شده و چنانچه کمتر از این میزان باشد به گیاه تنش وارد می‌شود. بنابراین برای افزایش راندمان آبیاری،

اصلاح پیاز رطوبتی خاک، روشی مناسب می‌باشد. بدین منظور لازم است طراح، ابعاد خیس شده‌ی خاک را قبل از طراحی به خوبی تخمین زده و با توجه به عوامل تأثیرگذار در ابعاد پیاز رطوبتی، طراحی درستی از سیستم آبیاری اجرا نماید. پیشروی آب در خاک از یک منبع نقطه‌ای، به عوامل گوناگونی از جمله؛ دبی قطره‌چکان، مدت زمان آبیاری و چگالی ظاهری خاک بستگی دارد

(Neshat & Nasiri., 2012). در هر مزرعه، بافت خاک و شیب زمین، شاخص‌های ثابتی می‌باشند که تأثیر آنها در شکل پیاز رطوبتی قابل کنترل نیست اما طراح می‌تواند با تغییر دادن دبی و حجم آب خروجی از قطره‌چکان، به ابعاد خیس شده‌ی دلخواه دست یابد (خرمی و همکاران، ۱۳۹۲).

(Al-Ogaidi et al., 2016) یک مدل تجربی را برای توزیع افقی و عمودی در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی برای خاک‌های همگن و لایه‌ای پیشنهاد دادند و نتایج حاصل از این تحقیق نشان که مدل‌های ارائه شده دارای عملکرد مناسبی می‌باشند. کریمی و همکاران، (۱۳۹۴) با استفاده از قضیه π باکینگهام و آنالیز ابعادی و با در نظر گرفتن مشخصه‌های هدایت هیدرولیکی اشباع، دبی قطره‌چکان و زمان آبیاری مدل‌هایی را برای شبیه‌سازی الگوی خیس‌شده خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی ارائه دادند و نتایج ارزیابی این مدل نشان داد که این معادلات با دقت بالایی سطح خیس شده را پیش‌بینی می‌کنند. توزیع رطوبت در خاک پس از قطع زمان آبیاری، توزیع مجدد رطوبت گفته می‌شود. مقادیر توزیع مجدد رطوبت بسیار قابل توجه می‌باشد به طوری که لازم است در طراحی سیستم آبیاری مورد توجه قرار گیرد، با این حال در پژوهش‌های گذشته کمتر به این موضوع پرداخته شده است. (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲) در تحقیقی به بررسی توزیع مجدد رطوبتی در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی پرداختند و نتایج نشان داد که در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی مقادیر توزیع

مواد و روش ها

روش انجام آزمایش

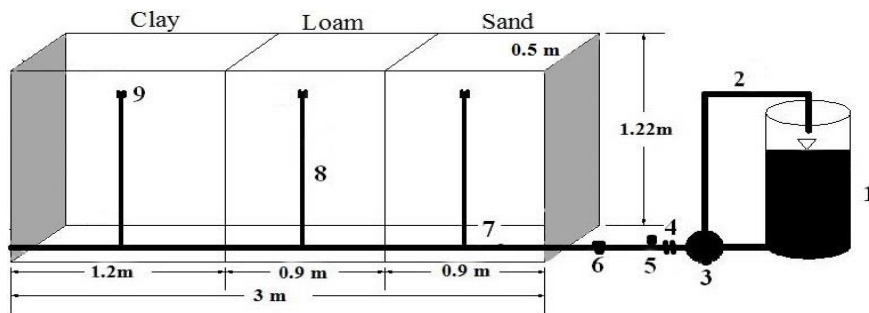
برای اندازه‌گیری میزان پدیده شوری آب، یک مدل فیزیکی از جنس پلک سی گلاس ساخته شد. جهت صرفه‌جویی در وقت مدل به سه قسمت مجزا تقسیم بندی شد و امکان انجام سه آزمایش به صورت همزمان میسر گردید. تجهیزات آبرسان مطابق با شرایط واقعی در مزرعه به انجام رسید. در شکل کلیه اتصالات و تجهیزات مورد استفاده در آزمایش آورده شده است که شامل: یک منبع ۲۵۰ لیتری به عنوان مخزن، یک لوله بای‌پس به منظور کاهش فشار وارد بر سیستم، لوله‌های اصلی، نیمه اصلی و فرعی به ترتیب با قطرهای ۵۰، ۲۰ و ۱۶ میلی‌متر در نظر گرفته شد. کلیه آزمایش‌ها فشار سیستم ۲ اتمسفر تنظیم شد. در این تحقیق آزمایش‌ها بر روی سه بافت متوسط، سنگین و سبک انجام گشت که مشخصات خاک‌های استفاده شده در جدول ۱ آورده شده است. طراحی مدل آزمایشگاهی به گونه‌ای انجام گرفت 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 مدل نتایج بود و دبی‌های اعمال شده ۲/۴ (Q₁) و ۴ (Q₂) لیتر در ساعت بود. مدت زمان آبیاری در کلیه تیمارها ۶ ساعت بود و مقادیر توزیع مجدد رطوبت نیز تا ۶۸ ساعت بعد از آبیاری و در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری گردید. با مدرج نمودن مدل آزمایشگاهی و ترسیم جبهه رطوبتی بر روی صفحه شفاف پلک سی گلاس، توزیع و توزیع مجدد جبهه رطوبتی در جهات مختلف افقی و عمودی در زمان‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان هر آزمایش از جبهه رطوبتی عکس‌هایی تهیه می‌شد که با استفاده از نرم افزار گرافر مختصات کلیه نقاط جبهه پیشروی محاسبه می‌گردید و سپس با داشتن مختصات نقاط و استفاده از نرم افزار

مجدد در جهت افقی و عمودی برای دبی‌های کم بیشتر از دبی‌های زیاد می‌باشد و در سیستم آبیاری زیر سطحی مقادیر توزیع مجدد در جهت افقی و عمودی برای دبی‌های زیاد بیشتر از دبی‌های کم می‌باشد. (خرمی و همکاران، ۱۳۹۲) در یک پژوهش، دقت مدل Hydrus 2D/3D در شبیه‌سازی حرکت آب و توزیع مجدد رطوبت را بررسی کردند. در این پژوهش ابتدا مدل توسط داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه واسنجی شد و سپس نتایج شبیه‌سازی شده با نتایج اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه شد. نتایج نشان داد که مدل مذکور توانایی بالایی در شبیه‌سازی میزان رطوبت در خاک دارد. (محمدبیگی و همکاران، ۱۳۹۵) در تحقیقی مقادیر توزیع مجدد رطوبت را برای دو روش آبیاری قطره‌ای پالسی و پیوسته مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که نسبت توزیع مجدد رطوبت به کل رطوبت در جهت افقی با سبک شدن بافت خاک افزایش می‌یابد. ولی مقدار آن در جهت عمودی برای هر دو روش آبیاری در خاک‌های سنگین نسبت به خاک‌های سبک بیشتر است. (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷) مدل جدیدی برای مقیاس‌سازی فرآیند توزیع مجدد بر پایه مدل گرین آمپت ارائه دادند این مدل به سادگی کاربرد مدل‌های تحلیلی و دقت مدل‌های عددی میزان رطوبت خاک را در هر عمق و در هر زمان در طول فاز توزیع مجدد پیش‌بینی می‌کند. با توجه به مطالعات صورت گرفته، مشخص می‌گردد که اکثر تحقیقات انجام گرفته به منظور تخمین توزیع و توزیع مجدد جبهه پیشروی رطوبت در جهت افقی و عمودی می‌باشد و هنوز مطالعه جامع و کاملی برای پیش‌بینی شکل کامل جبهه رطوبتی صورت نگرفته است. همچنین در اکثر مطالعات قبلی از متغیرهای ورودی کمتری برای شبیه‌سازی استفاده شده است که به نوبه خود از عمومیت مدل‌ها می‌کاهد اما هدف اصلی در تحقیق حاضر شبیه‌سازی شکل کامل جبهه رطوبتی در زمان توزیع و توزیع مجدد با در نظر گرفتن شاخص‌های ورودی بیشتر در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی می‌باشد.

اتوکید جبهه پیشروی پیاز رطوبتی در فاز توزیع و توزیع مجدد در زمان‌های مختلف محاسبه شد.

جدو(۱): خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده

| رطوبت وزنی اشباع (%) | هدایت هیدرولیکی اشباع (cmhr ⁻¹) | چگالی ظاهری (gcm ⁻³) | بافت خاک | رس (%) | سیلت (%) | شن (%) | بافت خاک |
|----------------------|---|----------------------------------|------------|--------|----------|--------|----------|
| ۳۷/۵ | ۶/۲۵ | ۱/۲ | رسی - شنی | ۳۶ | ۱۸ | ۴۶ | سنگین |
| ۳۴/۵ | ۹/۳۶ | ۱/۳۵ | لومرسی شنی | ۲۳ | ۲۲ | ۵۵ | متوسط |
| ۳۰/۱ | ۱۳/۳۱ | ۱/۴۵ | شنی - لومی | ۱۱ | ۱۳ | ۷۶ | سبک |



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.

سیلت و رس می‌باشد. بخشی دیگر از این عوامل مربوط به خصوصیات فنی و هیدرولیکی قطره‌چکان می‌باشد که شامل دبی قطره‌چکان، زمان کاربرد آب و عمق نصب قطره‌چکان (در سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی) در خاک می‌باشد. فرم کلی معادله پیشنهادی به صورت زیر می‌باشد.

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

ظاهری خاک (گرم بر سانتیمتر مکعب)، θ_i : رطوبت اولیه (درصد) و همچنین ضرایب α_1 تا α_9 ثابت‌های معادله هستند که برای اعماق مختلف z کالیبره گردید.

مدل پیشنهادی در فاز توزیع جبهه پیشروی رطوبت

با استفاده از داده‌های حاصل از نرم‌افزار گرافر برای پیش‌بینی جبهه‌ی پیشروی رطوبت در فاز توزیع، یک مدل تجربی به منظور تخمین ابعاد پیاز رطوبتی ارائه شد. عوامل تاثیرگذار در این مدل، مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک شامل: هدایت هیدرولیکی خاک، رطوبت اولیه خاک، چگالی ظاهری خاک و درصد های شن، R_z : شعاع خیس شدگی بالا و پایین قطره‌چکان در عمق... $z = 1, 2, 3, 4, \dots$ (سانتیمتر)، z عمق اندازه-گیری جبهه رطوبتی، t : مدت زمان آبیاری (دقیقه)، q : دبی قطره‌چکان (لیتر بر ساعت)، k_s : هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتیمتر بر ساعت)، s : درصد ذرات شن، Si : درصد ذرات سیلت، c : درصد ذرات رس، ρ_b : چگالی

نتایج و بحث

در این تحقیق شکل پیاز رطوبتی برای دو فاز توزیع و توزیع مجدد رطوبتی مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به فرمت کلی معادلات (معادلات ۱ و ۲) ضرایب معادلات ارزیابی گشت. به منظور شبیه‌سازی شکل کامل جبهه رطوبتی، با استفاده از داده‌های بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی و با استفاده از آنالیز رگرسیون غیرخطی (به کمک نرم افزار اکسل ۲۰۱۰، Toolbar Solver) ضرایب α_1 تا α_9 بهینه گردید. این ضرایب برای اعماق مختلف $z = 1, 2, 3, 4, \dots$ و به فواصل یک سانتیمتر پیش‌بینی شد. در فاز توزیع جبهه پیشروی رطوبت ضرایب بدست آمده برای تمامی اعماق کالیبره شد و در جدول ۲ ضرایب α_1 تا α_9 به صورت انتخابی در عمق‌های ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتری از سطح پایین قطره‌چکان آورده شده است. همچنین نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های پیشنهادی در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به جدول ۳ مشخص می‌گردد که ضریب همبستگی بین ۰/۷ تا ۰/۸۹ نوسان دارد و شاخص‌های آماری RMSE و MAE به ترتیب بین ۱/۵۴ تا ۳ و ۱/۳۸ تا ۲/۶ سانتیمتر نوسان دارند. نتایج شاخص‌های آماری نشان می‌دهد که این مدل‌ها عملکرد قابل قبولی در پیش‌بینی جبهه رطوبتی در فاز توزیع دارند و شاخص‌های آماری در محدوده قابل قبولی می‌باشند (Samadianfard et al., 2012). همچنین نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که بیشترین کارایی مدل مربوط به عمق صفر (در سطح خاک) می‌باشد (که پارامترهای آماری R^2 ، RMSE و MAE دارای مقادیر ۰/۸۹، ۱/۵۴ و ۱/۳۸ بودند) و کمترین کارایی مدل مربوط به اعماق پایین بود. دلیل این امر نیز بدین خاطر است که در نزدیکی محل قطره‌چکان (سطح خاک) تعداد داده‌های استفاده شده برای شبیه‌سازی بیشتر می‌باشد و با فاصله گرفتن از آن تعداد داده‌های کمتر می‌شود (چون جبهه پیشروی رطوبت دیرتر به اعماق می‌رسد پس تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده کمتر

مدل پیشنهادی در فاز توزیع مجدد جبهه پیشروی رطوبت

شکل پیاز رطوبتی در فاز توزیع مجدد رطوبتی (بعد از قطع زمان آبیاری) دارای تفاوت جزئی با توزیع رطوبتی حین آبیاری می‌باشد. تنها تفاوت این دو فاز رطوبتی به حجم آب کاربردی (V) بر می‌گردد که در زمان آبیاری به خاک منتقل شده است. در این بخش نیز عوامل تاثیر گذار شامل خصوصیات فیزیکی خاک و همچنین خصوصیات قطره‌چکان می‌باشد که در قسمت قبل توضیح داده شد.

$$R_z = \alpha_1 \times t^{\alpha_2} \times v^{\alpha_3} \times q^{\alpha_4} \times k_s^{\alpha_5} \times s^{\alpha_6} \times si^{\alpha_7} \times c^{\alpha_8} \times \rho_b^{\alpha_9} \times \theta_i^{\alpha_{10}} \quad (2)$$

در این معادله V : حجم آب کاربردی برلیتر و همچنین ضرایب α_1 تا α_{10} ثابت‌هایی هستند که به روش بهینه‌سازی برای اعماق مختلف Z کالیبره می‌گردد.

شاخص‌های آماری خطا

برای مقایسه عملکرد مدل‌های مورد بررسی و ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی شده شعاع خیس شده از شاخص‌های آماری میانگین خطای مطلق (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین در سطح پنج درصد (R^2) باکمک روابط ۳، ۴ و ۵ استفاده شد:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right]^{0.5} \quad (4)$$

$$MAE = \left| \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \right| \quad (5)$$

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



است) و این به نوبه خود بر عملکرد مدل‌ها تأثیر می‌گذارد.

جدول (۲): ضرایب معادلات مدل پیشنهادی در چند عمق انتخابی برای جبهه پیشروی در فاز توزیع رطوبت

| عمق (سانتیمتر) | α_1 | α_2 | α_3 | α_4 | α_5 | α_6 | α_7 | α_8 | α_9 |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| ۰ | ۰/۵۷ | ۰/۲۵ | -۰/۴۷ | ۰/۲۸ | ۰/۰۹۳ | -۰/۴۹ | ۰/۵۳ | ۰/۰۷۵ | ۰/۳۳ |
| ۵ | ۰/۵ | ۰/۳۱ | -۰/۳۶ | ۰/۲۵ | ۰/۱۶ | -۰/۲۹ | ۰/۳۲ | -۰/۲۱ | ۰/۳۳ |
| ۱۰ | ۰/۸۹ | ۰/۴۱ | -۰/۳۲ | ۰/۲۳ | ۰/۰۰۴ | -۰/۱ | ۰/۰۵ | -۰/۳۳ | ۰/۲۶ |
| ۱۵ | ۲/۴۷ | ۰/۴۲ | -۰/۳۸ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۷۳ | ۰/۱۶ | -۰/۲۷ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۲۸ |
| ۲۰ | ۰/۴۶ | ۰/۵۷ | -۰/۱۸ | ۰/۲۹ | ۰/۰۳ | -۰/۰۷ | -۰/۱۵ | -۰/۴۶ | ۰/۰۷۸ |
| ۲۵ | ۰/۲۷ | ۰/۷ | ۰/۲ | -۰/۰۱ | ۰/۰۵ | -۰/۳۴ | -۰/۵۳ | ۰/۳۸ | ۱/۴۴ |

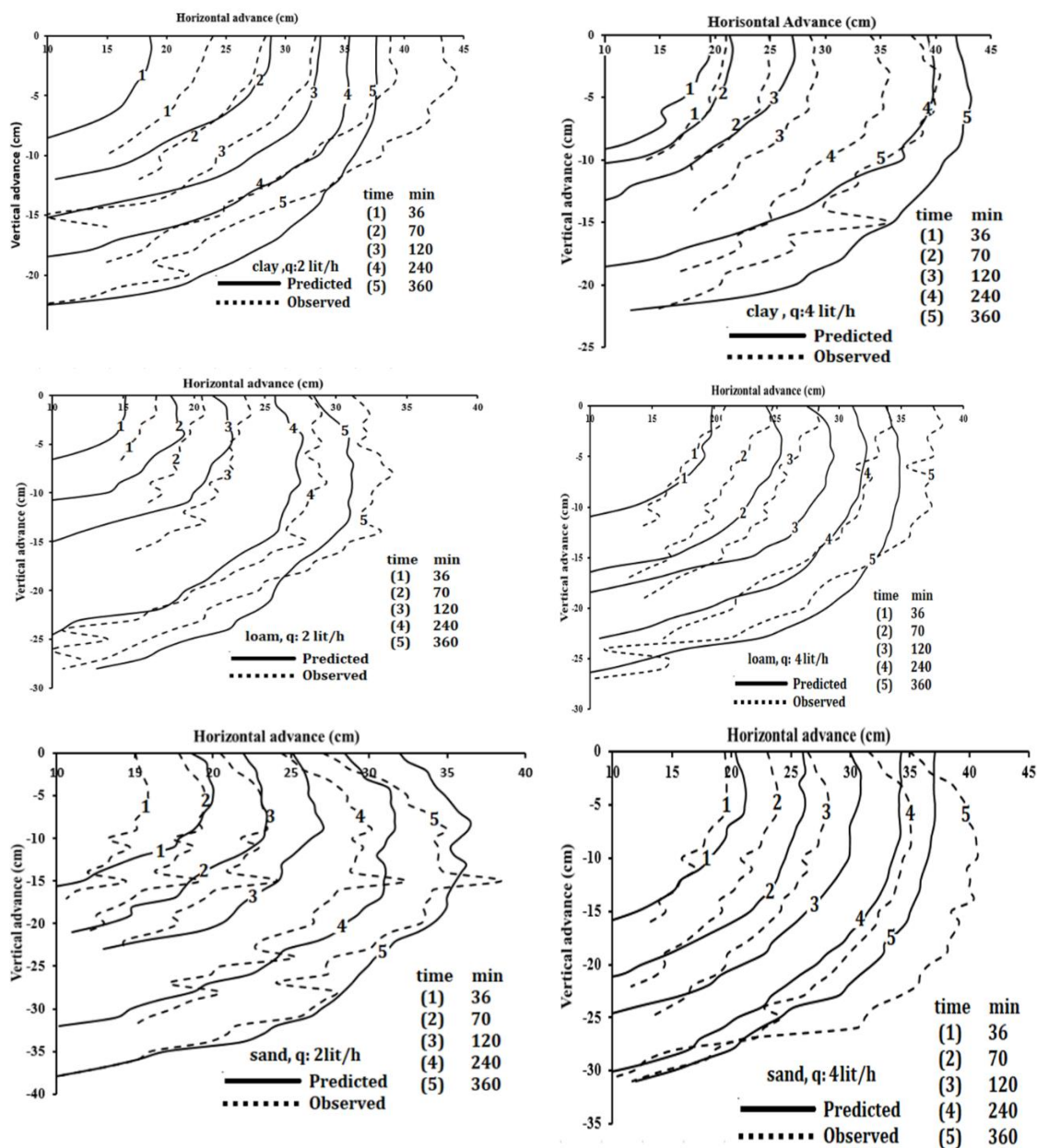
جدول (۳): شاخص‌های آماری خطا برای مدل پیشنهادی جهت تخمین جبهه پیشروی در اعماق انتخابی در فاز توزیع رطوبت

| عمق (سانتیمتر) | R^2 | (cm)RMSE | (cm)MAE |
|----------------|-------|----------|---------|
| ۰ | ۰/۸۹ | ۱/۵۴ | ۱/۳۸ |
| ۵ | ۰/۷۹ | ۲ | ۱/۸ |
| ۱۰ | ۰/۷۳ | ۱/۹۶ | ۱/۸ |
| ۱۵ | ۰/۷ | ۱/۸۵ | ۱/۷ |
| ۲۰ | ۰/۷۹ | ۱/۹۶ | ۱/۷۳ |
| ۲۵ | ۰/۸۵ | ۳ | ۲/۶ |



۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ دقیقه از شروع آبیاری و برای خاک- های رسی، لومی، شنی و برای دبی‌های ۲ و ۴ لیتر مقایسه شد. نتایج این اشکال نشان می‌دهد که مدل پیشنهاد شده به صورت قابل قبولی شکل کامل پیاز رطوبتی را پیش‌بینی می‌کند. شکل‌های ارائه شده نشان می‌دهد که گراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای هر سه بافت و هر دو دبی از نظر میزان انطباق وضعیت یکسانی دارد.

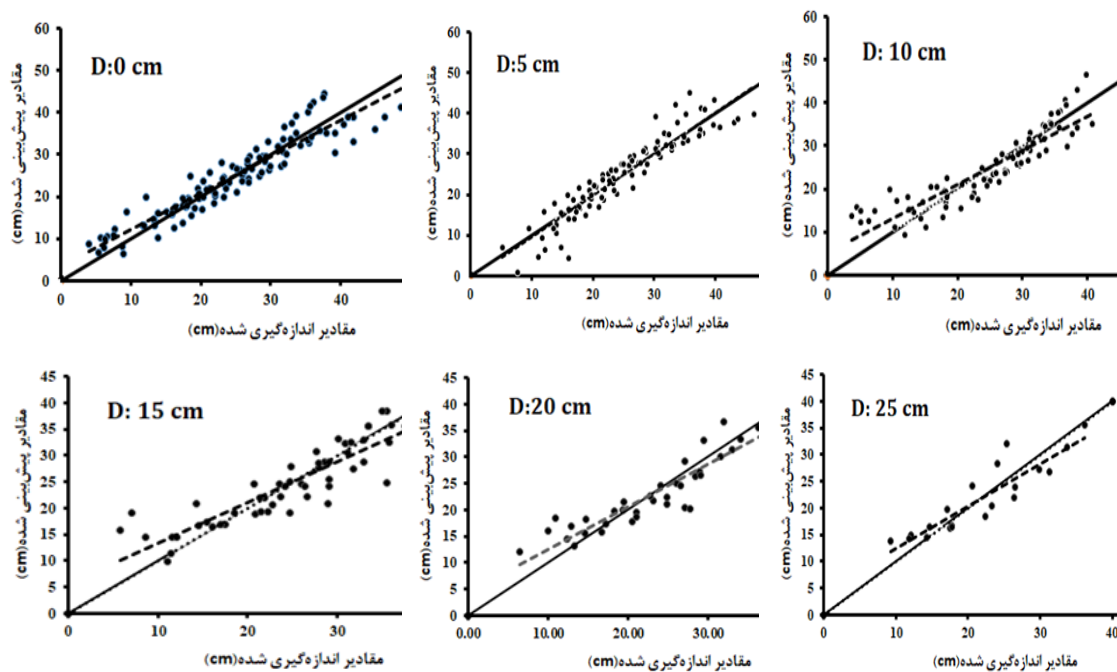
در مرحله بعد به‌منظور تخمین شکل کامل پیاز رطوبتی تمامی داده‌های محاسبه شده (در کلیه اعماق و به فواصل یک سانتیمتری) اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شد و در یک گراف همانند شکل ۲ ترسیم گشت. در تمامی این اشکال مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر شبیه‌سازی شده جبهه رطوبتی در زمانهای ۳۶، ۷۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ دقیقه



شکل (۲): مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر شبیه‌سازی شده توزیع پیشروی جبهه برای تیمارهای مختلف

می‌دهد که پراکندگی داده‌های شبیه‌سازی شده در محدوده‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد و این نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی از دقت قابل قبولی برخوردار است.

در شکل ۳ به ترتیب مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده شعاع خیس شده را نشان می‌دهد. (با خط ۱:۱) که این مقایسه برای اعماق صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتری می‌باشد. این نتایج نشان



شکل (۳): مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده جبهه توزیع رطوبت در اعماق مختلف با خط ۱:۱

اعماق کالیبره شد و در جدول ۴ ضرایب α_1 تا α_9 به صورت انتخابی در عمق‌های ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتری از سطح پایین قطره‌چکان آورده شده است. همچنین در جدول ۵ نتایج ارزیابی کارایی مدل‌های پیشنهادی آورده شده است. نتایج شاخص‌های آماری نشان داد که این مدل‌ها عملکرد قابل قبولی در پیش‌بینی جبهه رطوبتی در فاز توزیع دارند و شاخص‌های آماری در بازه قابل قبولی می‌باشند (Samadianfard et al., 2012).

همچنین با توجه به فرمت کلی معادله ۲ ضرایب معادلات مربوط به فاز توزیع مجدد مورد ارزیابی قرار گرفت. مشابه شبیه‌سازی در فاز توزیع، در این بخش نیز با استفاده از داده‌های بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی و با استفاده از آنالیز رگرسیون غیرخطی (به کمک نرم افزار اکسل ۲۰۱۰، Toolbar Solver) ضرایب α_1 تا α_{10} بهینه گردید. این ضرایب برای اعماق مختلف $Z = 1, 2, 3, 4, \dots$ و به فواصل یک سانتیمتر پیش‌بینی شد. در فاز توزیع مجدد جبهه پیشروی رطوبت نیز ضرایب بدست آمده برای تمامی

پایین می‌باشد. دلیل این امر نیز مشابه فاز توزیع بدین خاطر است که در نزدیکی محل قطره‌چکان (سطح خاک) تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده برای مدل‌سازی بیشتر می‌باشد و با فاصله گرفتن از آن تعداد داده‌های کمتر می‌شود و این به نوبه خود بر عملکرد مدل‌ها تأثیر می‌گذارد. سپس به منظور تخمین شکل کامل پیاز رطوبتی در فاز توزیع مجدد تمامی داده‌های (در کلیه اعماق و به فواصل یک سانتیمتری) اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با هم مقایسه گردید.

با توجه به جدول ۵ مشخص می‌گردد که ضریب همبستگی بین ۰/۶ تا ۰/۹۲ نوسان دارد و همچنین شاخص‌های آماری $RMSE$ و MAE به ترتیب بین ۲/۱۵ تا ۳/۹۳ و ۱/۷ تا ۳/۶۷ سانتیمتر نوسان دارند. همچنین نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین کارایی مدل مربوط به عمق صفر (در سطح خاک) می‌باشد (که شاخص‌های آماری خطا به ترتیب مقادیر R^2 ، $RMSE$ و MAE به ترتیب مقادیر ۰/۹۲، ۲/۱۵ و ۱/۷ می‌باشد) و کمترین کارایی مدل مربوط به اعماق

جدول (۴): ضرایب معادلات مدل پیشنهادی در چند عمق انتخابی برای جبهه پیشروی رطوبت در فاز توزیع مجدد

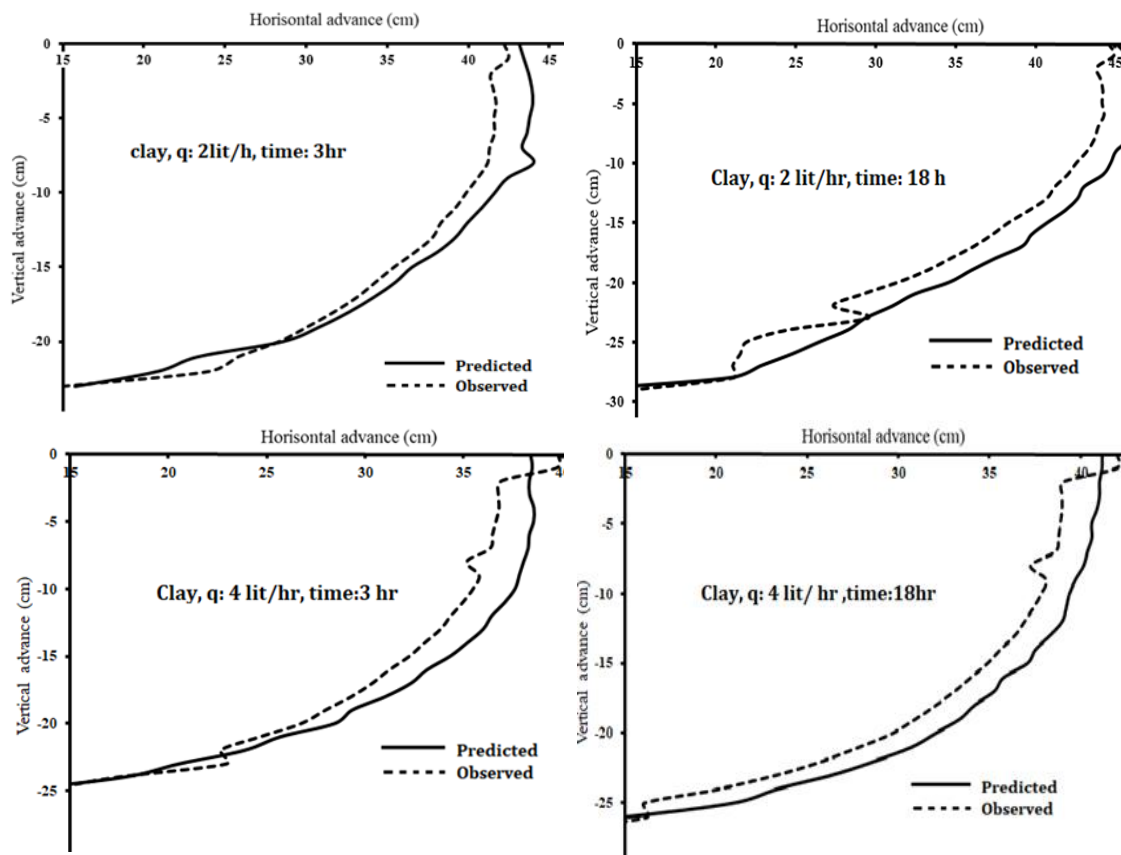
| عمق (سانتی متر) | α_1 | α_2 | α_3 | α_4 | α_5 | α_6 | α_7 | α_8 | α_9 | α_{10} |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|
| ۰ | ۰/۵۷ | ۰/۰۳ | ۰/۲ | ۰/۰۸ | ۰/۲۸ | ۰/۳۸ | -۰/۴۷ | ۰/۴۷ | ۰/۱۳ | ۰/۶۲ |
| ۵ | ۰/۶۳ | ۰/۰۳ | ۰/۱۴ | -۰/۰۸ | ۰/۳۴ | ۰/۴۱ | -۰/۳۵ | ۰/۴۶ | ۰/۱۹ | ۰/۴۹ |
| ۱۰ | ۱/۶۵ | ۰/۰۳۷ | -۰/۰۳ | ۰/۰۴ | ۱/۰۶ | -۰/۰۱ | -۰/۴۳ | ۰/۵۷ | -۰/۹۸ | ۰/۳۶ |
| ۱۵ | ۱/۶۷ | ۰ | -۰/۰۳ | ۰/۰۱۹ | ۱/۰۹ | ۰ | -۰/۳۳ | ۰/۴۹ | -۱/۰۵ | ۰/۲۷ |
| ۲۰ | ۰/۵۷ | ۰/۰۶ | ۰/۱۲ | -۰/۱۶ | ۰/۳۹ | ۰/۵۱ | -۰/۱۴ | ۰/۳۴ | ۰/۲ | ۰/۱ |
| ۲۵ | ۰/۳۳ | ۰/۱ | -۰/۰۹ | -۰/۰۹ | ۰/۶ | ۰/۳۵ | ۰/۴۷ | -۰/۲۱ | ۰/۳۲ | ۰/۶۷ |

جدول (۵): شاخص‌های آماری خطا برای مدل پیشنهادی جهت تخمین جبهه پیشروی در اعماق انتخابی در فاز توزیع مجدد

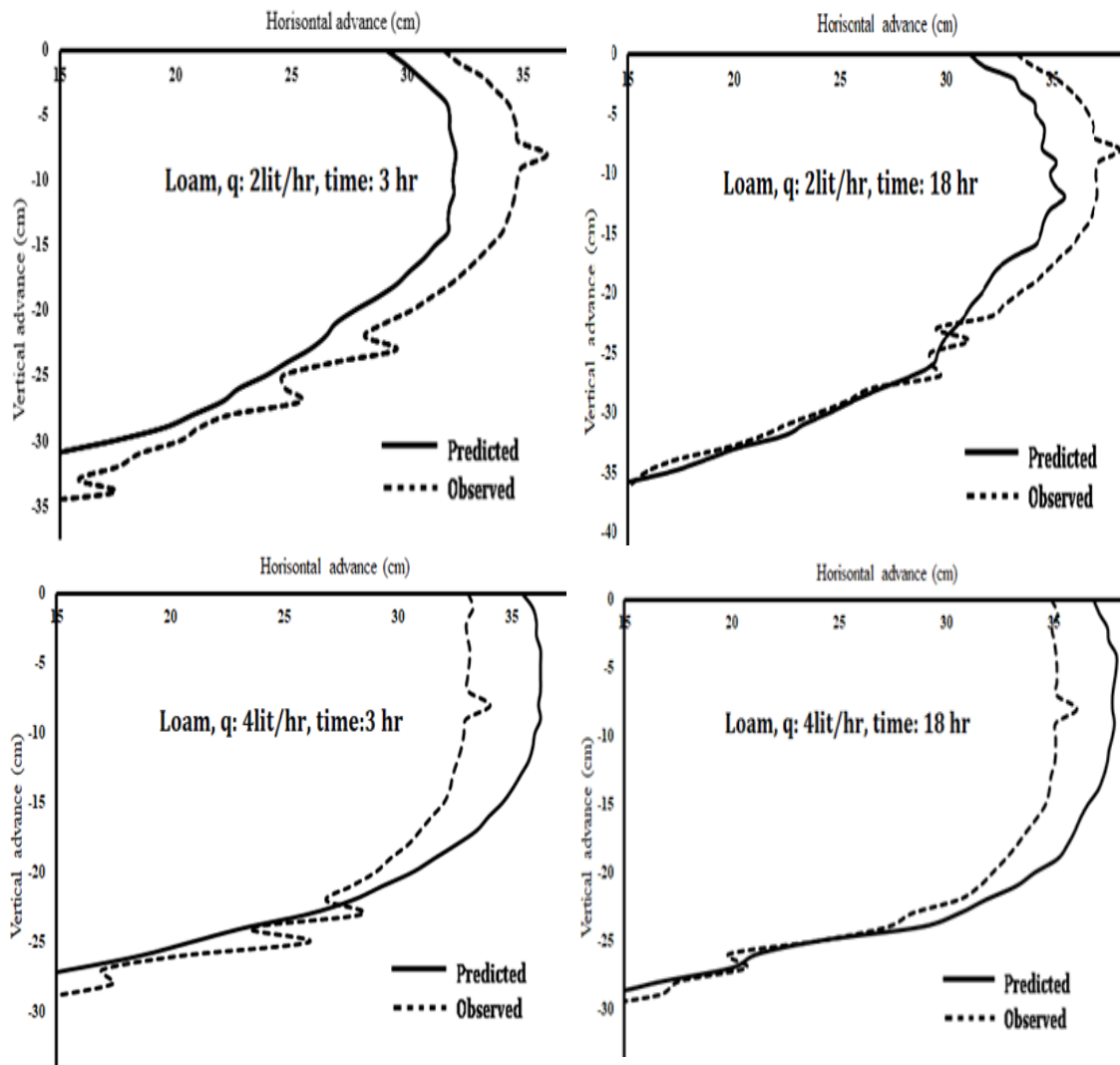
| عمق (سانتیمتر) | R ² | (cm)RMSE | (cm)MAE |
|----------------|----------------|----------|---------|
| ۰ | ۰/۹۲ | ۲/۱۵ | ۱/۷ |
| ۵ | ۰/۸۹ | ۲/۵۱ | ۱/۹۴ |
| ۱۰ | ۰/۸۱ | ۳/۱۲ | ۲/۴۴ |
| ۱۵ | ۰/۶ | ۳/۸۵ | ۳/۰۴ |
| ۲۰ | ۰/۷۵ | ۳/۹۳ | ۳/۲۶ |
| ۲۵ | ۰/۷۶ | ۳/۰۱ | ۳/۶۷ |

بنابراین دقت مدل افزایش می‌یابد. شکل ۷ مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در فاز توزیع مجدد را نشان می‌دهد (با خط ۱:۱) که این مقایسه به ترتیب برای اعماق صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتری می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های پیشنهادی به خوبی شکل پیاز رطوبتی را در فاز توزیع مجدد پیش‌بینی کرده‌اند.

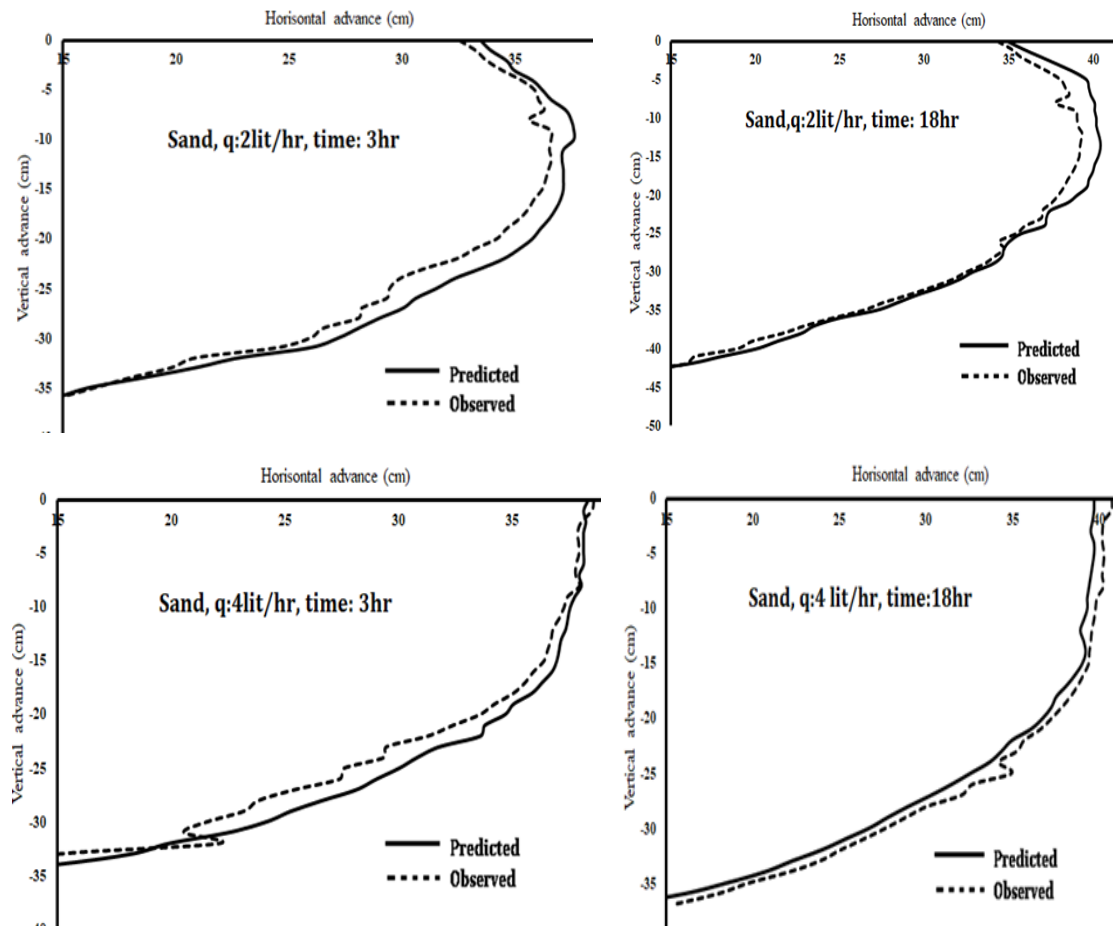
در شکل ۴ نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های پیشنهادی برای پیش‌بینی توزیع مجدد رطوبتی در خاک رسی عملکرد مناسبی را دارد. همچنین قابل ذکر است توزیع مجدد رطوبتی در تمامی شکل‌های توزیع مجدد فقط برای زمان‌های ۳ و ۱۸ ساعت پس از قطع زمان آبیاری ترسیم شده است. همچنین به‌طور مشابه نتایج شکل‌های ۵ و ۶ نیز نشان می‌دهد که مدل پیشنهاد شده در فاز توزیع مجدد نیز به صورت قابل قبولی شکل کامل پیاز رطوبتی را به ترتیب برای خاک‌های لومی و شنی پیش‌بینی می‌کند. با مقایسه‌ی گراف‌های توزیع و توزیع مجدد می‌توان نتیجه گرفت که گراف‌های مربوط به فاز توزیع مجدد دارای انطباق بیشتری میان منحنی‌های مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد. بنابراین مدل ارائه شده نشان‌دهنده‌ی آن است که با گذشت زمان و پس از قطع آبیاری، فاصله‌ی بین منحنی‌های مشاهداتی و محاسباتی کمتر می‌شود،



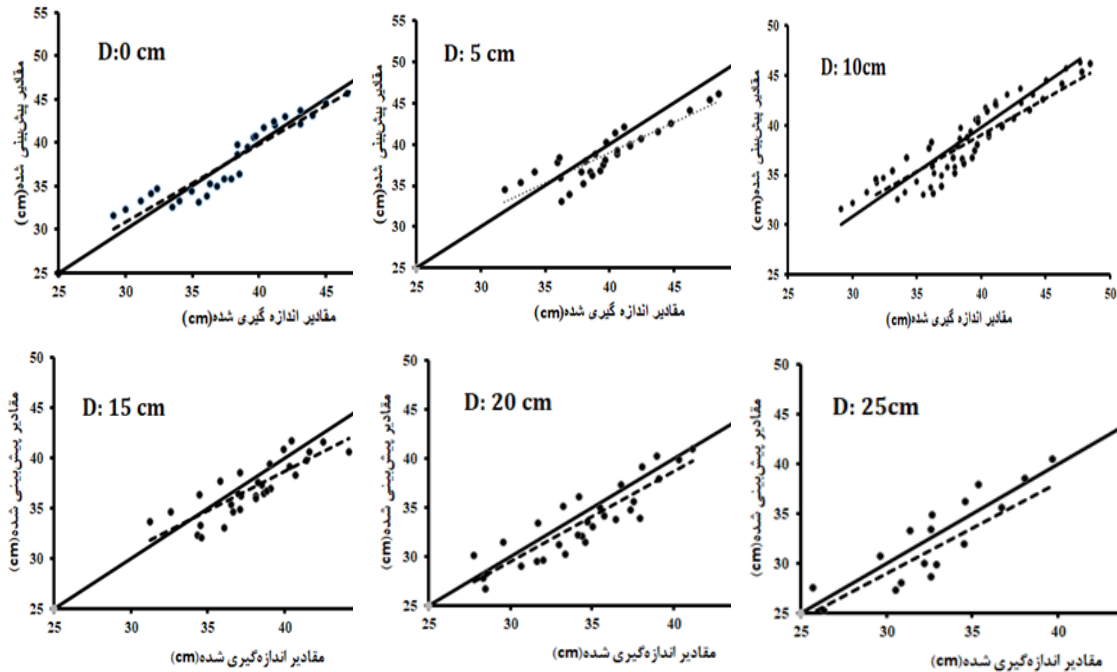
شکل (۴): مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر شبیه‌سازی شده توزیع مجدد رطوبتی در تیمارها مختلف برای خاک رسی



شکل (۵): مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر شبیه‌سازی شده توزیع مجدد رطوبتی در تیمارها مختلف برای خاک لومی



شکل (۶): مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر شبیه‌سازی شده توزیع مجدد رطوبتی در تیمارها مختلف برای خاک شنی



شکل (۷): مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده جبهه توزیع رطوبت در اعماق مختلف با خط ۱:۱

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های پیشنهادی نشان داد که ضریب همبستگی بین ۰/۷ تا ۰/۸۹ برای فاز توزیع و ۰/۶ تا ۰/۹۲ برای فاز توزیع مجدد نوسان دارد. پارامتر آماری RMSE بین ۱/۵۴ تا ۳ در فاز توزیع و ۲/۱۵ تا ۳/۹۳ در فاز توزیع مجدد متغیر است. مقادیر MAE نیز برای فاز توزیع به ترتیب بین ۱/۳۸ تا ۲/۶ سانتیمتر و برای فاز توزیع مجدد مابین ۱/۷ تا ۳/۶۷ سانتیمتر تغییر می‌کند. نتایج مقایسه بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده نشان داد که معادلات ارایه شده در این مطالعه، قادرند با دقت مناسبی شکل کامل پیاز رطوبتی را پیش‌بینی کنند. کاربرد این معادلات در طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی می‌تواند منجر به بهبود عملکرد این سیستم‌ها شود.

تحقیق حاضر با هدف ارایه روابط تجربی و به کمک رگرسیون غیرخطی و با در نظر گرفتن مشخصه‌های فیزیکی خاک و شاخص‌های هیدرولیکی قطره-چکان، برای شبیه‌سازی شکل کامل جبهه پیشروی رطوبت در فاز توزیع و توزیع مجدد، جمع‌آوری شد. این مدل پیشنهادی بر خلاف مدل‌هایی که قبلاً ارایه شده است، در تمامی عمق‌ها به فواصل یک سانتیمتری از محل قرارگیری قطره‌چکان، شعاع جبهه رطوبتی را پیش‌بینی کرده و برای تمامی عمق‌های مورد بررسی ضرایب معادلات بهینه گردید و در نهایت شکل کامل پیاز رطوبتی در فاز توزیع و توزیع مجدد برآورد شد.

منابع

- اسماعیلی، ا.، ا. سلطانی محمدی و س. برومندنسب. ۱۳۹۴. بررسی ابعاد پیاز رطوبتی آبیاری قطره‌ای نواری در اراضی شیب‌دار. مجله علمی کشاورزی، علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۹، شماره ۱، ص ۱۹۰-۱۸۱.



- حقیقی، ب. ۱۳۷۵. اثر پارامترهای آبیاری بر روی درصد سطح خیس شده در آبیاری قطره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۱۸ صفحه.
- خرمی، م.، م. سیاسی‌ارانی، ا. علیزاده و ح. انصاری. ۱۳۹۲. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد ابعاد پیاژ رطوبتی در یک خاک لومی تحت آبیاری قطره‌ای. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۷. شماره ۳. ص ۴۱۱-۴۰۴.
- شریف نیا، ر.، ف. میرزایی و ع. م. لیاقت. ۱۳۸۸. عوامل موثر بر شکل خیس‌شدگی خاک در آبیاری قطره‌ای و اصلاح موقعیت قطره چکان در اراضی شیب‌دار. مجله پژوهش آب ایران. سال سوم. شماره ۵. ص ۱۶-۹.
- صادقی، م.، ب. قهرمان و ک. داوری. ۱۳۸۷. مقیاس سازی و پیش‌بینی نیمرخ رطوبت خاک در فاز توزیع مجدد. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۲. شماره ۲. ص ۴۱۷-۴۳۱.
- محمدبیگی، آ.، ف. میرزایی و ن. اشرف. ۱۳۹۵. بررسی و مقایسه توزیع مجدد رطوبت در آبیاری قطره‌ای با جریان پالسی و جریان پیوسته. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران. جلد ۴۷. شماره ۳. ص ۴۷۳-۴۶۷.
- کریمی، ب.، ف. میرزایی و ت. سهرابی. ۱۳۹۲. ارزیابی توزیع مجدد جبهه پیشروی آب در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. نشریه دانش آب و خاک. جلد ۲۳. شماره ۳. ص ۱۹۲-۱۸۳.
- کریمی، ب.، ت. سهرابی، ف. میرزایی و ب. آبابایی. ۱۳۹۳. ارایه روابطی برای پیش‌بینی الگوی توزیع مجدد رطوبت خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به روش آنالیز ابعادی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد ۲۱. شماره ۶. ص ۲۳۷-۲۲۳.
- کریمی، ب.، ف. میرزایی و ت. سهرابی. 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، ص ۲۴۱ تا ۲۵۲.

- Al-Ogaidi, A. A., A. Wayayok, M. K. Rowshon and A. F. Abdullah. 2016. Wetting patterns estimation under drip irrigation systems using an enhanced empirical model. *Agricultural Water Management*, 176: 203-213.
- Cote, C. M., K. L. Bristow, P. B. Charlesworth, F. J. Cook and P. J. Thorburn. 2003. Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. *Irrig. Sci.* 22:143-156.
- Neshat, A., and S. Nasiri. 2012. Finding the optimized distance of emitters in the drip irrigation in loam-sandy soil in the Ghaeme Abad plain of Kerman, Iran. *Middle-East J Sci Res*, 11: 426-434.
- Thorburn, P. J., F. J. Cook and K. L. Bristow. 2003. Soil- dependent wetting from trickle emitters: Implications for system design and management. *Irrig. Sci.* 22: 121-127.
- Samadianfard, S., A. A. Sadraddini, A. H. Nazemi, G. Provenzano, O. Kisi. 2012. Estimating soil wetting patterns for drip irrigation using genetic programming. *Spanish J. Agric. Res.* 10:1155-1166.



Full shape of moisture bulb simulating in surface drip irrigation

Bakhtiar Karimi¹, Shelir Solat²

Abstract

Simulation of soil moisture distribution and redistribution, as well as knowledge about wetted dimension in drip irrigation can be considered as important criteria for improving the drip irrigation design. The experiments were carried out in a transparent plexy-glass tank (0.5m * 1.22m * 3m) using three different soil textures (i.e. medium, heavy and fine). The emitter outflows were considered as 2.4 and 4 lit/hr with irrigation duration equal to 6hr. In this study, nonlinear regression method (i.e. Microsoft Excel Solver tool 2010) based on experimental data was utilized to develop empirical model for estimating the horizontal distribution of the wetting front in surface drip irrigation. Similarly, the radius of wetted bulb (in the distribution and redistribution phase) at different depths was estimated by optimizing the calculated coefficients of equations and finally, the full shape of the wetting pattern was simulated. The results of proposed models based on performance criteria showed that for distribution phase, the values of R², RMSE and MAE varied between 0.7-0.89, 1.54-3 cm and 1.38-2.6 cm, respectively. Furthermore, for redistribution phase the R², RMSE and MAE ranges were 0.6-0.92, 2.15-3.93 cm and 1.7-3.67, respectively. The comparison results of measured and simulated data revealed that proposed models can predict the shape of the moisture front in both distribution and redistribution phases with good accuracy.

Keywords: modeling, moisture redistribution, surface drip irrigation, wetting bulb

¹ - Assistant professor, Department of water science and Engineering, Faculty of Agricultural, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran (bakhtiar.karimi@gmail.com) (corresponding)

² - M.Sc student, Department of water science and Engineering, Faculty of Agricultural, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran (solat.sh1990@gmail.com)