



دانشگاه گولستان و منابع مهندسی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره ششم، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

ارایه روابطی برای پیش‌بینی الگوی توزیع مجدد رطوبت خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به روش آنالیز ابعادی

*بختیار کریمی^۱، تیمور سهرابی^۲، فرهاد میرزایی^۳ و بهنام آبابایی^۴

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه کردستان، استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۹

چکیده

مدل‌سازی الگوی توزیع مجدد رطوبت بعد از زمان آبیاری و در نظر گرفتن این پارامتر در طراحی می‌تواند به‌عنوان یکی از معیارهای افزایش بهره‌وری مصرف آب در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی محسوب گردد. در این مطالعه، آزمایش‌ها در یک مدل پلکسی‌گلاس شفاف با ابعاد $3 \times 1/22 \times 0/5$ (متر) و بر روی سه نوع بافت (متوسط، سنگین و سبک) به انجام رسید. قطره‌چکان‌ها در چهار عمق صفر (سطحی)، 15 (H_1)، 30 (H_2) و 45 (H_3) سانتی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفتند. دبی قطره‌چکان‌ها با زمان آبیاری ۶ ساعت و با مقادیر $2/4$ (Q_1) و 4 (Q_2) لیتر در ساعت اعمال گردید. سپس، به کمک قضیه π باکینگهام و با استفاده از آنالیز ابعادی روابطی به‌منظور تخمین الگوی توزیع مجدد رطوبت بعد از زمان آبیاری در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی ارایه گردید که تابعی از حجم آب کاربردی در زمان آبیاری، هدایت هیدرولیکی خاک و مدت زمان سپری شده بعد از پایان آبیاری می‌باشد. نتایج مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده نشان داد که این مدل‌ها با دقت بالایی الگوی توزیع مجدد را پس از پایان آبیاری پیش‌بینی می‌کنند. با به‌کارگیری این روابط در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، می‌توان عملکرد این سیستم‌ها را به‌میزان قابل‌توجهی بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: آنالیز ابعادی، الگوی توزیع مجدد، آبیاری قطره‌ای سطحی، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی،

مدیریت بهینه

* مسئول مکاتبه: bakhtiar.karimi@gmail.com

مقدمه

بررسی توزیع رطوبت به‌عنوان یک موضوعی مهم، هم برای پژوهش‌های مزرعه‌ای و هم برای مدل‌سازی از اهمیت خاصی برخوردار است (گیلی و آرد، ۱۹۷۴؛ برسلر، ۱۹۷۸؛ دیرکسن، ۱۹۷۸؛ فیلیپ، ۱۹۹۱؛ کوت و همکاران، ۲۰۰۳؛ توربرن و همکاران، ۲۰۰۳). پژوهشگران به‌منظور افزایش توزیع مجدد آب در نزدیکی سطح زمین، استفاده از موانع نفوذناپذیر پلاستیکی در زیر لاترال‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) را پیشنهاد کرده‌اند. این موانع به‌عنوان یک لایه نفوذناپذیر، باعث ایجاد یک سطح آب در زیر لاترال‌ها و حرکت آب به‌سمت افقی و بالا شده و همچنین از تلفات نفوذ عمقی جلوگیری می‌کنند. تلاش‌های زیادی به‌منظور تجاری‌کردن این اهداف صورت گرفته است. اما هنوز مشخص نیست که آیا هزینه اضافی این موانع و همچنین هزینه نصب آن‌ها با توجه به برتری‌های ذکر شده، از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه است یا خیر (لام و همکاران، ۲۰۰۷). المال اغلو و دیامان توپوس (۲۰۰۹) توزیع مجدد رطوبت را در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی برای دو روش مختلف آبیاری (پیوسته و متناوب) و در شرایط آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که وجود پدیده توزیع مجدد رطوبت باعث کاهش تلفات آب به‌صورت نفوذ عمقی شده و تأثیر آن در قطره‌چکان‌هایی با دبی بیشتر، بیش از قطره‌چکان‌هایی با دبی کم‌تر است. نکته قابل ذکر در این گونه مطالعات این است که توزیع رطوبت در شرایط مختلف مدیریتی، ولی در حین آبیاری بررسی گردیده است. کوک و همکاران (۲۰۰۶) دو مدل Wet up و HYDRUS را منظور تخمین جبهه رطوبتی در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی مقایسه کردند و دریافتند که مدل عددی HYDRUS پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به مدل تحلیلی Wet up دارد. چراکه در مدل تحلیلی، یک سری فرضیات برای حل معادله به‌کار رفته است که باعث شده نتایج آن با نتایج واقعی اختلاف زیادی داشته باشد. میرزایی و همکاران (۲۰۰۵) به‌منظور شبیه‌سازی جبهه رطوبتی، روابطی را با دخالت عوامل فیزیکی مؤثر بر حجم خاک مرطوب شده در زیر منبع تغذیه خطی و با استفاده از قضیه π باکینگهام و آنالیز ابعادی به‌دست آوردند. در نهایت این رابطه‌ها با داده‌های اندازه‌گیری‌شده واسنجی شد و رابطه‌های علمی تجربی به‌دست آمد که هم‌خوانی بسیار خوبی با نتایج آزمایش‌ها داشتند. علاوه‌بر آن، معادله‌های ارایه شده تابعی از زمان هستند و در هر زمان امکان محاسبه قطر و عمق خاک خیس شده وجود دارد. لی و همکاران (۲۰۰۴) توزیع جبهه رطوبتی را در آبیاری قطره‌ای برای دو نوع بافت خاک لومی و شنی مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفتند که می‌توان شکل توزیع جبهه رطوبتی را

برای آبیاری قطره‌ای به صورت توابع نمایی نشان داد و همچنین به این نتیجه رسیدند که افزایش دبی باعث گسترش بیش‌تر جبهه رطوبتی در جهت افقی و کاهش دبی باعث گسترده‌گی آن عمقی می‌شود. مشکات و همکاران (۱۹۹۹) یکی از راه‌های مؤثر برای بهینه کردن برنامه‌ریزی آبیاری را استفاده از حل عددی معادلات جریان برای شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک بیان کرده‌اند. کندلوس و سیمونک (۲۰۱۰a) مدل تحلیلی Wet up و مدل عددی HYDRUS و مدل‌های تجربی شوارتزمان و کندلوس و امین را برای تخمین الگوی جبهه رطوبتی در سیستم آبیاری قطره‌ای مقایسه کردند و مقایسه مقادیر مشاهده و اندازه‌گیری شده نشان داد که مدل HYDRUS نسبت به دیگر روش‌ها دارای خطای کم‌تری می‌باشد. لازارویچ و همکاران (۲۰۰۷) روش تحلیلی گشتاور را برای تخمین زمانی و مکانی جبهه رطوبتی در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی پیشنهاد دادند. سینگ و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از روش آنالیز ابعادی به شبیه‌سازی الگوی هندسی توزیع رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (با عمق نصب ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر) پرداختند و مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان داد که مدل آنالیز ابعادی توانایی قابل‌توجهی در پیش‌بینی جبهه رطوبتی دارد. یکی از پارامترهای مهمی که برای طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای باید در نظر گرفته شود، توزیع مجدد رطوبت بعد از آبیاری می‌باشد. بسته به موقعیت نصب لاترال‌ها از سطح زمین و دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها، مقادیر توزیع مجدد در جهت عمودی و افقی قابل بررسی است. بنابراین، هدف از این پژوهش، ارائه رابطه‌هایی به منظور تخمین توزیع مجدد رطوبت در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی متناسب با حجم آب کاربردی و دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تئوری آنالیز ابعادی: تاکنون مطالعات زیادی در زمینه توزیع رطوبت و جبهه رطوبتی در هنگام آبیاری صورت گرفته است. در حالی که مطالعات کمی در ایران و جهان در زمینه توزیع مجدد رطوبت بعد از آبیاری صورت گرفته است. بسته به موقعیت نصب لاترال‌ها از سطح زمین و دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها، مقادیر توزیع مجدد رطوبت در جهت عمودی، حرکت افقی آب و خیز جبهه آب به سمت بالا قابل بررسی است. در این مطالعه، رابطه کلی در ارزیابی توزیع مجدد رطوبت در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای به شرح رابطه ۱ نوشته می‌شود (میرزایی و همکاران، ۲۰۰۵؛ سینگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ لازارویچ و همکاران، ۲۰۰۷):

$$f(D_{re}, Z_{re}, q, K_s, V, t) = 0 \quad (۱)$$

که در آن، پارامترهای D_{re} و Z_{re} به ترتیب توزیع مجدد آب در جهت افقی و عمودی و مساحت خیس شده بعد از زمان قطع آبیاری می‌باشد و پارامترهای دیگر به ترتیب دبی قطره‌چکان، هدایت هیدرولیکی خاک، حجم آب کاربردی، زمان آبیاری هستند. در این رابطه‌ها، ۶ متغیر بعددار و دو متغیر اصلی (L و T) وجود دارند که در نتیجه آن، $n - m = 4$ عدد بدون بعد خواهیم داشت. اگر π_i نشان‌دهنده معادلات بی‌بعد متغیرهای q, K_s, V, t باشد، رابطه بالا را می‌توان به شکل رابطه ۲ نوشت:

$$f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0 \quad (۲)$$

روش تعیین پارامترهای π بدین صورت است که اگر از n متغیر بالا به تعداد m (در اینجا ۲) متغیر انتخاب شود، برای هر π مربوط به متغیرهای بالا، از دو متغیر تکراری همراه با یک متغیر غیرتکراری استفاده می‌شود و در نهایت معادله‌های بدون بعد به شکل رابطه‌های زیر حاصل می‌شوند:

$$\pi_1 = q^{a_1} K_s^{b_1} D_{re}^{-1} = (L^r T^{-1})^{a_1} \cdot (L T^{-1})^{b_1} \cdot L = \begin{cases} a_1 = -0/5 \\ b_1 = 0/5 \end{cases} \quad (۳)$$

$$\pi_2 = q^{a_2} K_s^{b_2} Z_{re}^{-1} = (L^r T^{-1})^{a_2} \cdot (L T^{-1})^{b_2} \cdot L = \begin{cases} a_2 = -0/5 \\ b_2 = 0/5 \end{cases} \quad (۴)$$

$$\pi_3 = q^{a_3} K_s^{b_3} t^{-1} = (L^r T^{-1})^{a_3} \cdot (L T^{-1})^{b_3} \cdot T = \begin{cases} a_3 = -0/5 \\ b_3 = +1/5 \end{cases} \quad (۵)$$

$$\pi_4 = q^{a_4} K_s^{b_4} V^{-1} = (L^r T^{-1})^{a_4} \cdot (L T^{-1})^{b_4} \cdot L^r = \begin{cases} a_4 = -1/5 \\ b_4 = +1/5 \end{cases} \quad (۶)$$

پس از حل معادله‌ها و تعیین ضرایب a_1 تا a_4 و b_1 تا b_4 ، توان‌های π_1 تا π_4 از رابطه‌های زیر مشخص خواهند شد:

$$\pi_1 = \left(\frac{K_s}{q} \right)^{1/5} . D_{re} \quad (7)$$

$$\pi_2 = \left(\frac{K_s}{q} \right)^{1/5} . Z_{re} \quad (8)$$

$$\pi_3 = \left(\frac{K_s^{1/5}}{q^{1/5}} \right)^{1/5} . t \quad (9)$$

$$\pi_4 = \left(\frac{K_s}{q} \right)^{1/5} . V \quad (10)$$

اعداد π_1 تا π_4 بدون بعد و توابعی از D_{re} , Z_{re} , V و t هستند و به صورت قراردادی با اندیس ستاره از خود آن متغیرها نشان داده می شوند. بنابراین این معادله‌ها به صورت زیر تغییر پیدا خواهد کرد:

$$D_{re}^* = \left(\frac{K_s}{q} \right)^{1/5} . D_{re} \quad (11)$$

$$Z_{re}^* = \left(\frac{K_s}{q} \right)^{1/5} . Z_{re} \quad (12)$$

$$V^* = \left(\frac{K_s}{q} \right)^{1/5} . V \quad (13)$$

$$t^* = \left(\frac{K_s^{1/5}}{q^{1/5}} \right) . t \quad (14)$$

با برقراری رابطه‌هایی بین پارامترهای بدون بعد، ضرایب این معادله‌ها به صورت زیر مشخص می شود:

$$D_{re}^* = k_1 \cdot V^{*l_1} \quad (15)$$

$$Z_{re}^* = k_2 \cdot V^{*l_2} \quad (16)$$

که در آن‌ها، k_1 ، k_2 ، l_1 و l_2 ضرایب ثابت می‌باشند. برای برگرداندن روابط بدون بعد به شکل ابعادی آن‌ها، باید به جای D_{re}^* و Z_{re}^* مقادیر اصلی (رابطه‌های ۱۱ تا ۱۴) آن‌ها را در رابطه‌های ۱۵ و ۱۶ جایگزین شوند. نمونه‌ای از روند استخراج این رابطه‌ها در بخش نتایج و بحث ارائه می‌گردد (رابطه‌های ۱۹ تا ۲۲).

با در نظر گرفتن توابع بالا و برازش روابط توانی بین اعداد بدون بعد، ضرایب معادلات (k_1, k_2, l_1, l_2) بدون بعد محاسبه گردید.

این محاسبه‌ها برای سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به صورت جداگانه انجام گرفت و نتایج آن برای توزیع مجدد افقی آب (D_{re})، توزیع مجدد در جهت عمودی (Z_{re}) همچنین ضریب همبستگی بین اعداد بدون با دقت قابل قبول برازش داده شد. به منظور مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده از شاخص‌های آماری حداکثر خطا (ME) و میانگین ریشه دوم خطا (RMSE) استفاده گردید که به شرح رابطه‌های ۱۷ و ۱۸ محاسبه می‌شوند:

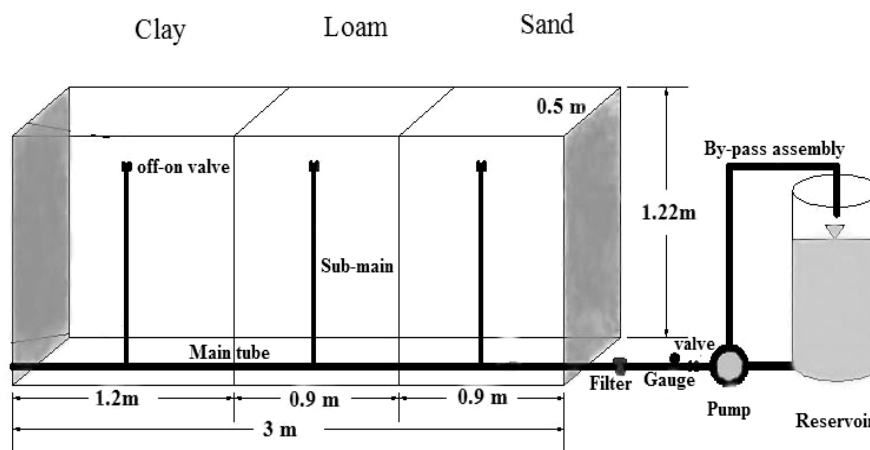
$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \quad (17)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

که در آن‌ها، P_i و O_i به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده و N : تعداد نمونه‌های به کار رفته می‌باشد.

روش انجام آزمایش: این آزمایش‌ها در یک مدل پلکسی‌گلاس با ابعاد $3 \times 1/22 \times 0/5$ متر و در آزمایشگاه مرکزی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به انجام رسید. این محفظه شفاف به سه بخش مجزا تفکیک شده (شکل ۱) و امکان انجام هم‌زمان سه آزمایش هم‌زمان فراهم شده بود.

در این مطالعه از سه نوع بافت (متوسط، سنگین و سبک) استفاده گردید (جدول ۱). طراحی مدل آزمایشگاهی به گونه‌ای انجام گرفت که هر قسمت مربوط به یک نوع خاک باشد. با توجه به این که توزیع افقی آب در خاک‌های سنگین بیش تر است، عرض محفظه مربوط به خاک سنگین (۱/۲ متر) بزرگ تر از خاک‌های با بافت سبک و متوسط (هر کدام ۰/۹ متر) طراحی شد (شکل ۱). قطره‌چکان‌ها در چهار عمق صفر (سطحی)، ۱۵ (H_۱)، ۳۰ (H_۲)، ۴۵ (H_۳) سانتی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفتند و دبی قطره‌چکان‌ها (نتایم ساخت کشور امریکا)، ۲/۴ (Q_۱) و ۴ (Q_۲) لیتر در ساعت اعمال گردید. مدت زمان آبیاری در همه تیمارها ۶ ساعت بود و مقادیر توزیع مجدد رطوبت 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 پلکسی‌گلاس، 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 فراهم می‌گردید که با استفاده از نرم‌افزار گرافر^۱ مختصات همه نقاط جبهه پیشروی محاسبه می‌گردید و سپس با داشتن مختصات نقاط و استفاده از نرم‌افزار اتوکد جبهه پیشروی مجدد در زمان‌های مختلف محاسبه گردید.



شکل ۱- لایسیمتر آزمایشگاهی و اتصالات مربوط برای انجام آزمایش‌ها.

1- Grapher

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده.

نمونه خاک	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک	چگالی ظاهری	چگالی حقیقی	درصد رطوبت وزنی F.C	درصد رطوبت وزنی اشباع
بافت سنگین	۳۶	۱۸	۴۶	رسی- شنی	۱/۲	۲/۶۵	۲۱/۶	۳۷/۵
بافت متوسط	۲۳	۲۲	۵۵	لومی- رسی- شنی	۱/۳۵	۲/۶۵	۱۸/۷	۳۴/۵
بافت سبک	۱۱	۱۳	۷۶	شنی- لومی	۱/۴۵	۲/۵۹	۱۴/۱	۳۰/۱

نتایج و بحث

نتایج برازش معادله‌های ضرایب بدون بعد نشان می‌دهد که اعداد بدون بعد همبستگی بالایی دارند. با توجه به شکل ۲، ضریب تعیین (R^2) معادله بین D_{re}^* و V^* در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۹۴/۵ و ۹۵/۷ درصد می‌باشد. برای سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی ضریب معادله ۱/۱۲۴ و توان معادله ۰/۶۲۱ می‌باشد که این ضرایب در معادله‌های اصلی مربوط به توزیع مجدد افقی حرکت رطوبت جاگذاری می‌شوند. این دو مقدار برای سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۱/۵۳۵ و ۰/۵۷۴ محاسبه شدند. ضریب و توان مربوط به معادله توزیع مجدد در جهت عمودی نیز به همین ترتیب محاسبه شدند (شکل ۳). برای سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی این مقادیر به ترتیب ۱/۶۱۹ و ۰/۶۰۶ با ضریب تعیین ۸۸/۳ درصد و برای سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۱/۷۵۳ و ۰/۶۰۴ با ضریب تعیین ۹۴/۸ درصد می‌باشند.

حال با جاگذاری ضرایب و توان‌ها در رابطه‌های قبلی، رابطه‌های مربوط به توزیع مجدد افقی رطوبت و توزیع مجدد در جهت عمودی به شکل زیر نوشته می‌شوند (رابطه ۱۹ به عنوان نمونه‌ای از روند تعیین ضرایب و توان‌ها ارایه شده است):

$$D_{re}^* = k_1 V^{*l_1} \xrightarrow{\text{replacement}} \left(\frac{K_s}{q} \right)^{1/5} \cdot D = k_1 \left(\left(\frac{K_s}{q} \right)^{1/5} \cdot V \right)^{l_1} \xrightarrow{q=V/t} \text{سطحی (۱۹)}$$

$$D_{re} = k_1 K_s^{(1/5)l_1 - 1/5} V^{(1/5)l_1 - 1/5} t^{(1/5)l_1 - 1/5} \xrightarrow{k_1=1/124, l_1=0/621}$$

$$D_{re} = 1/124 K_s^{0/431} V^{0/189} t^{0/431}$$

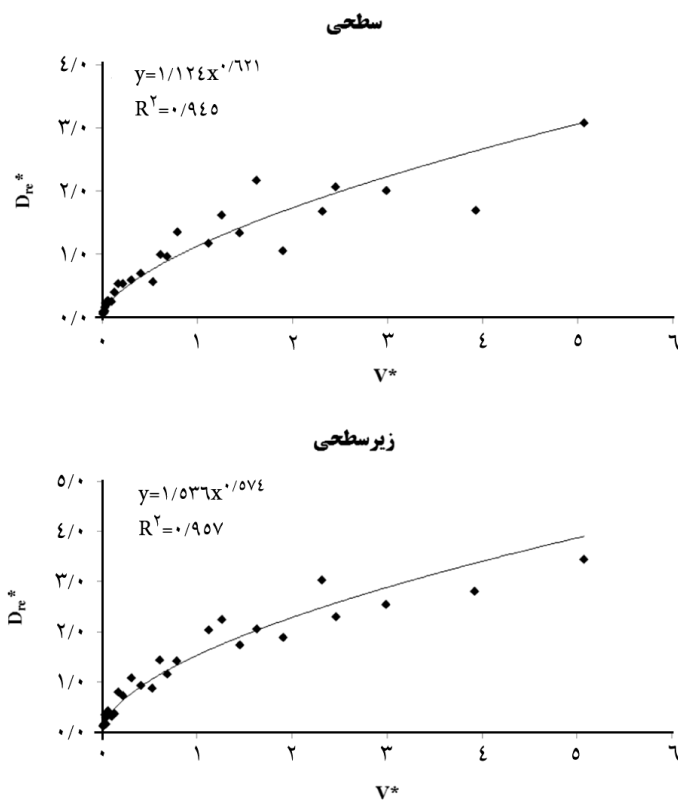
$$D_{re} = 1/535 K_s^{0/371} V^{0/213} t^{0/371}$$

زیرسطحی (۲۰)

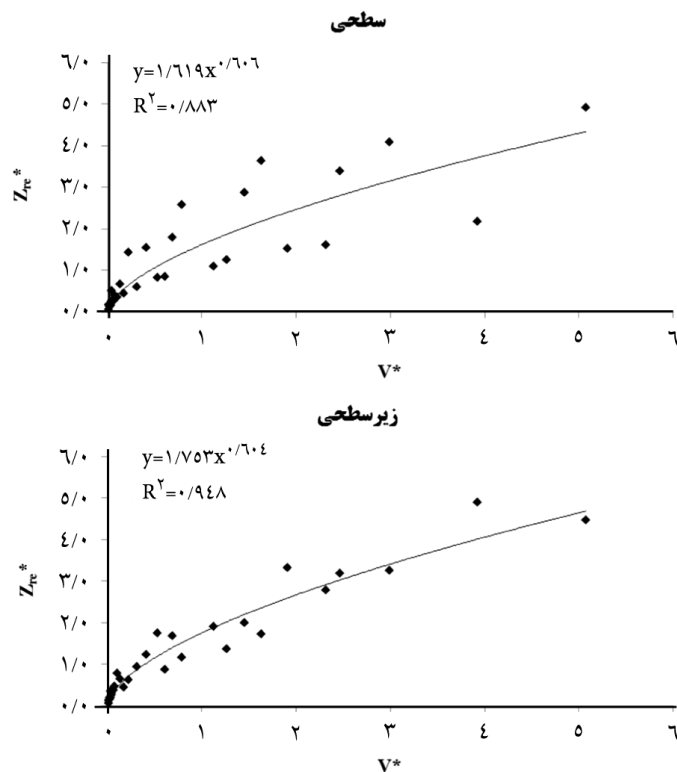
$$Z_{re} = 1/619 K_s^{0.409} V^{0.197} t^{0.409} \quad \text{سطحی} \quad (21)$$

$$Z_{re} = 1/753 K_s^{0.406} V^{0.198} t^{0.406} \quad \text{زیرسطحی} \quad (22)$$

در این رابطه‌ها، توزیع مجدد افقی رطوبت (D_{re}) بر حسب سانتی‌متر، توزیع مجدد در جهت عمودی (Z_{re}) بر حسب سانتی‌متر، حجم آب کاربردی (V) بر حسب لیتر، زمان آبیاری (t) بر حسب دقیقه و هدایت هیدرولیکی خاک (K_s) بر حسب متر در ساعت می‌باشد.



شکل ۲- برازش رابطه بین اعداد بدون‌بعد D_{re}^* و V^* در سیستم آبیاری سطحی و زیرسطحی.



شکل ۳- برازش رابطه بین اعداد بدون بعد Z_{re}^* و V^* در سیستم آبیاری سطحی و زیرسطحی.

به منظور ارزیابی معادله‌های برازش داده شده، مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج ارزیابی معادله‌های پیشنهادی در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با اعماق نصب مختلف برای توزیع مجدد افقی آب نشان داد که ضرایب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در خاک رسی به ترتیب برای قطره‌چکان‌های سطحی و برای قطره‌چکان‌های نصب شده در اعماق H_1 تا H_2 ، به ترتیب برابر با ۰/۹۸، ۰/۹۴، ۰/۹۸، ۰/۹۸ و ۰/۹۲ در خاک لومی ۰/۹۶، ۰/۹۲، ۰/۹۶ و ۰/۹۹ و در خاک شنی ۰/۸۳، ۰/۹۹، ۰/۹۷ و ۰/۹۵ می‌باشند (شکل ۴).

ارزیابی ضرایب همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در معادله‌هایی که برای برآورد توزیع مجدد رطوبت در جهت عمودی ارائه گردید، نشان داد که این ضریب در خاک رسی و به ترتیب

قطره‌چکان‌های سطحی و برای قطره‌چکان‌های نصب شده در اعماق H_1 تا H_3 ، به ترتیب برابر با ۰/۵۷، ۰/۹۶، ۰/۸۰ و ۰/۸۲، در خاک لومی ۰/۶۸، ۰/۹۸، ۰/۹۵ و ۰/۷۵ و در خاک شنی ۰/۷۲، ۰/۹۳، ۰/۷۶ و ۰/۷۷ می‌باشند (شکل ۵). این نتایج نشان از عملکرد مطلوب معادله‌های ارایه شده برای برآورد توزیع مجدد رطوبت در جهت عمودی می‌باشند. نتایج مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده توزیع مجدد آب در جهت افقی و عمودی با استفاده از شاخص‌های آماری خطا در جدول‌های ۲ و ۳ ارایه گردیده است. بررسی مقادیر این شاخص‌ها نشان می‌دهد که عملکرد معادله‌های پیشنهادی در سطح مطلوب قرار داشته و نتایج آن‌ها از اعتبار قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به دلیل اهمیت شبیه‌سازی توزیع مجدد رطوبت در خاک پس از زمان قطع آبیاری در طراحی مناسب سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، در این مطالعه، به منظور شبیه‌سازی این پدیده، آزمایش‌هایی بر روی سه بافت مختلف خاک و با هدف ارایه معادله‌هایی به منظور پیش‌بینی جبهه توزیع مجدد رطوبت در خاک در جهت‌های مختلف در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی انجام پذیرفت. به منظور تعیین ضرایب و توان‌های معادله‌ها، از روش آنالیز ابعادی استفاده شد. نتایج مطالعه نشان داد که معادله‌های حاصل شده در این مطالعه، قادرند با دقت مناسبی، توزیع مجدد رطوبت در خاک در جهت‌های افقی و عمودی را شبیه‌سازی نمایند. کاربرد این معادله‌ها در طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی می‌تواند منجر به بهبود عملکرد این سیستم‌ها گردد.

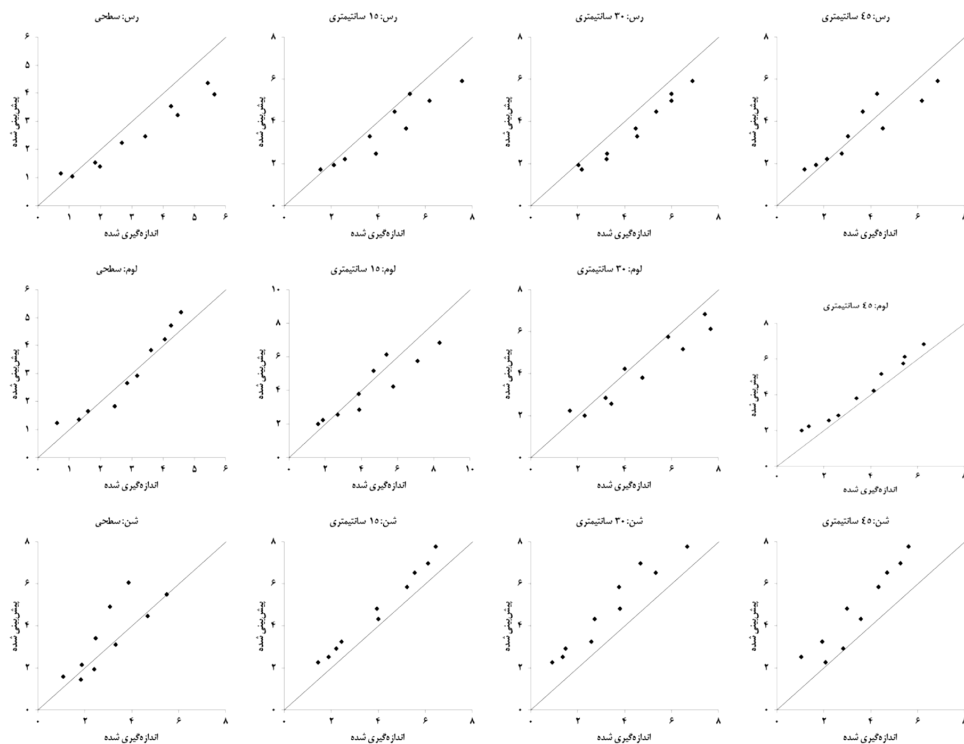
جدول ۲- شاخص‌های خطای محاسبه شده برای توزیع مجدد آب در جهت افقی به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها.

	شاخص خطا	سطحی	عمق ۱۵ سانتی متری	عمق ۳۰ سانتی متری	عمق ۴۵ سانتی متری
رس	RMSE	۰/۸۸۷	۰/۹۵۴	۰/۸۷۱	۰/۷۲۸
	ME	۰/۷۵۳	۰/۷۲۹	۰/۸۱۳	۰/۶۲۳
لوم	RMSE	۰/۳۹	۰/۹۲۹	۰/۸۲۴	۰/۵۶۹
	ME	۰/۳۲	۰/۷۵۶	۰/۶۸۷	۰/۵۱
شن	RMSE	۰/۹۸۶	۰/۸۱۷	۱/۴۵۲	۱/۴۳۹
	ME	۰/۷۰۱	۰/۷۷۹	۱/۳۷۵	۱/۲۶۹

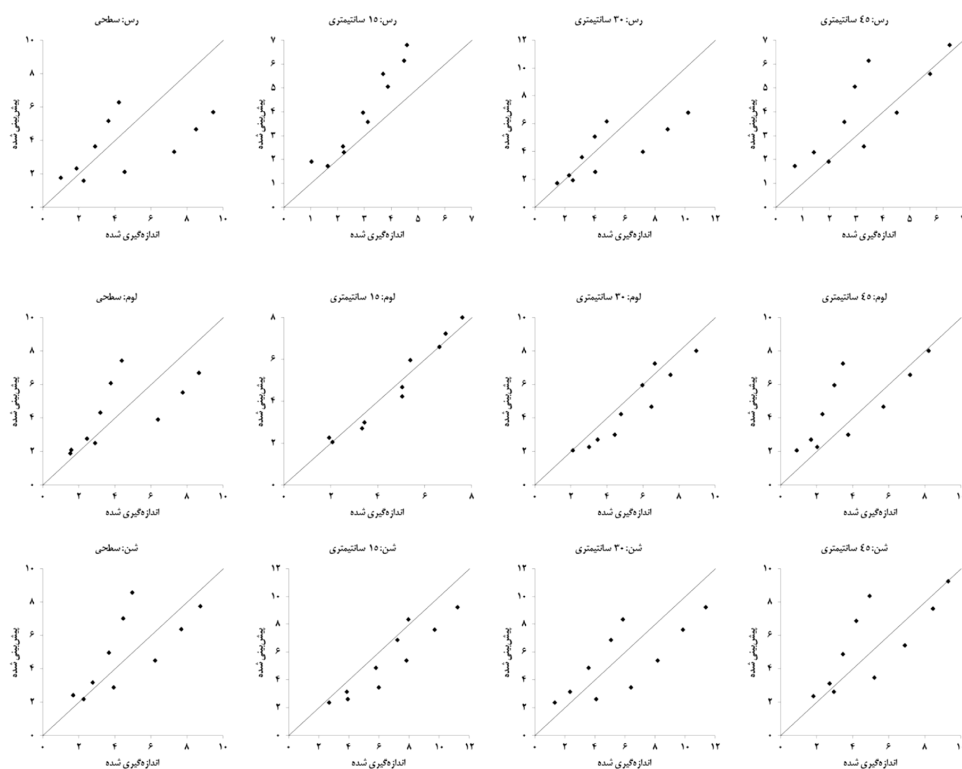
نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۱)، شماره (۶) ۱۳۹۳

جدول ۳- شاخص‌های خطای محاسبه شده برای توزیع مجدد آب در جهت عمودی به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها.

شاخص خطا	سطحی	عمق ۱۵ سانتی متری	عمق ۳۰ سانتی متری	عمق ۴۵ سانتی متری	
رس	RMSE	۱/۲۰۵	۱/۹۶۶	۱/۲۳۸	
	ME	۲/۰۲۶	۰/۹۶۷	۰/۹۵۲	
لوم	RMSE	۰/۴۶۱	۰/۹۵۸	۱/۷۵۷	
	ME	۱/۴۶۸	۰/۸۰۲	۱/۳۶	
شن	RMSE	۱/۶۸۷	۲/۰۳	۱/۶۵۱	
	ME	۱/۳۷۵	۱/۸۹۸	۱/۲۹۱	



شکل ۴- مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توزیع مجدد افقی آب در خاک رسی (ردیف اول)، لومی (ردیف دوم) و شنی (ردیف سوم) برای اعماق مختلف نصب قطره‌چکان‌ها.



شکل ۵- مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توزیع مجدد عمودی آب در خاک رسی (ردیف اول)، لومی (ردیف دوم) و شنی (ردیف سوم) برای اعماق مختلف نصب قطره‌چکان‌ها.

منابع

1. Bresler, E. 1978. Analysis of trickle irrigation with application to design problems. *Irrig. Sci.* 1: 13-17.
2. Cook, F.J., Thorburn, P.J., Fitch, P., Charlesworth, P.B., and Bristow, K.L. 2006. Modelling trickle irrigation: comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. *Environ Model Softw.* 21: 1353-1359.
3. Cote, C.M., Bristow, K.L., Charlesworth, P.B., Cook, F.J., and Thorburn, P.J. 2003. Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. *Irrig. Sci.* 22: 143-156.
4. Dirksen, C. 1978. Transient and steady flow from subsurface line sources at constant hydraulic head in anisotropic soil. *Trans. ASAE.* 21: 5. 913-919.

5. Elmaloglou, S., and Diamantopoulos, E. 2009. Effects of hysteresis on redistribution of soil moisture and deep percolation at continuous and pulse drip irrigation. *J. Agric. Water Manage.* 96: 533-538.
6. Gilley, J.R., and Allred, E.R. 1974. Infiltration and root extraction from subsurface irrigation laterals. *Trans. ASAE.* 17: 5. 927-933.
7. Kandelous, M.M., and Simunek, J. 2010a. Comparison of numerical, analytical and empirical models to estimate wetting pattern for surface and subsurface drip irrigation. *Irrig. Sci.* 28: 435-444.
8. Kandelous, M.M., and Simunek, J. 2010b. Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D. *Agri. Water mang.* 97: 1070-1076.
9. Lamm, F.R., Ayars, J.E., and Nakayama, F.S. 2007. *Micro Irrigation for Crop Production (Design, Operation and Management)*. Elsevier book.
10. Lazarovitch, N., Warrick, A.W., Furman, A., and Simunek, J. 2007. Subsurface water distribution from drip irrigation described by moment analyses. *Vadose Zone J.* 6: 116-123.
11. Li, J., Zhang, J., and Rao, M. 2004. Wetting Pattern and Nitrogen Distribution as Affected by Fertilization Strategies from a Surface Point Source. *Agri. Water mang.* 67: 89-104.
12. Meshkat, M., Warner, R.C., and Workman, S.R. 1999. Modeling of Evaporation Reduction in Drip Irrigation. *J. Irrig. Drain. Eng.* 125: 6. 315-323.
13. Mirzaei, F., Liaghat, A.M., Sohrabi, T.M., and Omid, M. 2005. Simulation of the wetting front from a linear source in tape irrigation systems. *J. Agric. Engin. Res.* 6: 23. 53-66.
14. Philip, J.R. 1991. Effects of root and subirrigation depth on evaporation and percolation losses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1520-1523.
15. Singh, D.K., Rajput, T.B.S., Singh, D.K., Sikarwar, H.S., Sahoo, R.N., and Ahmad, T. 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *J. Agric. Water Manage.* 83: 130-134.
16. Thorburn, P.J., Cook, F.J., and Bristow, K.L. 2003. Soil-dependant wetting from trickle emitters: Implications for system design and management. *Irrig. Sci.* 22: 121-127.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(6), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Developing equations to predict the pattern of soils moisture redistribution in surface and subsurface drip irrigation systems using dimension analysis

***B. Karimi¹, T. Sohrabi², F. Mirzaei³ and B. Ababaei⁴**

¹Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Kurdistan, ²Professor, Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, ³Assistant Prof., Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, ⁴Young Researchers and Elites Club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 01/21/2013; Accepted: 06/30/2013

Abstract

Modelling moisture redistribution in soils after irrigation cutoff and utilizing this parameter in system design can be considered as one of the criteria for improving water productivity in surface and subsurface irrigation systems. In this study, experiments were carried out in a transparent plexy-glass tank (0.5m.1.22m.3m) using three different soil textures (fine, heavy and medium). The drippers were installed at 4 different soil depths (surface, 15cm, 30cm and 45cm). The emitter outflows were considered 2.4 and 4 lit/hr with irrigation duration of 6hr. Then, using the- π theorem of Buckingham and Dimension Analysis (DA), equations were developed to estimate the pattern of moisture redistribution (horizontal and vertical) after irrigation cutoff in surface and subsurface drip irrigation systems. The results of the comparisons between simulated and observed values showed that these equations are very capable in predicting the pattern of moisture redistribution in different directions. Considering these equations in designing surface and subsurface drip irrigation systems could improve system performance.

Keywords: Dimension analysis, Redistribution, Surface drip irrigation, Subsurface drip irrigation, Optimum management

* Corresponding Author; Email: bakhtiar.karimi@gmail.com

