

تخمین ابعاد جبهه رطوبتی در آبیاری قطره‌ای با کاربرد توامان قضیه π باکینگهام و نرم‌افزار HYDRUS-2D در خاک‌هایی با بافت متفاوت

ندا خان محمدی^۱، سینا بشارت^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۴)

چکیده

طراحی و مدیریت دقیق سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، مستلزم داشتن اطلاعات مناسب از ابعاد جبهه رطوبتی (قطر و عمق خاک خیس شده توسط قطره‌چکان‌ها) در بافت‌های مختلف خاک است. پارامترهای مهمی همچون ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، دبی خروجی قطره‌چکان و زمان آبیاری، بر ابعاد پیاز رطوبتی تاثیر می‌گذارند. در این پژوهش، مدل‌های نیمه تجربی جدید برای تخمین عمق و حداکثر قطر جبهه رطوبتی خاک تحت منبع نقطه‌ای در خاک‌هایی با بافت‌های گوناگون مورد استفاده قرار گرفتند. بدین منظور، نرم‌افزار HYDRUS-2D برای دبی کاربردی (۳ لیتر بر ساعت) در کلاس‌های مختلف بافت خاک اجرا شد. با کاربرد قضیه π باکینگهام به همراه مقادیر حاصل از اجرای نرم‌افزار که شامل عمق و حداکثر قطر جبهه رطوبتی بود، معادلات تعیین ابعاد جبهه رطوبتی برای بافت‌های مختلف ارائه گردید. معادلات توسعه یافته شامل پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، مدت زمان کارکرد و دبی قطره‌چکان بودند. نتایج شاخص‌های آماری برای همه معادلات (حداقل مقدار ضریب همبستگی (R) ۰/۹۶۸، حداکثر مقدار جذر میانگین مربعات خطای ($RMSE$) ۲/۱۲۰ سانتی‌متر و حداکثر مقدار میانگین خطای مطلق (MAE) ۱/۳۷۶ سانتی‌متر، نشان‌دهنده قابلیت معادلات ارائه شده در برآورد ابعاد پیاز رطوبتی در خاک‌هایی با بافت مختلف می‌باشد. معادلات ارائه شده می‌تواند به صورت موثر در طراحی و مدیریت بهینه سیستم آبیاری قطره‌ای در خاک‌هایی با بافت متفاوت استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، جبهه رطوبتی، قضیه π باکینگهام، نرم‌افزار HYDRUS-2D

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

* پست الکترونیک: S.besharat@urmia.ac.ir

مقدمه

شناخت و مدیریت نحوه بهره‌برداری از آب‌های موجود در کشاورزی، از اهمیت زیادی برخوردار است. به طوری که، استفاده بهینه از واحد حجم آب باید از اهداف مهم سیاست‌های افزایش بهره‌وری منابع آب در کشور باشد. در شرایط کنونی و با توجه به وضعیت موجود کشاورزی ایران، توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار در اراضی مستعد، راهی مناسب‌تر و کارآمدتر از روش‌های آبیاری سطحی مدرن برای افزایش کارایی مصرف آب خواهد بود. راندمان آبیاری در روش‌های تحت فشار بیش از ۷۵٪ است. از بین روش‌های تحت فشار، روش آبیاری قطره‌ای، بازده بیشتری (حدود ۹۰٪) دارد (Karimi et al., 2006). مسئله کمبود آب و لزوم توجه به روش‌هایی با بازده بیشتر، زمینه‌ساز انجام مطالعات بسیاری توسط افراد مختلف درباره آبیاری قطره‌ای شده است (Singh & Kaushal, 1991; Keshavaiah & Kumaraswamy, 1993; Sayari et al., 2007; Sabbah & Ghaffari Nejad, 2008; Lanjani et al., 2010).

طراحی درست سیستم آبیاری قطره‌ای نیازمند داشتن اطلاعات کافی از نحوه توزیع جریان آب در خاک می‌باشد. روحی و همکاران (Ruhí et al., 2006) و متین و همکاران (Metin et al., 2006) با بررسی آبیاری قطره‌ای روی دو گیاه مختلف، به این نتیجه رسیدند که جهت استفاده مناسب از این سیستم، باید اطلاعات مربوط به الگوی توزیع آب در خاک را در اختیار داشت. مدل‌های مختلفی جهت شبیه‌سازی الگوی رطوبتی خاک و ابعاد جبهه رطوبتی در سیستم‌های قطره‌ای ایجاد شده‌اند. از جمله آنها می‌توان به مدل ارائه شده توسط شوارتزمن و زور (Schwartzman & Zur, 1986) اشاره نمود. میرزایی و همکاران (Mirzaei et al., 2005) جهت مدل‌سازی جبهه رطوبتی خاک از منبع تغذیه خطی در آبیاری قطره‌ای-نواری، آزمایشی را با دبی ثابت روی یک مدل فیزیکی پر شده از خاک با هدایت هیدرولیکی اشباع ۰/۴ متر بر ساعت در آزمایشگاه انجام داده و معادلاتی را با استفاده از قضیه π باکینگهام ارائه نمودند. عباس‌پلنگی و آخوندعلی (Abbas Palangi & Akhond Ali, 2008) با استفاده از قضیه π باکینگهام، در خاکی با بافت شنی و هدایت هیدرولیکی ۰/۴۲ متر بر ساعت، معادلات حاکم را ارائه نمودند. حیدری و همکاران (Heydari et al., 2008) نیز، با بررسی دو مدل تجربی ارائه شده توسط دیگر پژوهشگران جهت شبیه‌سازی پیاز رطوبتی

خاک در آبیاری قطره‌ای تحت منبع نقطه‌ای، ضرایب معادلات را با دو روش حداقل مربعات خطا و رگرسیون غیرخطی بهینه نمودند.

جهت ارائه الگوهای مدیریتی مناسب در مزرعه و شناخت نحوه توزیع جریان آب در خاک، مدل‌سازی محیط فعالیت ریشه توسط آزمایش‌های وسیع مزرعه‌ای با خاک‌های متفاوت و شدت جریان‌های مختلف کاری وقت‌گیر بوده و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. محدودیت کارهای آزمایشگاهی و مزرعه‌ای لزوم استفاده از مدل‌های عددی را روشن‌تر می‌سازد. در این راستا، نحوه توزیع جریان آب در خاک در آبیاری سطحی و تحت فشار توسط تعدادی از پژوهشگران اندازه‌گیری شده و به صورت نظری توسط مدل‌های عددی تحلیل گردیده است (Bresler, 1978; Singh et al., 2006; Wang et al., 2006).

نرم‌افزار HYDRUS از جمله مدل‌های عددی پرکاربرد در شبیه‌سازی حرکت آب در خاک است که قابلیت آن در پژوهش‌های گوناگون بیان شده است (Ben-Gal et al., 2004; Provenzano, 2007; Phogat et al., 2009; Siyal & Skaggs, 2009; Kandelous & Simunek, 2010). توجه به توانایی‌های این نرم‌افزار در شبیه‌سازی رطوبت خاک، بسیاری از جمله آسولین (Assouline, 2002)، کوته و همکاران (Cote et al., 2003)، مولاوا و ار (Mmolawa & Or, 2003)، اسکاگز و همکاران (Skaggs et al., 2004)، گاردناس و همکاران (Gardenas et al., 2005)، کوک و همکاران (Cook et al., 2006) و خان‌محمدی و همکاران (Khanmohammadi et al., 2012) از مدل HYDRUS-2D (Simunek et al., 1999) در مطالعات خود بهره جسته‌اند. افزایش سرعت محاسبه‌گرها و نیز افزایش قابلیت مدل‌های عددی، لزوم استفاده از این مدل‌ها در رابطه با مسائل آب و خاک را آشکارتر می‌سازد. بنابراین مدیریت صحیح مزرعه تحت آبیاری قطره‌ای، در کوتاه‌ترین زمان و با کمترین هزینه، نیازمند شبیه‌سازی الگوی توزیع رطوبت در خاک توسط مدل‌های عددی می‌باشد. اما با توجه به این امر که الگوی توزیع رطوبتی خاک در بافت‌های مختلف متفاوت است و بر پایه بررسی‌های صورت گرفته، پژوهشی جامع در بافت‌های مختلف انجام نشده است، بدین منظور در این مطالعه، سعی شده است تا با کاربرد توامان قضیه π باکینگهام و نرم‌افزار HYDRUS-2D معادلاتی ارائه شود که

مقادیر d' ، z' و v' (پارامترهای بی بعد) توسط روابط (۵) تا (۷) به دست می‌آیند.

$$d' = d \sqrt{\frac{k_s}{q}} \quad (5)$$

$$z' = z \sqrt{\frac{k_s}{q}} \quad (6)$$

$$v' = v \left(\frac{k_s}{q}\right)^{1.5} \quad (7)$$

که در این روابط v حجم آب ورودی به خاک بوده و بقیه پارامترها تعاریف پیشین را دارند.

شبیه‌سازی عددی

از جمله مدل‌های عددی کاربردی برای شبیه‌سازی حرکت آب، حرارت و نمک در حالت غیراشباع و مدیریت آب خاک، نرم‌افزار HYDRUS-2D می‌باشد. معادلات کاربردی و نحوه حل آنها در نرم‌افزار اشاره شده به صورت جزئی‌تر در مطالعات سیمونک و همکاران (Simunek et al., 2006) آورده شده است.

در این مطالعه، جهت مدل‌سازی پیاز رطوبتی خاک زیر یک قطره‌چکان برای هر بافت خاک، از نرم‌افزار HYDRUS-2D استفاده گردید. نرم‌افزار برای هر ۱۲ کلاس بافت خاک تعریف شده در آن، اجرا گشته و مقادیر مورد نیاز جهت تعیین روابط (۱) و (۲) با استفاده از قضیه π باکینگهام استخراج گردید. به عبارت دیگر برای پیاز رطوبتی به دست آمده از اجرای نرم‌افزار برای هر بافت خاک در بازه‌های زمانی مختلف، مقادیر حداکثر قطر خاک خیس شده و عمق خاک مرطوب شده قرائت شده و با در دست داشتن هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، دبی قطره‌چکان، حجم آب ورودی به خاک و به کارگیری روابط (۳) تا (۷)، مقادیر مربوط به روابط (۱) و (۲) محاسبه شدند. لازم به ذکر است، جهت مساوی شدن شرایط برای انجام مقایسه‌ای منطقی بین فرمول‌های حاصله، مقدار آبدی ثابت ۳ لیتر بر ساعت برای قطره‌چکان به عنوان منبع خروج آب در نظر گرفته شد. این مقدار دبی در محدوده عمومی ۸-۱ لیتر بر ساعت بود که مقدار آبدی معمول قطره‌چکان می‌باشد.

ارزیابی روابط

ارزیابی کارایی مدل‌ها معمولاً بر اساس پارامترهای آماری حاصل از مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده صورت می‌گیرد (Ben-Gal et al., 2004). در این مطالعه، برای بیان قابلیت فرمول‌های به دست آمده، شاخص‌های آماری همچون، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)،

امکان برآورد حداکثر قطر و عمق خیس شده را در خاک-های با بافت مختلف فراهم نماید. بدین ترتیب با ارائه جدولی کلی از معادلات ارائه شده می‌توان ابعاد جبهه رطوبتی را برای هر نوع بافت خاک در شرایط مزرعه تعیین نمود.

مواد و روش‌ها

قضیه π باکینگهام

برای شناخت پارامترهای موثر بر یک پدیده که رابطه بین آنها مشخص نیست، آنالیز ابعادی روش مناسبی می‌باشد. یکی از قضایای مهم آنالیز ابعادی در مکانیک سیالات قضیه π باکینگهام است. بر اساس این قضیه اگر n متغیر بعددار در یک معادله همگن ابعادی وجود داشته باشد که به وسیله m متغیر اصلی تعریف شود، می‌توان آنها را به $n-m$ گروه بدون بعد تقسیم کرد. جزئیات مربوط به قضیه π باکینگهام به صورت جزئی‌تر در مطالعه عباس‌پلنگی و آخوندعلی (Abbas Palangi & Akhond Ali, 2008) آمده است. در نهایت با به کارگیری قضیه π باکینگهام و با در نظر گرفتن این امر که شکل هندسی حجم خاک خیس شده در اطراف یک منبع نقطه‌ای به نوع خاک، دبی قطره‌چکان، کل حجم آب وارد شده به خاک و زمان آبیاری بستگی دارد، روابط (۱) و (۲) برای بیان حداکثر قطر و عمق خیس شده به دست آمد:

$$d = A_1 \cdot k_s \left(\frac{3}{2}n_1 - \frac{1}{2}\right) \cdot q \left(-\frac{1}{2}n_1 + \frac{1}{2}\right) \cdot t^{n_1} \quad (1)$$

$$z = A_2 \cdot k_s \left(\frac{3}{2}n_2 - \frac{1}{2}\right) \cdot q \left(-\frac{1}{2}n_2 + \frac{1}{2}\right) \cdot t^{n_2} \quad (2)$$

در روابط (۱) و (۲) k_s هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، q دبی قطره‌چکان، t زمان آبیاری، d حداکثر قطر خاک خیس شده و z عمق خاک مرطوب شده می‌باشد. A_1 ، A_2 ، n_1 و n_2 نیز ضرایب ثابت می‌باشند که با برقراری رابطه بین پارامترهای بدون بعد از طریق روابط زیر به دست می‌آیند:

$$d' = A_1 \cdot v'^{n_1} \quad (3)$$

$$z' = A_2 \cdot v'^{n_2} \quad (4)$$

گفتنی است، فرم این روابط با استفاده از نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای به دست آمده و در صورت عدم دسترسی به این نتایج، می‌توان از نتایج آزمایشگاهی (مانند باکس‌های شیشه‌ای یا سایر مدل‌های فیزیکی) و یا شبیه‌سازی عددی استفاده نمود (Abbas Palangi & Akhond Ali, 2008).

شکل ۱ نمونه‌ای از الگوی پیاز رطوبتی حاصل از اجرای نرم‌افزار را برای دو بافت شن‌لومی و لوم در مدت زمان کاربرد ۱۰ ساعت نشان می‌دهد. بر اساس نتایج شکل ۱، میزان پیشروی رطوبت در دو بافت مذکور متفاوت بوده و مقدار این تفاوت علاوه بر مقدار هدایت هیدرولیکی، به ساختمان خاک و تخلخل آن بستگی دارد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، پیشروی رطوبت در خاک با بافت لوم کمتر بوده و این بافت آب بیشتری را در خود ذخیره نموده است. میزان حداکثر رطوبت در برچسب‌های شکل ۱ و میزان رطوبتی که هر رنگ نماینده آن می‌باشد، دلیل روشنی بر میزان پیشروی رطوبت در این دو نوع بافت خاک است. به عبارت دیگر، حداکثر قطر و عمق جبهه رطوبتی در بافت لوم ۲۰ سانتی‌متر بوده، اما در بافت شن‌لومی مقدار حداکثر قطر و عمق جبهه رطوبتی به ترتیب، ۲۵ و ۳۴ سانتی‌متر می‌باشد. همچنین با توجه به محدوده رطوبتی، مشاهده می‌شود که مقدار حداکثر رطوبت در بافت لومی بیشتر از شن‌لومی می‌باشد. گفتنی است که اجرای مدل برای هر ۱۲ بافت خاک انجام شد، اما از آنجاکه نتایج مربوط به دو بافت شن و لوم شنی-رسی در محدوده مورد انتظار و قابل قبول نبود، از ارائه نتایج آن خودداری گردید. با برقراری رابطه بین پارامترهای بدون بعد و برازش بهترین منحنی، مقادیر A_1 ، A_2 و n_1 و n_2 حاصل شد. معادلات به دست آمده توسط این ضرایب ثابت جهت توصیف پیاز رطوبتی خاک در بافت‌های مختلف در جداول ۱ و ۲ آمده است.

میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب همبستگی (R) به ترتیب، روابط (۸)، (۹) و (۱۰) مورد استفاده قرار گرفت.

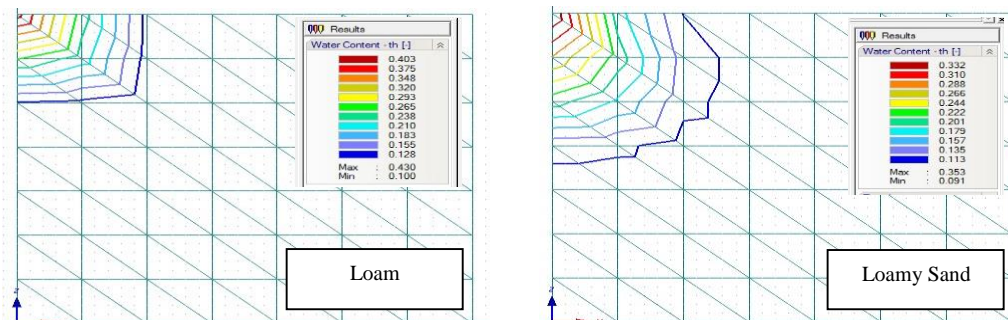
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_o - X_p)^2}{n}} \quad (8)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_o - X_p| \quad (9)$$

$$R = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_p - \bar{X}_p)(X_o - \bar{X}_o)]}{\sum_{i=1}^n (X_p - \bar{X}_p) \times \sum_{i=1}^n (X_o - \bar{X}_o)} \quad (10)$$

که در آنها n اندازه نمونه، X_p مقادیر تخمینی از رابطه حاصله، X_o مقادیر مشاهداتی، \bar{X}_p میانگین مقادیر تخمینی و \bar{X}_o میانگین مقادیر مشاهداتی می‌باشند (Tarazkar & Sedghamiz, 2008). هر کدام از این معیارها جنبه‌ای از خطا یا دقت داده‌ها را نمایش می‌دهند. نرم‌افزار HYDRUS-2D برای سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در مطالعات گوناگون اجرا شده و نتایج خوبی از اندازه‌گیری‌های میدانی برای انواع بافت‌های خاک توسط این نرم‌افزار ارائه شده است (Skaggs *et al.*, 2004؛ Khanmohammadi *et al.*؛ Kandelous & Simunek, 2010؛ *al.*, 2012). بر اساس نتایج تایید شده نرم‌افزار HYDRUS-2D، در این مطالعه، داده‌های جدید برای بافت‌های مختلف با استفاده از این نرم‌افزار تولید شده و مقادیر به دست آمده مبنای مقایسه نتایج حاصل از معادلات ارائه شده قرار گرفت.

نتایج و بحث



شکل ۱- پیاز رطوبتی مدل شده توسط نرم‌افزار HYDRUS-2D در زمان کاربرد ۱۰ ساعت برای بافت‌های شن‌لومی و لوم

Figure 1. Wetting front modeled by HYDRUS-2D software for sandy loam and loam textures at a period of 10 hours

معادلات ارائه شده در جداول ۱ و ۲، امکان تخمین ابعاد جبهه پیاز رطوبتی در خاک‌های با بافت مختلف را برای افراد متخصص فراهم می‌آورد. در این روابط d حداکثر قطر جبهه رطوبتی (متر)، z عمق جبهه رطوبتی (متر)، k_s هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (متر بر ساعت)، q دبی قطره چکان

(متر مکعب بر ساعت) و t زمان آبیاری (ساعت) می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد معادلات ارائه شده، نتایج شاخص‌های آماری مربوط به هر فرمول در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که معادلات مربوطه توانایی لازم را برای تعیین پیاز رطوبتی در بافت‌های مختلف خاک

شکل‌های ۲ و ۳ مقادیر حداکثر قطر جبهه رطوبتی (d) و عمق جبهه رطوبتی (z) را برای دبی ثابت ۳ لیتر بر ساعت هنگام کاربرد به مدت ۵ ساعت را در خاک‌های با بافت مختلف نشان می‌دهند.

دارا می‌باشند. بنابراین از این معادلات استفاده کرده و مقایسه‌ای بین مقادیر حداکثر قطر جبهه رطوبتی (d) و عمق جبهه رطوبتی (z) جهت تشریح بهتر اختلاف جبهه رطوبتی ایجاد شده در بافت‌های مختلف صورت گرفت.

جدول ۱- معادلات تعیین حداکثر قطر جبهه رطوبتی در بافت‌های گوناگون خاک

Table 1. Equations for determination of maximum diameter of the wetting front in different soil textures

(Row)	Soil texture	Corresponding equation
1	Loamy sand	$d = 1.493 k_s^{-0.016} q^{0.339} t^{0.323}$
2	Sandy Loam	$d = 1.337 k_s^{0.004} q^{0.332} t^{0.336}$
3	Loam	$d = 1.263 k_s^{-0.004} q^{0.335} t^{0.331}$
4	Silt	$d = 1.207 k_s^{-0.004} q^{0.335} t^{0.331}$
5	Silt Loam	$d = 1.057 k_s^{-0.032} q^{0.344} t^{0.312}$
6	Clay Loam	$d = 1.460 k_s^{0.019} q^{0.327} t^{0.346}$
7	Silty Clay Loam	$d = 0.994 k_s^{-0.031} q^{0.344} t^{0.313}$
8	Sandy Clay	$d = 1.418 k_s^{0.004} q^{0.332} t^{0.336}$
9	Silty Clay	$d = 0.921 k_s^{-0.055} q^{0.352} t^{0.297}$
10	Clay	$d = 1.370 k_s^{-0.008} q^{0.336} t^{0.328}$

جدول ۲- معادلات تعیین عمق جبهه رطوبتی در بافت‌های گوناگون خاک

Table 2. Equations for determination of the depth of wetting front in different soil textures

(Row)	Soil texture	(Corresponding equation)
1	Loamy sand	$z = 1.250 k_s^{0.084} q^{0.306} t^{0.389}$
2	Sandy Loam	$z = 1.045 k_s^{0.106} q^{0.298} t^{0.404}$
3	Loam	$z = 0.750 k_s^{0.027} q^{0.325} t^{0.351}$
4	Silt	$z = 0.654 k_s^{0.006} q^{0.332} t^{0.337}$
5	Silt Loam	$z = 0.571 k_s^{-0.022} q^{0.341} t^{0.319}$
6	Clay Loam	$z = 0.653 k_s^{-0.005} q^{0.335} t^{0.330}$
7	Silty Clay Loam	$z = 0.523 k_s^{-0.026} q^{0.342} t^{0.316}$
8	Sandy Clay	$z = 0.727 k_s^{0.007} q^{0.331} t^{0.338}$
9	Silty Clay	$z = 0.485 k_s^{-0.049} q^{0.350} t^{0.301}$
10	Clay	$z = 0.677 k_s^{-0.011} q^{0.337} t^{0.326}$

رطوبتی به ترتیب در بافت‌های شن لومی، لومی رسی، رس-شنی و رسی بوده و با توجه به این شکل، بافت رس سیلتی حداقل قطر را دارد. ملاحظه شکل‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد که در مقایسه پیاز رطوبتی بافت‌های مختلف، حداکثر قطر جبهه رطوبتی و عمق جبهه رطوبتی دارای روند یکسانی

با توجه به شکل ۲ دیده می‌شود که بافت‌های شن لومی، لومی رسی، رس شنی و رسی به ترتیب دارای حداکثر قطر جبهه رطوبتی می‌باشند. حداقل قطر را در بافت رس سیلتی شاهد هستیم. در شکل ۳ نیز شاهد حداکثر عمق جبهه

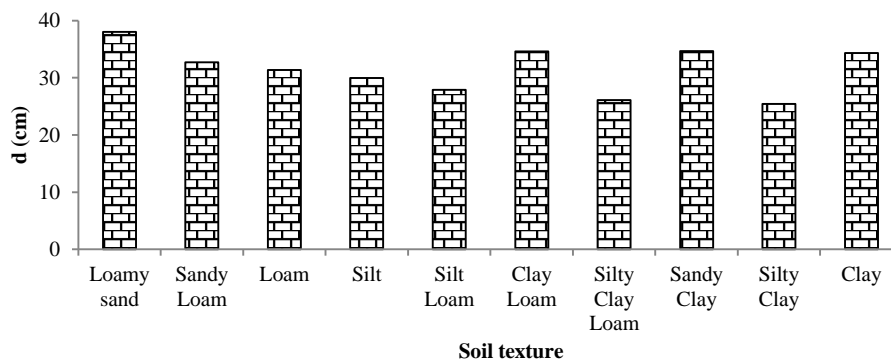
تحقیق حاضر نسبت به معادلات ایشان دارد. البته نباید اهمیت کار میدانی این افراد و عدم توانایی نرم‌افزار به کار رفته در این مطالعه جهت حصول نتایج قابل قبول برای بافت شنی مورد مطالعه در تحقیق ایشان را نادیده گرفت.

می‌باشند. مقایسه حداکثر مقدار $RMSE$ (سانتی‌متر) $2/120$ برای d و $1/116$ برای z (جدول ۳)، با مقادیر $RMSE$ محاسبه شده در مطالعه عباس‌پلنگی و آخوندعلی (Abbas Palangi & Akhond Ali, 2008) برای d و $3/8$ برای z در خاک شنی) نشان از دقت بیشتر معادلات ارائه شده در

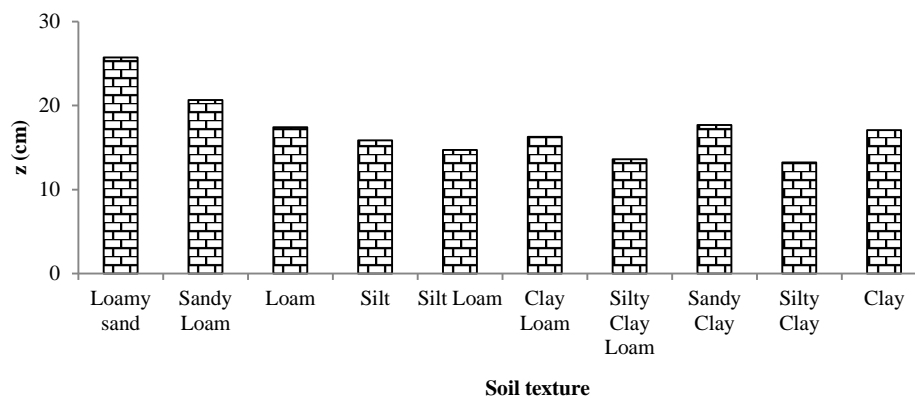
جدول ۳- نتایج شاخص‌های آماری برای معادلات تعیین حداکثر قطر جبهه رطوبتی (d) و عمق جبهه رطوبتی (z) در بافت‌های گوناگون خاک

Table 3. The results of statistical indices for the equations for determination of maximum diameter of the wetting front (d) and depth of wetting front (z) in different soil textures

Row	Soil texture	R		$RMSE$ (cm)		MAE (cm)	
		z	d	z	d	z	d
1	Loamy sand	0.994	0.986	1.092	1.875	0.943	1.295
2	Sandy Loam	0.998	0.996	0.885	1.639	0.848	1.200
3	Loam	0.997	0.996	0.738	1.559	0.805	1.171
4	Silt	0.985	0.984	0.869	1.668	0.869	1.165
5	Silt Loam	0.997	0.997	0.743	1.337	0.792	1.056
6	Clay Loam	0.992	0.995	0.714	1.126	0.763	0.966
7	Silty Clay Loam	0.978	0.983	1.116	2.055	0.930	1.301
8	Sandy Clay	0.983	0.986	0.883	1.581	0.848	1.145
9	Silty Clay	0.968	0.969	1.103	2.120	0.979	1.376
10	Clay	0.990	0.989	0.869	1.861	0.867	1.253



شکل ۲- مقادیر حداکثر قطر جبهه رطوبتی بر حسب سانتی‌متر در بافت‌های مختلف خاک
Figure 2. Maximum diameter of wetting front in different soil textures (cm)



شکل ۳- مقادیر عمق جبهه رطوبتی بر حسب سانتی‌متر در بافت‌های مختلف خاک

Figure 3. Wetting front depth in different soil textures (cm)

نتیجه‌گیری کلی

بافت خاک از جمله عوامل موثر در تعیین شکل پیاز رطوبتی خاک می‌باشد. تعیین ابعاد پیاز رطوبتی با توجه به بافت خاک، متخصصین را به ارائه راهکارهای مدیریتی صحیح در مزرعه سوق می‌دهد. کاربرد قضیه π باکینگهام به همراه نتایج شبیه‌سازی عددی حاصل از نرم‌افزار HYDRUS-2D، امکان مدل‌بندی جبهه رطوبتی خاک را با ارائه مدل‌هایی ساده و قابل استفاده برای افراد با دانش کم در زمینه آب و آبیاری فراهم می‌آورد. با توجه به نتایج حاصل، کاربرد قضیه π باکینگهام جهت شبیه‌سازی جبهه رطوبتی خاک، در همه شرایط از جمله آزمایشگاهی (مطالعه میرزایی و همکاران (Mirzaei et al., 2005))، مزرعه‌ای (مطالعه عباس‌پلنگی و آخوندعلی (Abbas Palangi & Akhond Ali, 2008)) و مدل‌سازی عددی (مطالعه حاضر) باعث ارائه فرمول‌هایی ساده و قابل قبول جهت مدل‌سازی جبهه رطوبتی خاک می‌شود. با کاربرد این قضیه به همراه مدلی مناسب همانند HYDRUS، قادر به ارائه فرمول‌هایی مناسب در مدت زمان کم خواهیم بود که شاید دسترسی به آنها با استفاده از شرایط مزرعه کاری دشوار یا شاید غیرعملی باشد. مدل‌های ارائه شده با خطای کم همانند مدل‌های حاصل در این تحقیق، امکان برآورد ابعاد پیاز رطوبتی تحت آبیاری قطره-ای در خاک‌هایی با بافت مختلف را برای طراح به عمل آورده و او را در مدیریت صحیح یاری می‌نماید.

همچنین، در ارزیابی رابطه ارائه شده توسط شوارتزمن و زور (Schwartzman & Zur, 1986)، مقدار RMSE برای داده‌های مشاهداتی قطر خاک خیس‌شده و عمق جبهه رطوبتی در مطالعه حیدری و همکاران (Heydari et al., 2008) به ترتیب، ۱۷/۶۴۰ و ۱۷/۴۶۸ سانتی‌متر به دست آمد. با بهینه کردن ضرایب مدل شوارتزمن و زور (Schwartzman & Zur, 1986) با روش رگرسیون غیرخطی توسط حیدری و همکاران (Heydari et al., 2008)، مقدار RMSE برای داده‌های مشاهداتی قطر خاک خیس‌شده و عمق جبهه رطوبتی به ترتیب ۵/۷۱۲ و ۴/۰۳۱ سانتی‌متر نتیجه شد. علاوه بر این، بهینه کردن ضرایب مدل اشاره شده با روش حداقل مربعات خطا در مطالعه مذکور، مقدار RMSE را برای داده‌های مشاهداتی قطر خاک خیس‌شده و عمق جبهه رطوبتی به ترتیب، ۹/۶۵۶ و ۵/۷۲۵ نتیجه داد. مقایسه نتایج ذکر شده برای خاک لومرسی در مطالعه حیدری و همکاران (Heydari et al., 2008) با نتایج مطالعه حاضر (جدول ۳)، قابلیت بیشتر معادلات ارائه شده برای خاک مذکور در مطالعه حاضر را نسبت به مدل شوارتزمن و زور (Schwartzman & Zur, 1986) (در صورت استفاده از ضرایب اولیه یا بهینه‌شده) نشان می‌دهد.

References

- Abbas Palangi J., and Akhond Ali A.M. 2008. A semi-empirical model for estimating the geometry of the wetting front under point source trickle irrigation. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(44): 85-96. (In Persian)
- Assouline S. 2002. The effects of microdrip and conventional drip irrigation on water distribution and uptake. *Soil Science Society of America*, 66(5): 1630-1636.
- Ben-Gal A., Lazarovitch N., and Shani U. 2004. Subsurface drip irrigation in gravel-filled cavities. *Vadose Zone*, 3: 1407-1413.
- Bresler E. 1978. Analysis of trickle irrigation with application to design problems. *Irrigation Science*, 1(1): 3-17.
- Cook F.J., Fitch P., Thorburn P.J., 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. *Environmental Modelling and Software*, 21: 1353-1359.
- 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. *Irrigation Science*, 22: 143-156.
- Gardenas A., Hopmans J.W., Hanson B.R., and Simunek J. 2005. Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under microirrigation. *Agricultural Water Management*, 74: 219-242.
- Heydari M., Malek K., Mollayi Kandelous M., Mohseni Movahed A., and Karimi T. 2008. Investigation of empirical models for simulation of soil wetting pattern with drip irrigation under point source. *Agricultural Research*, 8(3): 45-55. (In Persian)
- Kandelous M.M., and Simunek J. 2010. Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D. *Agricultural Water Management*, 97: 1070-1076.
- Karimi A., Homae M., Moezardalan M., Liyaghat A.M., and Raiesi F. 2006. Effect of fertigation on yield and water use efficiency on corn in a tape irrigation system. *Agricultural Sciences*, 12(3): 561-575. (In Persian)
- Keshavaiah K.V., and Kumaraswamy A.S. 1993. Fertigation and water use efficiency in potato under furrow and drip irrigation. *The Indian Potato Association*, 20(3-4): 240-244.
- Khanmohammadi N., Rezaie H., Besharat S., and Behmanesh J. 2012. Evaluation of soil water profile simulations in drip irrigation based on soil hydraulic properties and experimental observation. *Irrigation and Drainage*, 6(3): 187-195. (In Persian)
- Lanjabi M., Tabatabaei S.H., Fattahi R., and Nouri M.R. 2010. Effect of using Geotextile envelope on soil wetting pattern in subsurface drip irrigation. *Irrigation and Drainage*, 4(1): 109-117. (In Persian)
- Metin S.S., Yazar A., and Eker S. 2006. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. *Agricultural Water Management*, 81: 115-131.
- Mirzaei F., Liaghat A.M., Sohrabi T.M., and Omid M.H. 2005. Soil wetting front modeling of line source in drip-tape irrigation. *Agricultural Engineering Research*, 6(23): 53-66. (In Persian)
- Mmolawa K., and Or D. 2003. Experimental and numerical evaluation of an analytical volume balance model for soil water dynamics under drip irrigation. *Soil Science Society of America*, 67: 1657-1671.
- Phogat V., Malik R.S., and Kumar S. 2009. Modelling the effect of canal bed elevation on seepage and water table rise in a sand box filled with loamy soil. *Irrigation Science*, 27: 191-200.
- Provenzano G. 2007. Using HYDRUS-2D simulation model to evaluate wetted soil volume in subsurface drip irrigation systems. *Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4): 342-349.
- Ruhi B., Karaguzel O., Aydinsakir K., and Buyuktas D. 2006. The effects of drip irrigation on flowering and flower quality of glasshouse gladiolus plant. *Agricultural Water Management*, 81: 132-144.
- Sabbah A., and Ghaffari Nejad, S.A. 2008. Determination of the best water level as trickle, irrigation and method of tape replacement on potato yield in Jiroft area. *Research and Development*, 79: 194-199. (In Persian)
- Sayari N., Ghahraman B., and Davari K. 2007. Soil moisture distribution under subsurface drip irrigation systems in pistachio gardens (case study: Rafsanjan lands with saline water). *Agricultural Research*, 7(3): 65-86. (In Persian)
- Schwartzman M., and Zur B. 1986. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. *Irrigation and Drainage Engineering*, 112(3): 242-253.

- Simunek J., Sejna M., and van Genuchten M.Th. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. IGWMC-TPS 53, Version 2.0, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado.
- Simunek J., Sejna M., and van Genuchten M.Th. 2006. The HYDRUS software package for simulating two- and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Technical Manual, Version 1.0. PC Progress, Prague, Czech Republic.
- Singh S.S., and Kaushal M.P. 1991. Fresh and saline water irrigation through drip and furrow method. *Tropical Agricultural*, 9(3): 194- 202.
- 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. *Agricultural Water Management*, 83: 130-134.
- Siyal A.A., and Skaggs T.H. 2009. Measured and simulated soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. *Agricultural Water Management*, 96: 893-904.
- Skaggs T.H., Trout T.J., Simunek J., and Shouse P.J. 2004. Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. *Irrigation and Drainage Engineering*, 30: 304-310.
- Tarazkar M.H., and Sedghamiz A. 2008. Comparing monthly discharge forecasting for Karkheh River by using time series and artificial intelligent traits. *Pajouhesh-Va-Sazandegi*, 80: 51-58. (In Persian)
- Wang F.X., Kang Y., and Liu S.P. 2006. Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain. *Agricultural Water Management*, 79: 248-264.

Determination of the Wetting Pattern Dimensions in Drip Irrigation by Coupling the HYDRUS-2D Software and Buckingham π Theorem in Texturally Different Soils

Neda Khanmohammadi¹, Sina Besharat^{2*}

(Received: July 2016 Accepted: March 2017)

Abstract

In order to design and accurate management of drip irrigation systems, it is necessary to have sufficient information regarding the dimensions of wetting front (diameter and depth of the soil wetted by drippers) for various soil textures. Such important parameters as soil hydraulic functions, drip discharge and irrigation time influence the dimensions of created wetting front. In this study, new semi-empirical models for determination of depth and maximum diameter of soil wetting front under point source in several soil textures were developed. For this purpose, HYDRUS-2D software was run for an application discharge (3 Lhr^{-1}) in several soil textures. Using Buckingham π theorem and obtained values from software, including depth and maximum diameter of soil wetting front, the equations which estimate the wetting front dimensions were presented for several soil textures. Soil saturated hydraulic conductivity, irrigation time and dripper discharge were the parameters of developed equations. Statistic indices results for all equations (min Correlation Coefficient about 0.968, max Root Mean Square Error about 2.120 and max Mean Absolute Error about 1.376) firm the ability of presented equations in calculation of wetting pattern dimension in different soil structures. On the basis of obtained results, presented equations can be used properly for designing and optimal management of drip irrigation system which is located in any soil textures.

Keywords: Buckingham π theory, Drip irrigation, HYDRUS-2D software, Wetting Pattern

1- PhD Student of Water Resources Engineering, Urmia University

2- Associate Professor of Water Engineering, Urmia University

*Corresponding Author Email: S.besharat@urmia.ac.ir