

بررسی مدل‌های تجربی در شبیه‌سازی ابعاد پیاز رطوبتی خاک در آبیاری قطره‌ای تحت منبع نقطه‌ای

مجید حیدری^{1*}، کیوان ملک²، مازیار ملایی کندلوس³، سید اسدالله محسنی موحد⁴، تینا کریمی⁵

چکیده

برای این‌که در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای بتوانیم به راندمان مصرف آب مناسبی دست یابیم، فاصله و دبی قطره-چکان‌ها باید با خصوصیات هیدرولیکی خاک، زمان و مقدار آب لازم برای آبیاری گیاه هماهنگ باشد. در نتیجه داشتن اطلاعات مناسب از عرض و عمق خاک خیس‌شده برای طراحی و مدیریت دقیق سیستم‌های قطره‌ای ضروری است. عرض و عمق خاک خیس‌شده در آبیاری قطره‌ای تحت تاثیر عواملی چون خصوصیات فیزیکی خاک، دبی قطره‌چکان، کل مقدار آب در خاک و رطوبت اولیه خاک می‌باشند. در این پژوهش سعی بر آن است که مدل تجربی مناسبی برای شبیه‌سازی ابعاد پیاز رطوبتی تحت منبع قطره‌ای انتخاب گردد. برای این کار از نتایج آزمایش‌های صحرایی که در مزرعه آموزشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج (دانشگاه تهران) انجام شده بود برای ارزیابی مدل نیمه تجربی زور و شوارتزن (1986) و مدل تجربی امین و اخماج (2006) استفاده شد. همچنین ضرایب این معادلات با دو روش بهینه‌سازی با حداقل مربعات خطا و رگرسیون غیرخطی بازیابی شد. برای مقایسه دقت مدل‌ها، مقادیر پیش‌بینی شده معادلات حاصل از بهینه‌سازی و رگرسیون غیرخطی همراه با دو مدل زور و شوارتزن (1986) و امین و اخماج (2006) برای داده‌های صحرایی آزمایش‌های این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل‌ها با مقایسه سه شاخص آماری میانگین خطا نسبی (ME) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و راندمان مدل (EF) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج پیش‌بینی مدل‌ها در مقایسه با داده‌های مشاهده‌شده از آزمایش‌های صحرایی از دقت مناسبی برخوردار بودند. همچنین برای اعتبارسنجی معادلات به دست آمده از دو سری از داده‌های منتشر شده آزمایش‌های ریشه و چسب (1989) و لی و همکاران (2004) استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های ارائه شده از دقت مناسبی برای دبی‌های مختلف و خاک‌های گوناگون برخوردار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، مدل‌های تجربی و مدل‌های نیمه تجربی

1. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
2 و 5. به ترتیب کارشناس ارشد و کارشناس آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
3. دانشجوی مقطع دکتری رشته آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران
4. استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه اراک
*: نویسنده مسئول

مقدمه

همکاران 2005 و داسبرگ و اور، 1999). هم‌چنین تعاریف نادرست و پیچیده از شرایط جریان در مرزهای خیس‌شده‌گی و حجم بالای آزمایشات مشکلاتی در استفاده از این روش‌ها ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، این روش‌ها به فرض‌های ساده‌کننده زیادی نیاز دارند که کاربرد آن‌ها را در شرایط خاصی ممکن می‌سازند و گاهی اوقات نیز باعث تفاوت‌های زیاد بین مقادیر حاصل از شبیه‌سازی و مقادیر مشاهده شده می‌شوند. (لافولی و همکاران 1997) بنابراین استفاده از مدل‌های تحلیلی و عددی در بسیاری از موارد غیر عملی و طاقت فرسا می‌باشد (باتام و همکاران 2003). و حتی با توانایی کامپیوتر و مدل‌های شبیه‌سازی نفوذ از منبع نقطه‌ای نیز این روش‌ها چندان برای طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای به کار نمی‌روند (زازوتا و همکاران، 1995). در مقایسه با دو روش اخیر مدل‌های ساده تجربی برای طراحی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای راحت‌تر و کاراتر می‌باشند و نتایج پیش‌بینی آن‌ها هم قابل اعتماد می‌باشند (امین و اخماج، 2006). تعداد زیادی مدل تجربی توسط پژوهش‌گران مختلف ارائه شده که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های زور و شوارتزن (1986)، داسبرگ و اور (1989) و بن‌آشر و همکاران (1978) اشاره نمود که مدل زور و شوارتزن یکی از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد. زور شوارتزن (1986) با استفاده از آنالیز ابعادی مدلی نیمه‌تجربی را بر اساس داده‌های مشاهده شده خود به‌دست آوردند. در مدل آن‌ها خصوصیات خاک در هدایت هیدرولیکی اشباع لحاظ شده که به‌دست آوردن آن نسبتاً ساده است و از پیچیدگی کمتری نسبت به مدل‌های تحلیلی و عددی برخوردار است، اما از این روابط تنها عرض و عمق خیس‌شدگی خاک تحت آبیاری قطره‌ای با منبع نقطه‌ای سطحی به‌دست می‌آید و این روش اطلاعاتی در مورد چگونگی توزیع رطوبت و پتانسیل ماتریک در خاک به‌دست نمی‌دهد (داسبرگ و اور 1999). معادله‌های 1 و 2 مدل زور و شوارتزن را نشان می‌دهند.

(1)

$$w = k_1 (V_w)^a \left(\frac{k_s}{q_w}\right)^b \quad (k_1 = 0.031, a = 0.22, b = -0.17)$$

اگر درک صحیحی از پدیده‌های نفوذ و توزیع آب در خاک موجود باشد سیستم‌ای آبیاری قطره‌ای می‌تواند در زمره مناسب‌ترین و موفق‌ترین سیستم‌های آبیاری محصولات زراعی قرارگیرند (برندت و همکاران، 1971). در زمینه سطح مقطع منطقه فعال ریشه درخت¹ و تاثیر شیوه‌های آبیاری بر آن تانسیسکو و همکاران (2004) در مقاله خود به بررسی دقیق این موضوع پرداختند و آبیاری قطره‌ای را مناسب‌ترین روش در این زمینه به حساب آوردند به شرطی که طراحی مناسبی برای آن صورت گیرد. هم‌چنین سینگ و همکاران (2005) در مقاله‌ای نتایج بررسی افزایش کمیت محصول و سطح سایه انداز گیاه تحت تاثیر سطح خیس شده خاک منتشر نمودند. داشتن ریشه عمیق، به گیاه این فرصت را می‌دهد که در مقابل تنش‌های برشی مانند باد یا دیگر تنش‌ها مقاومت بیشتری نماید و دسترسی راحت‌تری به آب و مواد غذایی در مواقع وقوع تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی یا تنش مواد غذایی داشته باشد و لذا راندمان مصرف کود نیز افزایش می‌یابد. داشتن سطح خیس‌شده بیشتر علاوه بر برآورده نمودن خواسته‌های بالا باعث بهبود در معیارهای طراحی مثل تنظیم فاصله قطره‌چکان‌ها و نوار خیس‌شده نیز می‌شود.

انتخاب فاصله قطره‌چکان‌ها بستگی به عوامل متعددی از جمله دبی، گونه‌ی گیاهی و خصوصیات خاک دارد (واریک 1974، کلر و کارملی 1975 و برسلا 1978). بنابراین با توجه به موارد فوق بایستی ابعاد پیاز رطوبتی حاصل از قطره‌چکان تعیین و یا با دقت مناسبی برآورد گردد. برای تخمین ابعاد پیاز رطوبتی خاک در آبیاری قطره‌ای از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. که عبارتند از روش‌های عددی، تحلیلی و تجربی یا ترکیبی از این روش‌ها. با استفاده از این روش‌ها می‌توان تخمینی از موقعیت جبهه پیشروی و ابعاد آن به‌دست آورد. روش‌های تحلیلی و عددی معمولاً به اطلاعات زیادی در مورد خصوصیات هیدرولیکی خاک نیاز دارند که به سختی به‌دست می‌آیند و به‌دست آوردن این اطلاعات مستلزم صرف هزینه و زمان زیاد است (سینگ و

پارامترهای تجربی معادله‌های بالا انجام دادند و به ضرایب زیر رسیدند .

$$R = \Delta q^{-0.5626} V_w^{0.2686} q_w^{-0.0028} K_s^{-0.0344} \quad (6)$$

$$Z = \Delta q^{-0.383} V_w^{0.365} q_w^{-0.101} K_s^{0.195} \quad (7)$$

در این پژوهش دو رابطه زور و شوارتزن و رابطه امین و اخماج که در بالا ذکر شد مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای به‌دست آوردن ضرایب معادله 4 و 5 از داده‌های صحرایی که آزمایش‌های آن در مزرعه کشاورزی پردیس کرج دانشگاه تهران انجام گردید استفاده شد. این آزمایش‌ها شامل آبیاری قطره‌ای سطحی با قطره‌چکان‌هایی با دبی‌های اسمی 2 و 4 و 6 لیتر در ساعت بود. قطره‌چکان‌های به‌کاررفته برای این آزمایش از نوع نتافیم و با دبی‌های تقریبی 2/5 و 4/6 و 6/15 لیتر در ساعت بودند. فشار آب سیستم قطره‌ای توسط پمپ ایجاد شده و در زمان انجام عمل آبیاری مقدار آن ثابت و برابر 1 اتمسفر بود. ساعت‌های آبیاری از 1 تا 7 ساعت تغییر می‌کرد. بعد از هر آبیاری برای اندازه‌گیری ابعاد پیاز رطوبتی درست زیر قطره چکان پروفیلی حفر شد و تا چند سانتی‌متر پایین‌تر از پیشانی پیاز رطوبتی پیش رفت، در عرض هم به همین صورت تا چند سانتی‌متر بیشتر از عرض خیس شده حفاری صورت گرفت تا از خط‌های احتمالی جلوگیری شود. سپس ابعاد پیاز رطوبتی اندازه‌گیری شد. دبی قطره‌چکان‌ها به صورت کاملاً دقیق و از روی کاهش سطح آب در پیژومتر مرتبط با منبع و اندازه‌گیری کاهش حجم آب در واحد ارتفاع منبع به‌دست آمد. در نتیجه حجم آب آبیاری هم از روی دبی و ساعت آبیاری به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری رطوبت اولیه و اشباع خاک بر حسب درصد حجمی از عمق‌های مختلف خاک نمونه‌گیری شد (هر 10 سانتی‌متر یک نمونه)، سپس رطوبت وزنی با روش وزنی اندازه‌گیری گردید که برابر 21/5 درصد بود و چگالی ظاهری خاک هم به همین روش و با استوانه‌های مخصوص اندازه‌گیری چگالی ظاهری به‌دست آمد که برابر 1/485 گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. هدایت

(2)

$$Z = k_2 (V_w)^g \left(\frac{k_s}{q_w}\right)^l \quad (k_2 = 29.2, g = 0.63, l = 0.45)$$

در این روابط Z و w به ترتیب عمق و قطر خاک خیس‌شده در آبیاری قطره‌ای، k_s هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (m/sec)، V_w حجم آب آبیاری (lit) و q_w دبی قطره‌چکان (lit/hr) و k_1 و k_2 ضرایب معادله‌های 1 و 2 می‌باشند.

ابعاد پیاز رطوبتی خاک در آبیاری قطره ای (عرض (R) و عمق (Z) آن) با دبی قطره‌چکان (q_w) متوسط رطوبت خاک در زمان آبیاری ($\Delta\theta$)، هدایت- هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) و حجم آب آبیاری (V_w) متناسب است (بن‌آشر و همکاران 1986، زور و شوارتزن 1980، گلدبرگ و شمولی 1970 و هاچوم و همکاران 1976)، معادله 3:

$$R, Z \propto \Delta q, q_w, V_w, K_s \quad (3)$$

بن آشر و همکاران (1986) فرض کردند مقدار $(\Delta\theta)$ برابر نصف رطوبت اشباع خاک است $(\Delta\theta = \theta_s / 2)$. سپس معادلات خود را براین اساس و برای محاسبه عرض و عمق پیاز رطوبتی در آبیاری قطره‌ای به‌صورت زیر ارائه دادند (معادله 4 و 5).

$$R = \Delta q^a V_w^b q_w^g K_s^l \quad (4)$$

$$Z = \Delta q^r V_w^s q_w^d K_s^e \quad (5)$$

در این معادله تمام ضرایب $\alpha, \beta, \gamma, \lambda, \rho, \sigma, \delta$ و ε تجربی‌اند و باید با استفاده از نتایج آزمایش‌های صحرایی تعیین شوند.

امین و اخماج (2006) با استفاده از داده‌های تقوی و همکاران (1989) در بافت لومی رسی و با دبی 2/193 لیتر در ساعت و انگلاکیس و همکاران (1993) در خاک لومی رسی و شنی و با دبی‌های 2/1 و 7/8 لیتر در ساعت و حمای و همکاران (2002) در خاک سیلتی و با دبی‌های 1 و 2 و 4 لیتر در ساعت و لی و همکاران (2003) در خاک لوم و با دبی‌های تقریبی (0/6 - 0/9) و (2 - 1/4) لیتر در ساعت این روابط را مورد استفاده قرار دادند و با روش رگرسیون غیرخطی چند متغیره و با استفاده از نرم‌افزار SPSS بهترین برازش را برای

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{si} - C_{oi}) \quad (8)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{si} - C_{oi})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (C_{si} - C_{oi})^2}{\sum_{i=1}^N (C_{oi} - C_o)^2} \quad (10)$$

در این معادله‌ها C_{si} داده شبیه‌سازی شده i ام با بعد طول، C_{oi} داده مشاهده شده i ام با بعد طول، C_o متوسط داده‌های مشاهده شده با بعد طول می‌باشند. در این پژوهش پارامترهای آماری بالا به‌طور جداگانه برای عرض و عمق خیس‌شدگی به‌دست می‌آیند و از آن‌ها برای ارزیابی مدل‌ها استفاده می‌شود و معیار کارایی مدل نیز حداقل بودن مقدار $RMSE$ و ME و حداکثر بودن مقدار EF می‌باشد (ویلموت 1982، جاکوویدز و کنتویانیس 1995).

نتایج و بحث

در این بخش ابتدا ضرایب مربوط به روابط تجربی مورد بررسی قرار گرفته در این پژوهش در جدول‌های 1 و 2 ارائه شده‌است که در جدول 1 ضرایب مربوط به رابطه 4 و 5 آورده شده‌است. سطر اول مربوط به ضرایب رابطه 6 و 7 است که توسط امین و اخماج (2006) ارائه شده‌است. سطر دوم مربوط به ضرایبی است که از طریق رگرسیون غیر خطی چند متغیره در نرم‌افزار (SPSS) به‌دست آمده و ستون سوم ضرایب همین معادله است که از روش بهینه‌سازی از طریق حداقل مربعات که به وسیله نرم افزار Excel به‌دست آمد.

در جدول 2 ضرایب رابطه 1 و 2 آورده شده‌است. سطر اول را ضرایبی تشکیل می‌دهند که زور و شوارتزن (1986) از طریق تحلیل ابعادی به‌دست آوردند. سطر دوم جدول شامل ضرایبی است که از طریق رگرسیون به‌دست آمده و سطر سوم ضرایب حاصل از بهینه‌سازی روابط زور و شوارتزن با توجه به داده‌های صحرائی به‌دست آمده در آزمایش می‌باشد (جدول 2).

هیدرولیکی هم با استفاده از روش چاهک معکوس به-دست آمد و مقدار آن برابر 3/66 سانتی‌متر در ساعت اندازه‌گیری گردید. بافت خاک هم با نمونه‌گیری از خاک مزرعه و استفاده از روش هیدرومتری در آزمایشگاه و از روی مثلث بافت خاک وزارت کشاورزی آمریکا (USDA) لومی رسی تعیین گردید.

در این پژوهش ارزیابی مدل‌های تجربی و تشخیص کارایی آن‌ها در شرایط آزمایش مورد نظر بود. برای ارزیابی مدل‌های تجربی، مدل‌های زور-شوارتزن (1986) و امین-اخماج (2006) انتخاب شد. نتایج حاصل از آزمایش صحرائی با نتایجی که از شبیه‌سازی این مدل‌ها در شرایط آزمایش به‌دست آمده‌بود، مقایسه شد.

هم‌چنین برای بازیابی ضرایب این دو معادله در شرایط آزمایش از دو روش بهینه‌سازی توسط حداقل مربعات که توسط نرم‌افزار Excel انجام شد و روش رگرسیون غیرخطی چند متغیره که توسط نرم‌افزار (SPSS, version 15) به انجام رسید استفاده شد. در مجموع 4 معادله از بازیابی ضرایب به‌دست آمد که شامل معادله بهینه‌سازی شده مدل زور-شوارتزن، معادله بهینه‌سازی شده مدل امین-اخماج، معادله رگرسیونی زور-شوارتزن و معادله رگرسیونی امین-اخماج می‌باشد. در این پژوهش پیش‌بینی‌های حاصل از معادلات زور-شوارتزن و امین-اخماج با چهار معادله‌ای که ضرایب آن‌ها از آزمایشات صحرائی به‌دست آمده مقایسه شد. همچنین پیش‌بینی مدل‌های زور-شوارتزن و امین-اخماج و چهار مدل حاصل از بازیابی ضرایب، در شرایط آزمایش‌های لی و همکاران (2004) و یی‌تایو و همکاران (1998) به‌دست آمد و با داده‌های منتشرشده آن‌ها مقایسه شد و مدل‌های بالا مورد ارزیابی قرار گرفت.

ارزیابی کارایی مدل معمولاً بر اساس پارامترهای آماری حاصل از مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده انجام می‌گیرد. پارامترهای آماری معمول عبارتند از متوسط خطا (ME) و جذر مربع متوسط خطا ($RMSE$) و راندمان مدل (EF) که با استفاده از روابط 8، 9 و 10 بیان می‌شوند (ویلموت 1982).

جدول 1: بازیابی ضرایب معادلات 4 و 5

	α	β	γ	λ	ρ	σ	δ	ε
معادله امین-اخماج	-0/5626	0/2686	-0/0028	-0/0344	-0/383	0/365	-0/101	0/195
معادله رگرسیونی امین-اخماج	0/778	0/45	0/075	-0/228	0/349	0/536	-0/115	-0/112
معادله بهینه‌سازی شده امین-اخماج	-0/327	0/4704	0/1286	-2/0162	0/0172	0/5134	-0/0318	-0/85

جدول 2: بازیابی ضرایب معادلات 1 و 2

	K_1	K_2	α	β	γ	λ
زور-شوارتزمن	0/031	29/2	0/22	-0/17	0/63	0/45
معادله رگرسیونی زور-شوارتزمن	7/223	35/059	0/45	-0/075	0/536	0/115
معادله بهینه‌سازی شده زور-شوارتزمن	0/0402	20/009	0/22	-0/17	0/63	0/45

رگرسیون چند متغیره غیر خطی برای ضرایب رابطه 4 که توسط امین و اخماج (2006) ارائه شده‌است بود که در جدول 3 قابل مشاهده‌است.

در هر دو مورد قطر و عمق خیس شده رابطه امین- اخماج جواب نسبتاً مناسبی را به دست می‌دهد و میزان خطا در آن مناسب می‌باشد، که در جدول 3 قابل مشاهده است. این که رابطه امین- اخماج نتایج مطلوبی می‌دهد به این علت است که ضرایب رابطه امین- اخماج از چهار سری آزمایش منتشر شده به دست آمده و این آزمایش‌ها در چهار بافت خاک مختلف و شرایط آزمایش متفاوتی انجام شده بود و در نتیجه می‌تواند برای طیف گسترده‌تری از شرایط صادق باشد.

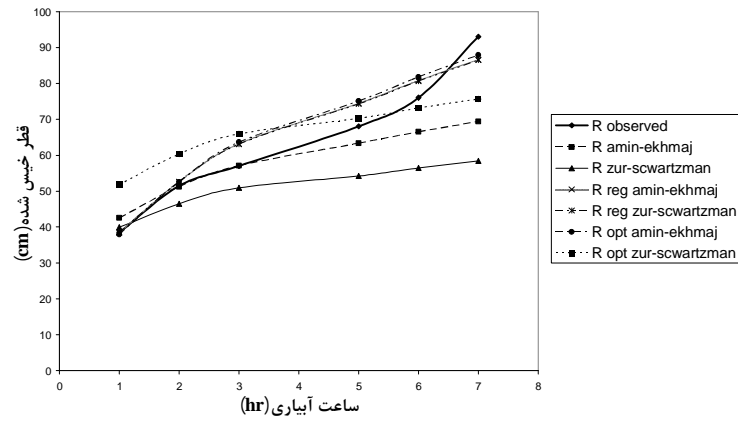
بدترین پیش‌بینی برای عمق و قطر خیس شده توسط رابطه زور و شوارتزمن انجام گرفت و این رابطه بیشترین خطا را در پیش‌بینی عمق و قطر خیس شده داشت. منشأ این خطاها می‌تواند عدم تطابق شرایط آزمایش‌های زور و شوارتزمن و آزمایش‌های تحقیق حاضر باشد. هم‌چنین در مدل زور و شوارتزمن متوسط رطوبت خاک در زمان آبیاری در نظر گرفته نشده‌است و تأثیر تمام خصوصیات فیزیکی خاک تنها توسط هدایت هیدرولیکی اشباع لحاظ شده‌است و این در حقیقت یک ساده سازی بیش از حد است مثلاً یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فشردگی خاک است که بر بسیاری از خصوصیات فیزیکی و خصوصیات خیس‌شده‌گی خاک تأثیر دارد که در این رابطه لحاظ نشده‌است (هیل 1990). که این امر نیز می‌تواند منشایی برای این خطاها باشد.

شکل‌های 1، 2 و 3 قطرهای مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نسبت به مدت زمان آبیاری ارائه می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود تمام مدل‌های مورد بررسی جواب نسبتاً مطلوبی می‌دهند و تنها مدل زور- شوارتزمن است که مقادیر قطر خیس شده را کمتر تخمین می‌زند و دقت کمتری در مقایسه با مدل‌های مورد بررسی دارد.

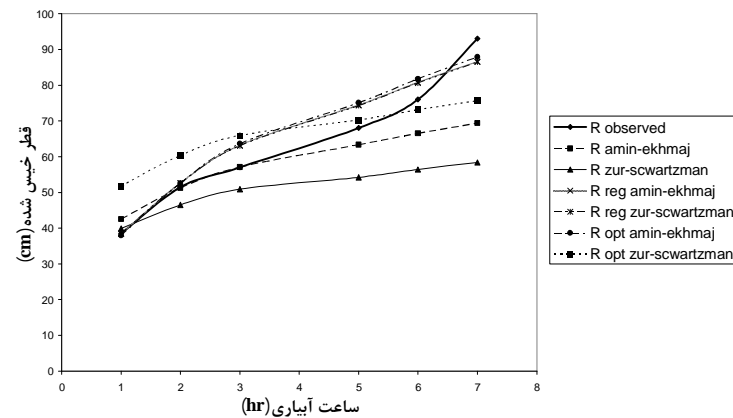
شکل‌های 4، 5 و 6 تغییرات عمق‌های خیس شده مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نسبت به مدت زمان آبیاری ارائه می‌دهند. در این مورد هم همان‌طور که مشاهده می‌شود جواب‌های مطلوبی از مدل‌های مورد بررسی به دست آمده‌است. و مدل زور و شوارتزمن تنها مقداری تخمین بیش از حد دارد.

به منظور ارزیابی مدل‌های مورد نظر پارامترهای آماری ME، RMSE و EF هم با استفاده از نتایج حاصل از آزمایش‌های میدانی این پژوهش انجام گرفته و هم با داده‌های حاصل از پیش‌بینی مدل‌های مزبور محاسبه شده و مقایسه گردید

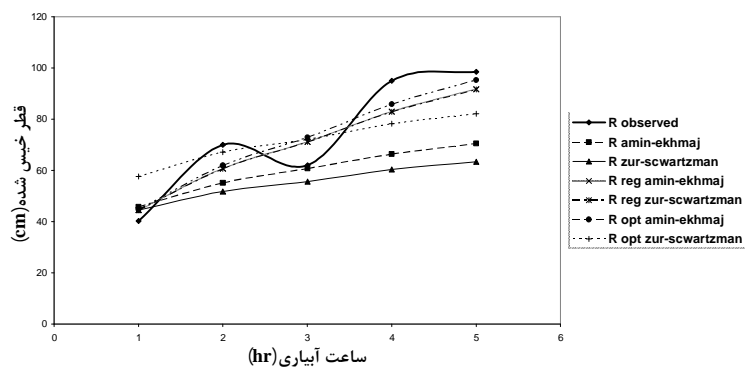
برای داده‌های قطر خیس شده، بهترین نتایج برای روش‌های بهینه سازی با روش حداقل مربعات و روش تحلیل رگرسیون چند متغیره غیر خطی برای ضرایب رابطه 4 که توسط امین و اخماج (2006) ارائه شده‌است بود که در جدول 3 قابل مشاهده‌است. برای داده‌های عمق خیس شده به دست آمده در این آزمایش این پژوهش هم ارزیابی مدل‌های ارائه شده در جدول‌های 1 و 2 به انجام رسید و بهترین نتیجه از آن روش‌های بهینه سازی با روش حداقل مربعات و روش تحلیل



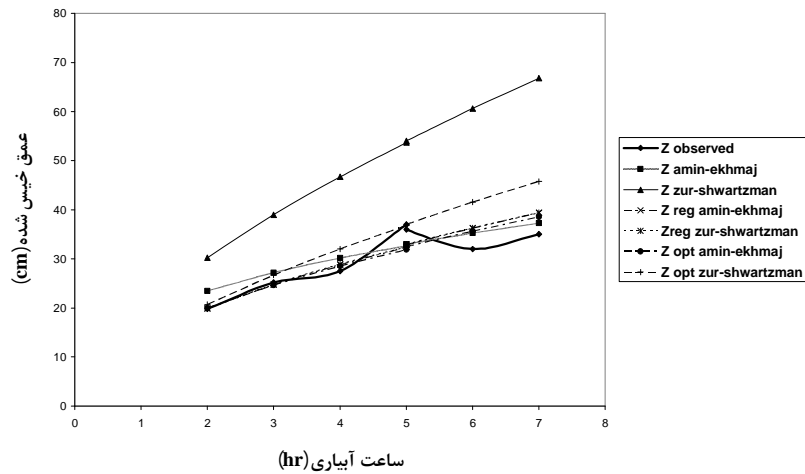
شکل 1: مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده برای قطر خیس‌شده به ساعت آبیاری برای دبی 2/5 لیتر در ساعت



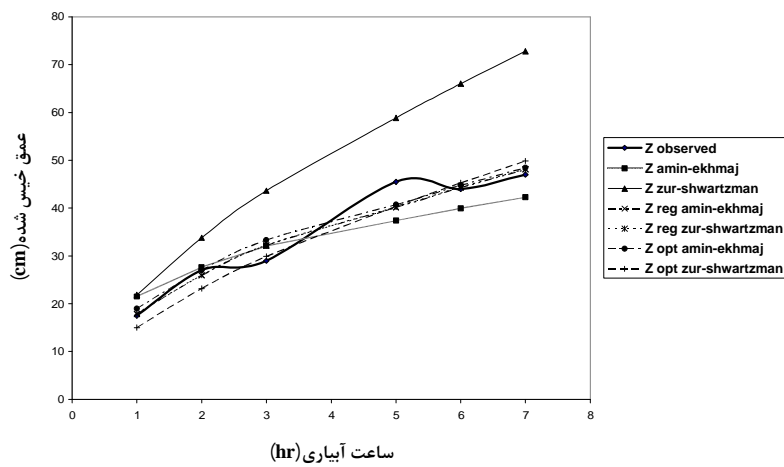
شکل 2: مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده برای قطر خیس‌شده به ساعت آبیاری برای دبی 4/6 لیتر در ساعت



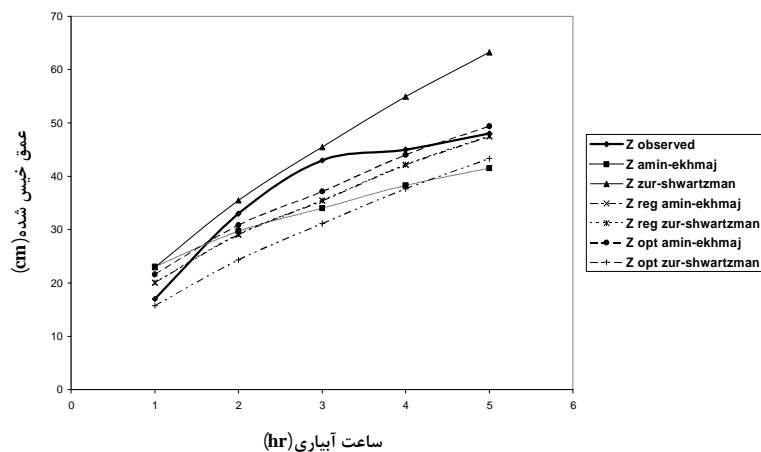
شکل 3: مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده برای قطر خیس‌شده به ساعت آبیاری برای دبی 6/15 لیتر در ساعت



شکل 4: مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای عمق خیس شده به ساعت آبیاری برای دبی 2/5 لیتر در ساعت



شکل 5: مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای عمق خیس شده به ساعت آبیاری برای دبی 4/6 لیتر در ساعت



شکل 6: مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای عمق خیس شده به ساعت آبیاری برای دبی 6/15 لیتر در ساعت

ریسه و همکاران (1989) در خاک لومی شنی و با دبی - ها مختلف که از 3/56 تا 8/29 لیتر در ساعت متغیر بودند، انجام شد و فقط شامل قطر خیس شده بود.

برای اعتبار سنجی روابط به دست آمده از داده - های منتشر شده آزمایش ریسه و همکاران (1989) و آزمایش لی و همکاران (2004) استفاده شد. آزمایش

روابطی که ضرایب آن‌ها از روش‌های رگرسیون و بهینه‌سازی برای معادلات 4 و 5 به دست آمده و در جدول 1 ارائه شده‌اند کمترین خطا را در تخمین ابعاد پیاز رطوبتی خاک داشتند. با این که ضرایب این روابط برای خاک لومی رسی و شرایط آزمایش‌های این پژوهش بازیابی شده‌اند، برای خاک‌های لومی شنی و شنی نتایج مناسبی به دست می‌دهند. هم‌چنین برای دبی‌های به کار رفته در آزمایشات ریشه و همکاران و لی و همکاران هم پیش‌بینی مدل‌های به دست آمده با جواب‌های مشاهده شده قرابت بسیار مناسبی داشتند که کارایی مدل‌های به دست آمده را نشان می‌دهد و اعتبار آن‌ها را تأیید می‌کند. در نتیجه از این مدل‌ها می‌توان در تخمین عمق و قطر خاک خیس شده در آبیاری قطره‌ای با دقتی مناسب استفاده کرد.

آزمایش لی و همکاران (1999) در خاک شنی و با دبی‌های 0/7 و 1 و 1/4 و 2 لیتر در ساعت انجام شد و شامل قطر و عمق خیس شده بود. اعتبارسنجی روابط بدین صورت انجام شد که پیش‌بینی مدل‌های ارائه شده در این پژوهش که ضرایب آن‌ها در جدول‌های 1 و 2 ذکر شده‌است و هم‌چنین مدل‌های زور-شوارتزمن و امین-اخماج در شرایط آزمایش‌های ریشه و همکاران و لی و همکاران به دست آمد و با داده‌های مشاهداتی آن‌ها مقایسه شد. بهترین نتیجه را رابطه حاصل از بازیابی ضرایب رابطه 4 به روش رگرسیون غیرخطی و بهینه‌سازی به دست دادند، هم‌چنین رگرسیون رابطه زور-شوارتزمن و رابطه امین نیز نتایج نسبتاً مطلوبی داشتند که در جدول 3 ارائه شده‌است و در مجموع تمام معادله‌های مورد بررسی نتایج قابل قبولی داشتند.

جدول 3: مقایسه پارامترهای آماری محاسبه شده بر اساس داده‌های مشاهداتی در این پژوهش و پژوهش‌های دیگر

	داده‌های مشاهداتی			داده‌های ریشه و همکاران			داده‌های لی و همکاران		
	RMSE	EF	ME	RMSE	EF	ME	RMSE	EF	ME
R _{amin} (cm)	11/966	0/538	9/826	10/856	-0/612	8/895	3/929	0/623	7/738
R _{reg amin} (cm)	5/705	0/895	7/231	8/554	-0/001	13/903	2/965	0/785	7/953
R _{opt amin} (cm)	5/484	0/903	7/485	9/627	-0/268	10/143	2/622	0/832	11/705
R _{zur} (cm)	17/640	-0/003	20/269	16/719	-2/824	17/641	2/909	0/793	13/135
R _{reg zur} (cm)	5/712	0/895	7/211	9/093	-0/131	9/888	10/697	-1/796	51/355
R _{opt zur} (cm)	9/656	0/699	12/465	11/093	-0/683	13/627	2/289	0/872	13/504
Z _{amin} (cm)	4/621	0/757	13/116	—	—	—	2/032	0/899	12/807
Z _{reg amin} (cm)	4/029	0/816	9/143	—	—	—	1/706	0/929	8/645
Z _{opt amin} (cm)	4/098	0/809	9/443	—	—	—	6/111	0/087	34/705
Z _{zur} (cm)	17/468	-2/466	45/781	—	—	—	5/122	0/359	22/713
Z _{reg zur} (cm)	4/031	0/815	9/197	—	—	—	3/343	0/727	18/107
Z _{opt zur} (cm)	5/725	0/628	13/042	—	—	—	3/040	0/774	16/350

منابع

- Amin M. S. M and Ekhmaj, A. I. M, 2006, Drip irrigation water distribution pattern calculator (conference paper 6th international micro-irrigation congress).
- Angelakis, A. N., Kadir, T. N. and Rolston, D. E. 1993. Time-dependent soil-water distribution under a circular trickler source. *Water Management* 7:225-235.
- Battam, M. A., Sutton, B. G., Boughton, D. G., 2003. Soil pit as a simple design aid for subsurface drip irrigation systems. *Irrig. Sci.* 22, 135–141.
- Ben-Asher, J., Charach, CH. and eme, A. Z. 1986. Infiltration and water extraction from Trickle Irrigation, The effective hemisphere model. *Soil Sci. Soc. Am.* J50: 882-887.
- Brandt, A.; Bresler, E., Diner, N., Ben-Asher, I. and Hiller, J. Goldberg D 1971. Infiltration from a Trickle Source: 1. Mathematical Models. *Soil Science Society American Proceeding*, 35: 675-682.
- Bresler, E. 1987. Analysis of trickle irrigation with application to design problems. *Irrigation sinence.* 1: 13-17.
- Dasberg. S. and Or, D. 1999. Drip irrigation. Springer-Verlag.
- Goldberg D. and Shmueli M. 1970. Drip irrigation-a method used under arid and desert conditions of high water and soil salinity. *Transactions of the ASAE* 13: 38-41
- Hachum, A. Y. Alfaro, J. F. and Willardson, L. S. (1976). Water movement in soil from trickle source. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE*, 102: 179 -192
- Hammami, M., Hedi, D., Jelloul, B. and Mohamed, M. 2002, Approach for predicting the wetting front depth beneath a surface point source: Theory and numerical aspect. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE*, 103: 175 -196.
- Hill, D. 1990. Trickle irrigation design parameters. *Transcation to the ASCE*, 17: 678-684.
- Jacovides, C. P. and Kontoyiannis, H. 1995. Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. *Agric. Water Manage.* 27: 365–371.
- Keller, J. and Karmeli, D. 1974. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*, 17: 678-684.
- Lafolie, F., Bruckler, L., de Cockborne, A. M. and Laboucarie, C. 1997. Modeling the water transport and nitrogen dynamics in irrigated salad crops. *Irrig. Sci.* 17: 95–104.
- Li, J., Zhang, J., and Ren, L. 2003. Water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source. *Irrig. Sci* 22:1:12-30. *nd Drain*, 51:347-360.
- Li, J., Zhang, J. and Rao, M. 2004. Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. *Agri. Water Manag.* 67: 89–104.
- Palomo, M. J., Moreno, F., Fernández, J. E., Díaz-Espejo, A. and Girón, I. F. 2002. Determining water consumption in olive orchards using the water balance approach. *Agric. Water Manage.* 1:15-35.
- Pannunzio, A. and Patino Eduardo 2005, Decantation and filtration of surface water for micro irrigation (Conference paper 6th international micro-irrigation congress.).
- Risse, L. M. and Chesness, J. L. 1989. A simplified design procedure to determine the wetted radius for a trickle emitter. *Transactions of ASAE* 32(6): 1909-1914.
- Schwartzman, M. and Zur, B. 1986. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. *J Irrig drainage Engr ASCE* 112:242-253.
- Singh D. K., Rajput, T. B. S. Sikarwar, H. and Ahmad, V. T. 2005, Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source, *Agricultural water management*, 83: 130-134.
- Taghavi, S. A., Marino, M. A. and Rolston, D. E. 1984. Infiltration from trickle irrigation source. *J. of Irrig. And Drainage Eng.*, ASCE 11-094.
- Tanasescu, N. and Paltineaue, C. 2004. Root distribution of apple tree under various irrigation systems within the hilly region of Romania. *Institute of agrophysice.* 18: 175-180.
- Warrick, A. W. 1974. Time dependent linearized infiltration 1. Point sources. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38 (3): 383-387.

- Willmut, C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 63 (11): 1309–1313.
- Yitayew M., Khan, A. A. and Warrick, A. W. 1998. In situ measurements of soil hydraulic conductivity using point application of water. *Applied Eng in Agriculture*, 14(2):115-120.
- Zazueta, F. S., Clark, G.A., Smajstrla, A. G. and Carrillo, M. 1995. A simple equation to estimate soil water movement from a drip irrigation source. *Proc. of the fifth international microirrigation congress, ASAE.* 581-856.

Investigation of Empirical Models for Simulation of Soil Wetting Pattern With Drip Irrigation Under Point Source

Heydari¹, M., Malek². K., Mollayi kandelous³, M., Mohseni Movahed⁴, A. and karimi⁵, T.

Abstract

For drip irrigation systems, to obtain improved water use efficiency, distance between emitters and emitter flow rates must be matched to the soil wetting characteristics, and timing of water to be supplied to the crop. The information on depths and widths of wetted zone of soil plays the great significance in design and management of these systems. The depth and the width of wetted zone is related to soil properties, water application rate, total amount of water in the soil and initial moisture content. In this investigation, an empirical model was developed to simulate dimensions of soil wetted zone under drip source. For this purpose, the field experimental data which was measured in Pardis agricultural farm of Karaj, was used to evaluate semi-empirical model of Zur-Schwartzman and empirical model of Amin-Ekhmaj. The coefficient of these equations determined with both nonlinear regression approach and optimization with least square approach. Predicts of equations obtained from nonlinear regression and optimization approach, predicts of Zur model and predicts of Amin model compared with the observed data. The evaluation of models based on comparison of statistical parameters of simulated data with that observed data. The parameters used were Mean Error (ME), Root Mean Square Error (RMSE) and model efficiency (EF). Very good agreement between theoretical and experimental results improves the validity of these equations. To evaluate above mentioned models also two available published experimental data by Risse et al. (1989) and Li et al. (2004) was used. The results show that suggested equations can be used for wider range of discharge rate and other soil types.

Keywords: Drip irrigation, Empirical models, Semi-empirical model

1. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan.

2 and 5. M.Sc.and B.sc. graduated respectively, Department of Irrigation, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan.

3. PhD student of Irrigation and Drainage, Tehran University.

4. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Arak University.

*: Corresponding author

