Archive of SID

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره2، جلد9، خرداد - تیر 1394، ص. 241-233

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 9, May.-Jun. 2015, p. 233-241

شبیه‌سازی و ارزیابی الگوی توزیع رطوبتی خاک در آبیاری زیرزمینی کوزه‌ای

آزاد آقایی[1]، پیمان افراسیاب[2*]، مهدی کیخا[3] و غلامعلی کیخا[4]

تاریخ دریافت: 1393/10/4 تاریخ پذیرش: 1394/2/23

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب در مناطق خشک جهان، استفاده از روش‌های نوین آبیاری با راندمان بالا در کشاورزی امری ضروری است. یکی از راه‌های افزایش بهره‌وری آب، استفاده از روش آبیاری زیرزمینی کوزه‌ای است. با این‌حال طراحی درست این سامانه‌ها نیاز به اطلاعات کافی از نحوه توزیع جریان آب به صورت افقی و عمودی دارد. هدف از این مطالعه بررسی عمقی الگوی توزیع رطوبت در خاک تحت سامانه آبیاری کوزه‌ای با استفاده از منبع آب آبیاری با ارتفاع 1، 1/5و 2 متر در مقاطع زمانی مشخص می‌باشد. این پژوهش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام گرفت. اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک تا عمق 1 متر توسط رطوبت سنج TDR صورت پذیرفت. کوزه‌ها دارای قطر6 سانتی‌متر و ارتفاع 45 سانتی‌متر بودند واز طریق لوله‌های پلی اتیلن 16 میلی‌متری به‌هم وصل شدند. شبیه‌سازی حرکت آب در خاک به‌وسیله نرم‌افزار HYDRUS-2D انجام شد و در نهایت نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی مقایسه گردید. نتایج نشان داد مدل می‌تواند روند تغییرات رطوبت را با دقت به نسبت خوبی شبیه‌سازی کند. در زمان‌های اولیه آبیاری، شبیه‌ساز رطوبت را بیش‌تر از مقادیر واقعی برآورد کرد. در فاصله 30 سانتی‌متر از محور عمودی کوزه تغییرات رطوبتی چندان نبود و مدل نیز این امر را تصدیق کرد. بهترین همبستگی مربوط به فاصله 10 سانتی‌متری از محور عمودی کوزه با مقادیر ME، RMSE و R^2 به ترتیب برابر 0/0015 سانتی‌متر، 0/018 سانتی‌متر و 0/95 می‌باشد. یافته‌ها نشان داد شبیه‌ساز HYDRUS-2D، از کارایی مناسبی برای شبیه‌سازی توزیع رطوبت در آبیاری کوزه‌ای متخلخل رسی برخوردار است. هم‌چنین مشاهده شد که توزیع رطوبت در نیم‌رخ خاک تحت منبع با ارتفاع 1/5 و 2 متر، تفاوت چندانی با هم ندارد و افزایش ارتفاع منبع تأثیری روی شعاع رطوبتی خاک ندارد و تنها افزایش هزینه‌ها را در پی دارد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری کوزه‌ای، الگوی توزیع رطوبت، شبیه‌سازی، HYDRUS-2D

مقدمه

به علت رشد جمعیت جهان و محدودیت منابع آب، شیوه آبیاری در کشاورزی باید به گونه‌ای باشد که تولید محصول بیش‌تر با مصرف آب کم‌تر حاصل گردد. بازده آبیاری در روش‌های آبیاری تحت فشار در حد قابل قبولی بالا می‌باشد. اما به علت هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و تنظیم و نگهداری، امکان استفاده از آن‌ها برای تمام مزارع وجود ندارد. بنابراین در کشورهای در حال توسعه با مزارع کوچک که دارای آب‌وهوای خشک و نیمه خشک می‌باشند، استفاده از این روش‌ها در تمام شرایط ممکن نیست (Anonymous, 1997). از این‌رو کشاورزان مجبور به پذیرفتن روش‌های سنتی آبیاری که دارای کارایی مشابه آبیاری قطره‌ای ولی هزینه کم‌تری هستند، می‌باشند (Atchelor et al, 1996). از روش‌های باستانی آبیاری آبیاری کوزه-ای (Bainbridge, 2001; Siyal et al, 2009) و لوله‌های رسی متخلخل (Ashrafi et al, 2002) می‌باشد. روش‌های آبیاری زیر سطحی مانند قطره‌چکان‌ها یا کوزه‌های مدفون سبب کاهش تبخیر از سطح خاک و نفوذ عمقی می‌شوند (Wolff and Stein, 1999; Siyal and Skaggs, 2009). بنابراین آبیاری کوزه‌ای می‌تواند به‌عنوان روشی ساده و کم هزینه نسبت به آبیاری قطره‌ای مدرن سبب بهبود بازده استفاده از آب در کشاورزی گردد (Siyal and Skaggs, 2009). کتاب فان شینگ- چیه شوا که از قدیمی‌ترین متون کشاورزی موجود می‌باشد، شرح چگونگی استفاده از کوزه‌های مدفون را در چین بیش از 2000 سال قبل داده است (Bainbridge, 2001). به‌علت کمی آب در روستاها و مناطق کویری و خشک ایران و با توجه به نفوذ آب و تبخیر آن هنگام انتقال از جایی به جایی دیگر و ناکافی بودن دبی آن برای تقسیم، از آبیاری کوزه‌ای استفاده می‌شد (باستانی، 1374). در این روش توزیع رطوبت در خاک بهتر شده و در نتیجه به ایجاد شرایط بهینه برای گیاهان و صرفه-جویی در مصرف آب، کمک می‌شود (زبردست قازان‌علی و شفیعی

1- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل
2- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل
3- عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات تالاب بین‌المللی هامون، دانشگاه زابل
4 - محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زابل
(* - نویسنده مسئول: Email: p_afrasiab@yahoo.com)

www.SID.ir

Archive of SID

مقدم، 1388).

طراحی درست آبیاری کوزه‌ای رسی متخلخل نیاز به اطلاعات کافی از نحوه توزیع رطوبت در خاک دارد. این نوع اطلاعات در تعیین عمق نصب و فاصله کوزه‌ها از یکدیگر و چگونگی تنظیم شدت جریان خروجی از آن نقش مهمی ایفا می‌کند. در این راستا مدل‌های زیادی پیشنهاد شده است که با داشتن مشخصه‌های هیدرولیکی خاک، دبی خروجی و حجم آب خارج شده می‌توانند تخمین قابل قبولی از نحوه توزیع رطوبت ارائه دهند. مدل HYDRUS-2D یکی از مدل‌های پیشرفته در ارتباط با حرکت آب، املاح و گرما می‌باشد که توسط سیمونک و همکاران در آزمایشگاه شوری خاک آمریکا بسط داده شده است (Simunek et al, 1999).

محققین زیادی مانند (Cote et al, 2003)، (Skaggs et al, 2004)، (Lazarovitch et al, 2007)، (Patel and Rujput, 2008)، (Kandelous and Simunek, 2010) ، اژدری (1385)، کریمی گوغری و همکاران (1390) و نقوی و همکاران (1391) عملکرد مدل HYDRUS-2D را در شبیه‌سازی توزیع رطوبت در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی مورد بررسی قرار داده و کارایی بالای مدل را تصدیق نموده‌اند. به‌عنوان مثال سینگ و همکاران به بررسی الگوی توزیع رطوبت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با پخش خطی آب پرداختند. آن‌ها عمق و عرض خیس‌شدگی را به‌طور رضایت‌بخشی با استفاده از مدل HYDRUS-2D شبیه‌سازی کردند (Singh et al, 2006). هم‌چنین کندلوس و سیمونک به ارزیابی توانایی سه شبیه‌ساز تحلیلی WetUp، شبیه‌ساز عددی HYDRUS-2D و شبیه‌ساز تجربی در تخمین ابعاد ناحیه خیس شده در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در خاک با بافت متوسط-رسی پرداختند. نتایج نشان داد که HYDRUS-2D پیشگویی‌های بهتری از توزیع رطوبت در اطراف قطره‌چکان‌ها ارائه می‌کند و دقت بالاتری نسبت به دیگر شبیه‌سازها دارد (Kandelous and Simunek, 2010).

با این‌حال تحقیقات زیادی در مورد سامانه‌های آبیاری زیرسطحی قدیمی صورت نگرفته است. مطالعات صورت گرفته در این زمینه شامل مدل‌سازی عددی نفوذ و توزیع رطوبت تحت آبیاری با لوله‌های متخلخل رسی (Ashrafi et al, 2002) و کوزه (Siyal et al, 2009) و آنالیز ابعادی محیط خیس شده خاک تحت آبیاری با لوله‌های متخاخل رسی (Qiaosheng et al, 2007) بوده است. در تحقیقی به بررسی الگوی پخش آب ایجاد شده با لوله‌های سفالی به ازاء چهار ارتفاع فشاری متفاوت در مزرعه آزمایشی واقع در پاکستان پرداخته شد. در مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه و شبیه‌سازی شده توسط نرم افزار HYDRUS-2D، نتایج مشابهی به دست آمد که بیانگر کارایی خوب شبیه‌ساز در تخمین الگوی رطوبتی خاک می‌باشد (Siyal and Skaggs, 2009). سیال و همکاران به بررسی و مقایسه توزیع رطوبت تحت آبیاری کوزه‌ای با سه سایز مختلف کوزه پرداختند. نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی انجام شده با مدل HYDRUS-2D نشان داد که کوزه‌های کوچک با نصف سایز کوزه‌های بزرگ ولی با هدایت هیدرولیکی دو برابر، تقریباً جبهه رطوبتی یکسانی تولید می‌کنند. از طرفی برای کوزه بزرگ، گسترش افقی رطوبت در خاک سنگین‌بافت بیش‌تر از خاک سبک‌بافت بود (Siyal et al, 2009).

در تحقیق حاضر کارایی مدل HYDRUS-2D برای شبیه‌سازی توزیع رطوبتی در سیستم آبیاری زیرسطحی کوزه‌ای متخلخل رسی تحت ارتفاعات فشاری مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آزمایشات میدانی

منطقه مورد مطالعه مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی زهک واقع در 22 کیلومتری زابل با عرض جغرافیایی 30 درجه و 54 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 61 درجه و 41 دقیقه شرقی می‌باشد که در ارتفاع 495 متری از سطح دریا قرار گرفته است. این منطقه از نظر اقلیمی و تقسیم‌بندی آب‌وهوایی جزء مناطق خشک ایران محسوب می‌شود.

این پژوهش در بهمن‌ماه 1392 انجام گرفت. در شکل 1، کوزه-های مورد استفاده در این تحقیق و ساختار آن‌ها نشان داده شده است. در انتخاب کوزه‌ها ابتدا سالم بودن آن‌ها آزمایش گردید و سعی شد آن‌ها از نظر اندازه و خصوصیات با هم همخوانی داشته باشند. کوزه-های مورد استفاده در این تحقیق دارای حجمی برابر 0/33 لیتر، ارتفاعی برابر 45 سانتی‌متر و قطر خارجی 6 سانتی‌متر بودند. کوزه‌ها در سه ردیف کار گذاشته شدند و از طریق لوله‌های پلی اتیلن 16 میلی‌متری هر کدام از این ردیف‌ها به منابع آب با ارتفاع 1، 1/5 و 2 متر متصل گردید. کوزه‌ها طوری در زمین نصب شدند که ده سانتی-متر خاک روی آن‌ها قرار گرفته باشد و به گونه‌ای لوله‌ها به سه راهی‌های روی آن‌ها وصل شدند که هیچ گونه نشتی نداشته باشند. در اطراف کوزه و به فواصل 10، 20 و 30 سانتی‌متر از محور عمودی کوزه، لوله‌های TDR برای پایش رطوبتی کار گذاشته شد. قبل از شروع آبیاری و در زمان‌های 2، 12، 24 و42 ساعت بعد از شروع آبیاری، رطوبت اندازه‌گیری شد. رطوبت حجمی به روش TDR، بافت خاک به روش هیدرومتری و جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر محاسبه شدند (Gee and Or, 2002). مشخصات شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در این آزمایش در جدول 1 و مشخصات خاک مورد آزمایش در جدول 2 آمده است.

معادلات حاکم و شبیه‌سازی عددی

حرکت آب در خاک براساس اطلاعات میدانی با استفاده از مدل HYDRUS-2D شبیه‌سازی گردید (Simunek et al, 2006).

www.SID.ir

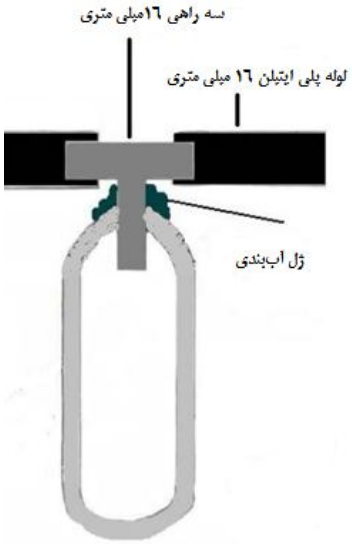
Archive of SID

جدول 1- مشخصات شیمیایی آب آبیاری

سدیم	کلسیم + منیزیم	کلر	بی‌کربنات	کربنات	pH	EC
(meq/lit)					-	(dS/m)
3/2	5/6	3	4/4	0	8/2	1/2

جدول 2- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	PWP (%)	FC (%)	Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)	EC_e (dS/m)	عمق (cm)
1/5	6	16/5	63/5	16/5	20	3	0 -100



شکل 1- کوزه رسی مخصوص آبیاری و ساختار آن

معادله حاکم برای جریان آب در خاک معادله دو بعدی ریچاردز می‌باشد:

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left[K(h)\frac{\partial h}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[K(h)\frac{\partial h}{\partial z}+K(h)\right] \quad (1)$$

که در آن θ رطوبت حجمی [L^3L^{-3}]، h بار فشار آب در خاک [L]، t زمان [T]، K هدایت هیدرولیکی [LT^{-1}]، x جهت افقی و z جهت عمودی را نشان می‌دهد. خصوصیات هیدرولیکی خاک با استفاده از روابط ترکیبی معلم- ون گنوختن محاسبه گردید (van Genuchten, 1980):

$$\theta(h)=\begin{cases}\theta_r+\dfrac{\theta_s-\theta_r}{\left[1+|\alpha h|^n\right]^m} & h<0\\ \theta_s & h\geq 0\end{cases} \quad (2)$$

$$k(h)=k_s S_e^l\left[1-\left(1-S_e^{1/m}\right)^m\right]^2 \quad (3)$$

$$S_e=\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r},\quad m=1-\frac{1}{n} \quad (4)$$

که در آن θ_s درصد آب خاک اشباع [L^3L^{-3}]، θ_r درصد آب خاک باقی‌مانده [L^3L^{-3}]، K هدایت هیدرولیکی اشباع [L/T]، α معکوس مقدار ورود هوا در حالت اشباع [1/L] و n، m و l پارامترهای وابسته به خاک هستند که با استفاده از برازش بر معادله مورد نظر به‌دست می‌آیند. پارامترهای هیدرولیکی خاک با استفاده از نرم افزار ROSSETA (Schaap et al, 2001) و روش حل معکوس تخمین زده شد (جدول 3). نرم‌افزار ROSSETA از اطلاعات زودیافت خاک شامل درصد اجزای بافت خاک، چگالی ظاهری و مقدار رطوبت در مکش‌های 330 سانتی‌متر (ظرفیت زراعی) و 15000 سانتی‌متر (نقطه پژمردگی دائم) برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی خاک استفاده می‌کند. برای حل معکوس از رطوبت حجمی که در اعماق مختلف و در زمان‌های متفاوت توسط TDR برداشته شده بود، استفاده گردید. با فرض متقارن بودن توزیع رطوبت از کوزه به اطراف فقط سمت راست سطح مقطع عمودی خاک شبیه‌سازی گردید (Siyal and Skaggs, 2009 ؛ Ashrafi er ta, 2002). شرایط مرزی در شکل 2 نشان داده شده است. شرایط اولیه شامل رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده قبل از آبیاری می‌باشد.

ارزیابی عملکرد مدل

در این تحقیق مقایسه رطوبت مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به وسیله مدل با استفاده از سه شاخص آماری میانگین خطا (ME)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) انجام گرفت (Willmott, 1982):

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

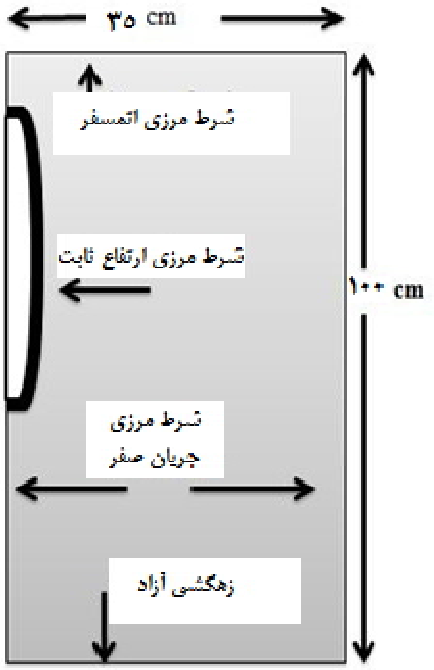
$$RMSE=\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\left(P_i-O_i\right)^2/N} \quad (6)$$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 3- پارامترهای تخمین زده شده به‌وسیله مدل ROSSETA و گزینه حل معکوس در مدل

روش تخمین	θ_r (cm^3/cm^3)	θ_s (cm^3/cm^3)	α (1/cm)	n	k_s (m/day)	L
ROSSETA	0/055	0/045	0/02	1/41	0/45	0/5
حل معکوس	0/015	0/415	0/07	3	0/45	0/5



شکل 2- شرایط مرزی تعریف شده در نرم افزار

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(P_i - O_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(O_i - \bar{O}\right)^2} \qquad (7)$$

در این روابط P_i رطوبت پیش‌بینی شده توسط مدل، O_i رطوبت اندازه‌گیری شده، N تعداد نقاط و $\bar{O}$ میانگین مقادیر رطوبت مشاهده‌ای می‌باشد. بهترین پیش‌بینی‌ها زمانی رخ می‌دهد که ME و RMSE به سمت صفر و R^2 به سمت یک میل کند.

نتایج و بحث

مقایسه رطوبت مشاهداتی و پیش‌بینی شده

شکل‌های 3، 4 و 5 توزیع رطوبتی اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده به وسیله مدل را در زمان 42 ساعت بعد از شروع آبیاری نشان می‌دهند. در هر شکل رطوبت اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده در فواصل مختلف از محور مرکزی کوزه تا عمق 100 سانتی‌متری خاک و هم‌چنین رطوبت اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده در اعماق مختلف تا فاصله 35 سانتی‌متری از کوزه نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها مشاهده می‌شود که توزیع رطوبتی اندازه‌گیری شده مقطع عمودی نیم‌رخ خاک اطراف کوزه، همبستگی خوبی با توزیع رطوبتی شبیه‌سازی شده دارد. سیال و همکاران نیز عملکرد خوب مدل HYDRUS-2D را در پیش‌بینی توزیع رطوبتی در فواصل 20، 40 و 60 سانتی‌متری از مرکز کوزه در عمق‌های 0، 20، 40 و 60 سانتی‌متری از سطح خاک گزارش کردند (Siyal et al, 2009). برای ارزیابی کارایی مدل و صحت سنجی پیش‌بینی‌های آن در هر ارتفاع آب، میانگین خطا، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین محاسبه شد (جدول 4).

جدول 4- مقادیر شاخص‌های آماری محاسبه شده برای تیمارهای مختلف

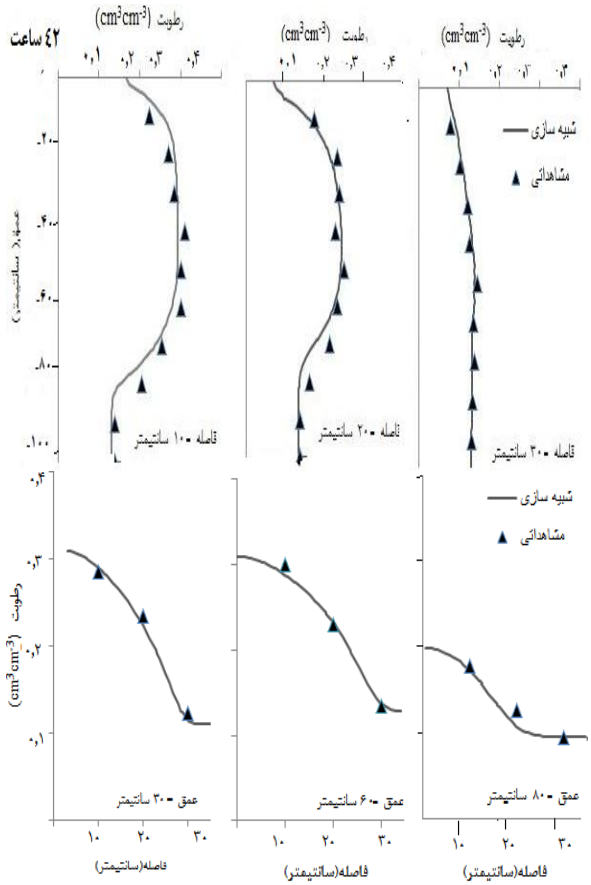
R^2 -	RMSE (cm^3/cm^3)	ME (cm^3/cm^3)	ارتفاع منبع (m)
0/95	0/0095	-0/0015	1
0/92	0/0125	0/0003	1/5
0/92	0/0127	-0/0004	2

با توجه به منفی و مثبت بودن ME، مدل، مقادیر رطوبت را در ارتفاع‌های 1 و 2 متر کم‌تر و در ارتفاع 1/5 متر بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد کرده است (جدول3). مقادیر RMSE و R^2، به‌طور میانگین در سه منبع آب با ارتفاع‌های 1، 1/5 و 2 متر به ترتیب برابر (cm^3/cm^3) 0/0115 و 0/93 محاسبه شد که نشان‌دهنده عملکرد خوب مدل HYDRUS-2D برای شبیه‌سازی توزیع رطوبتی در این نوع سیستم می‌باشد. در مطالعه سیال و همکاران، مقادیر RMSE مربوط به شبیه‌سازی توزیع رطوبت برای سه کوزه با اندازه‌های متفاوت بین (cm^3/cm^3) 0/004 تا (cm^3/cm^3) 0/023 به‌دست آمد که بیانگر عملکرد خوب مدل HYDRUS-2D بود (Siyal et al, 2009). سیال و اسکگز نیز گزارش کردند که مدل HYDRUS-2D با دقت خوبی (R^2=0/97-0/98) توزیع رطوبت

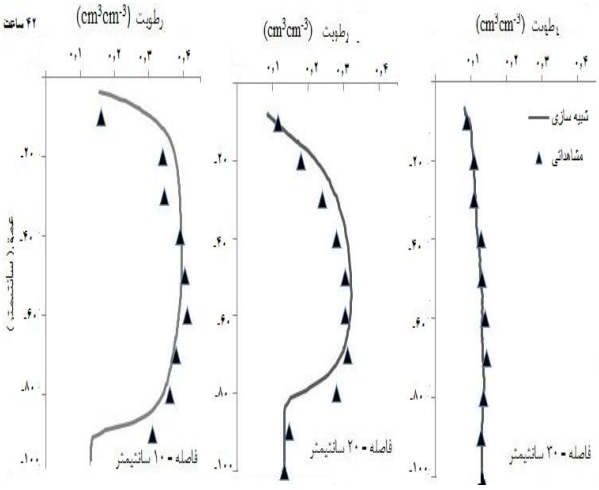
www.SID.ir

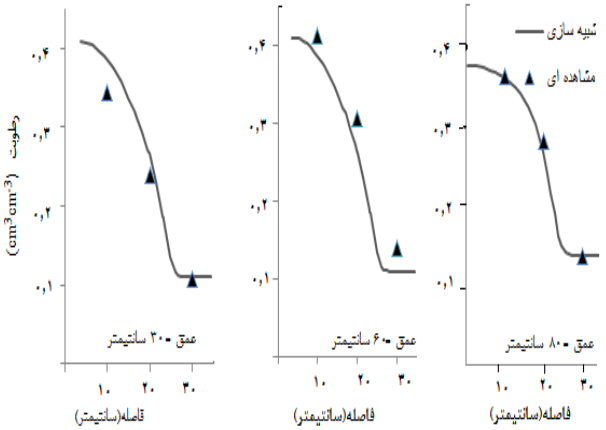
Archive of SID

را در آبیاری با لوله‌های متخلخل رسی شبیه‌سازی کـرد (Siyal and Skaggs, 2009).

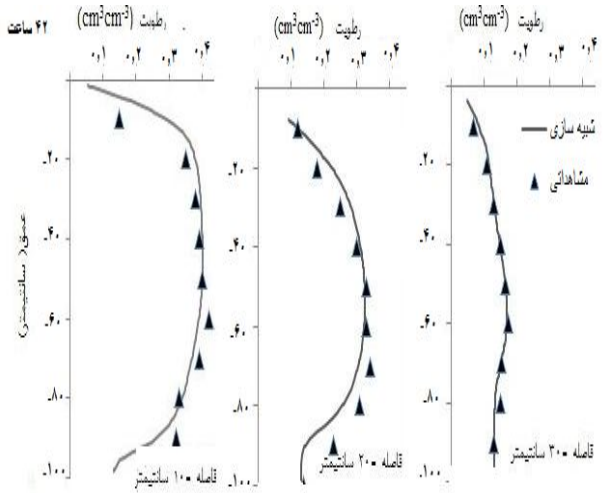


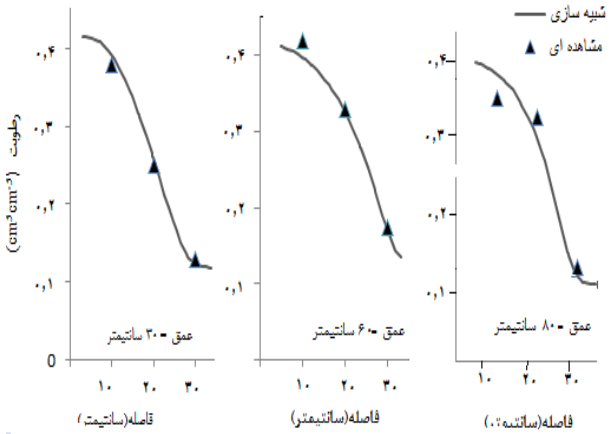
شکل 3- رطوبت حجمی مشاهداتی و پیش‌بینی شده نیم‌رخ اطراف کوزه تحت تأثیر منبع آب با ارتفاع 1 متر، 42 ساعت بعد از شروع آبیاری





شکل 4- رطوبت حجمی مشاهداتی و پیش‌بینی شده نیم‌رخ اطراف کوزه تحت تأثیر منبع آب با ارتفاع 1/5 متر، 42 ساعت بعد از شروع آبیاری





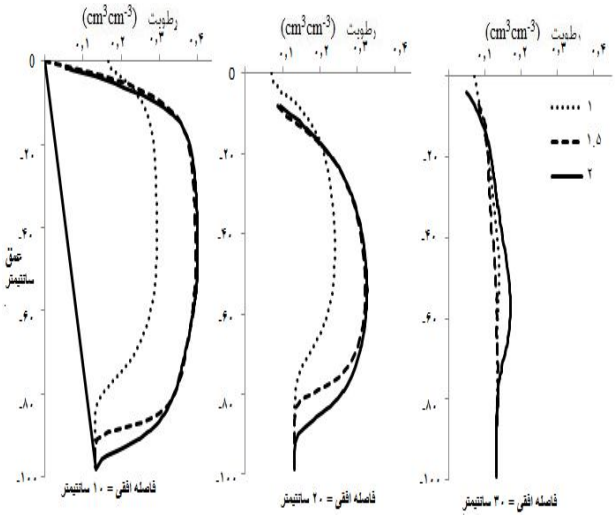
شکل5- رطوبت حجمی مشاهداتی و پیش‌بینی شده نیم‌رخ اطراف کوزه تحت تأثیر منبع آب با ارتفاع 2 متر، 42 ساعت بعد از شروع آبیاری

www.SID.ir

Archive of SID

اثر ارتفاع منبع آب بر الگوی توزیع رطوبت

شکل 6 مقادیر رطوبت نیم‌رخ انتخابی تحت منابع آب با ارتفاع 1، 1/5 و 2 متر در فاصله 10 سانتی‌متری از محور عمودی کوزه تا عمق 1 متر و در زمان 42 ساعت بعد از شروع آبیاری را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود مقادیر رطوبت حجمی در زمان 42 ساعت بعد از شروع آبیاری در نیم‌رخ تحت منبع آب با ارتفاع 1/5 متر با نیم‌رخ تحت منبع 2 متر برابر می‌باشد. تنها در عمق 90 سانتی‌متر از سطح خاک مقادیر رطوبت در نیم‌رخ تحت منبع آب با ارتفاع 2 متر، مقداری بیش‌تر می‌باشد. معلوم شد که افزایش ارتفاع منبع آب از 1/5 متر بالاتر، تأثیر چندانی در افزایش و گسترش ناحیه خیس شده در سیستم آبیاری کوزه‌ای نداشته است.



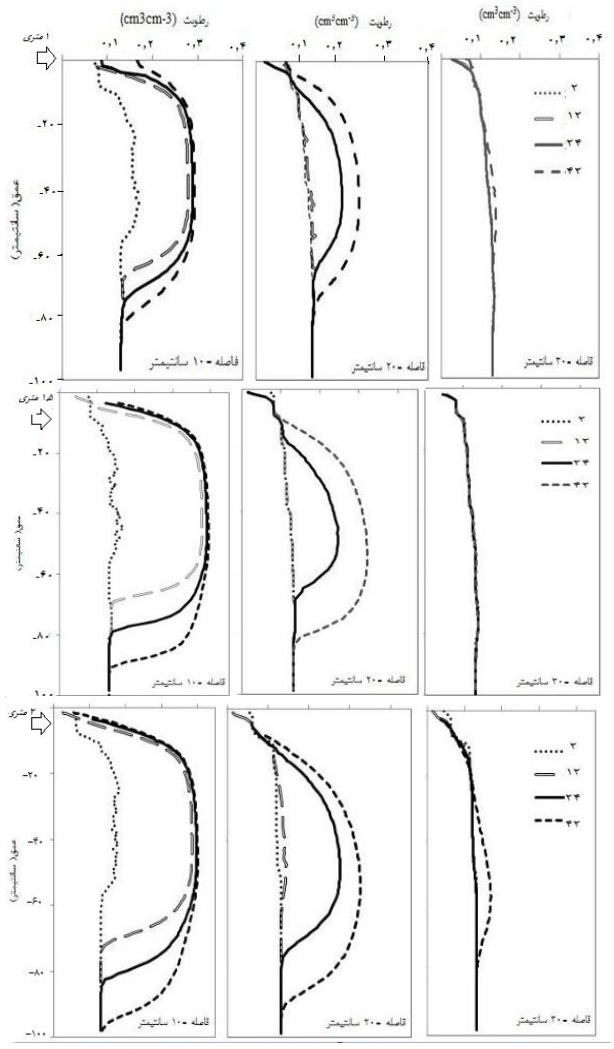
شکل 6- رطوبت شبیه‌سازی شده در فواصل مختلف از محور عمودی کوزه، 42 ساعت بعد از شروع آبیاری

اثر زمان بر مقادیر رطوبت

همانطوری‌که از جدول 5 پیداست مدل رطوبت را در زمان‌های 2 و 12 ساعت بعد از شروع آبیاری بیش‌تر از مقادیر واقعی و در زمان 24 و 42 کم‌تر از مقادیر واقعی برآورد کرده است. کم‌ترین دقت در زمان 24 ساعت بعد از شروع آبیاری اتفاق افتاده است. در شکل 7 توزیع رطوبت حجمی پیش‌بینی شده مربوط به ساعت‌های 2، 12، 24 و 42 ساعت بعد از شروع آبیاری در 3 تیمار ارتفاعی در سه فاصله 10، 20 و 30 سانتی‌متر از محور عمودی کوزه نشان داده شده است. همانطوری‌که ملاحظه می‌شود در فاصله 30 سانتی‌متری از محور عمودی کوزه رطوبت حجمی خاک تغییرات چندانی ندارد و این بدان معنی است که جبهه رطوبتی و و گسترش افقی ناحیه خیس‌شده خاک به فاصله 30 سانتی‌متری از کوزه نرسیده است و ناحیه محدودتری از خاک اطراف کوزه مرطوب شده است. مقادیر رطوبت حجمی فقط در نیم‌رخ خاک تحت منبع آب با ارتفاع 2 متر، 42 ساعت بعد از شروع آبیاری تغیراتی داشته است که زیاد قابل توجه نیست. جدول 6 شاخص‌های محاسبه شده برای فواصل مختلف از محور عمودی کوزه را به صورت میانگین برای سه ارتفاع مورد آزمایش نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که مدل رطوبت حجمی را در فواصل نزدیک‌تر به کوزه بیش‌تر و در فواصل 20 سانتی‌متر به بعد، کم‌تر از مقادیر واقعی برآورد کرده است. بهترین همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مربوط به فاصله 10 سانتی‌متر است (R^2= 0/95).

جدول 5- مقادیر ME، RMSE و R^2 در زمان‌های مختلف بعد از شروع آبیاری

زمان از شروع آبیاری (ساعت)	ME (cm^3/cm^3)	RMSE (cm^3/cm^3)	R^2
2	0/001	0/006	0/92
12	0/003	0/012	0/93
24	-0/002	0/014	0/92
42	-0/003	0/013	0/93



شکل 7- رطوبت حجمی پیش‌بینی شده بعد از شروع آبیاری در نیم-رخ شبیه‌سازی شده اطراف کوزه تحت تأثیر منابع آب با ارتفاع 1، 1/5 و 2 متر، 42 ساعت بعد از شروع آبیاری

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 6- مقادیر ME ، RMSE و R^2 برای فواصل مختلف از محور عمودی کوزه تا عمق 1 متر

فاصله از محور عمودی کوزه (cm)	ME (cm^3/cm^3)	RMSE (cm^3/cm^3)	R^2
10	/0015	0/0180	0/95
20	-0/0026	0/0111	0/93
30	-0/0004	0/0044	0/90

نتیجه گیری

در این تحقیق، مطالعات تجربی و شبیه‌سازی به‌منظور بررسی الگوی رطوبتی خاک در آبیاری زیرسطحی و نیم‌رخ اطراف کوزه‌های متخلخل رسی انجام شد. رطوبت پیش‌بینی شده توسط مدل HYDRUS-2D همبستگی خوبی (R^2= 0/93) با داده‌های اندازه-گیری شده در مزرعه داشت. براساس مقدار خطای میانگین محاسبه شده، مدل رطوبت حجمی را کم‌تر از مقادیر مشاهداتی برآورد کرده است. در زمان‌های اولیه، مدل مقدار رطوبت را بیش‌تر از رطوبت مشاهداتی و در زمان‌های 24 و 42 ساعت بعد از شروع آبیاری، مقدار رطوبت را کم‌تر از مقادیر واقعی پیش‌بینی کرده است. نتایج شبیه-سازی با مدل HYDRUS-2D نشان داد که افزایش ارتفاع منبع آب از 1/5 متر به بالا روی نیم‌رخ رطوبتی خاک اطراف کوزه تأثیر چندانی ندارد و نتایج داده‌های مشاهده‌ای این امر را تصدیق کرد. به‌طورکلی گسترش افقی جبهه رطوبتی در نیم‌رخ تحت منبع آب با ارتفاع 1/5 و 2 متر برابر ولی گسترش عمقی رطوبت در جبهه رطوبتی نیم‌رخ تحت منبع آب با ارتفاع 2 متر بیش‌تر است. نتایج این تحقیق نشان داد که نرم‌افزار HYDRUS-2D می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب در طراحی آبیاری کوزه‌ای متخلخل رسی مورد استفاده قرار بگیرد. یافته‌های سیال و اسکگز و سیال و همکاران نیز این موضوع را تصدیق می‌کند (Siyal and Skaggs, 2009; Siyal et al, 2009).

تشکر و قدر دانی

مؤلفان از مرکز تحقیقات کشاورزی زابل که امکانات لازم برای انجام عملی این تحقیق را فراهم نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

اژدری،خ. 1385. شبیه‌سازی رطوبت در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از مدلHYDRUS-2D. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. 1. 14:15-1.

باستانی،ش. 1374. آبیاری با استفاده از لوله‌های کوزه‌ای سفالی. موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور . 1-20.

زبردست قازان‌علی،س و شفیعی مقدم،ع. 1388. آبیاری سفالی، راهکار مناسب برای بهینه‌سازی مصرف آب. دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن.

کریمی گوغری،ش. ایراندوست،م. و حسینی نیا،م. 1390. شبیه‌سازی الگوی توزیع رطوبت و تبخیر در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در یک خاک شنی. مجله مهندسی منابع آب. 4: 49- 60 .

نقوی،ه.، حسینی‌نیا،م.، کریمی گوغری،ش و ایراندوست،م. 1391. توانایی مدل HYDRUS-2D در شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. مجله علوم و منابع طبیعی. علوم آب و خاک. 61 : 68-59.

Anonymous. 1997. Source book of alternative technologies for fresh water augmentation in Latin America and the Caribbean. International Environmental Technology Centre, United Nations Environment Programmed (UNEP), Washington, DC, USA.

Ashrafi,S., Gupta,A., Singh,M.B., Izumi,N. and Loof,R. 2002. Simulation of infiltration from porous clay pipe in subsurface irrigation. Hydrological Sciences Journal, 47:2. 253–268.

Assouline,S. 2002. The effects of micro drip and conventional drip irrigation on water distribution and uptake. Sol Science Society of American Journal, 66:1630-1636.

Bainbridge,D.A. 2001. Buried clay pot irrigation: little-known but very efficient traditional method of irrigation. Agricultural Water Management, 48:79–88

Batchelor,C., Lovell,C and Murata,M. 1996. Simple micro irrigation techniques for improving irrigation efficiency on vegetable gardens. Agricultural Water Management, 32: 37–48

Cote,C.M., Bristow,K.L., Charlesworth,P.B., Cook,F.L and Thorburn,P.J. 2003. Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. Irrigation Science, 22: 143-156.

Gee,G.W. and Or,D. 2002. Particle-size analysis. In: Dane, J H.and Topp G C (Eds) Methods of Soil Analysis, Part 4- Physical Methods. Agronomy Monograph, Vol. 9. Pp. 255-293. ASA and SSSA, Madison, WI.

Kandelous,M.M and Simunek,J. 2010. Comparison of numerical, analytical, and empirical models to estimate wetting patterns for surface and subsurface drip irrigation. Journal of Irrigation Science, 97:1070-1076.

Lazarovitch,N., Warrick,A.W., Furman,A and Simunek,J. 2007. Subsurface water distributions from drip irrigation described by moment analysis. Vadose Zone Journal, 6: 116–123.

Patel,N and Rujput,T.B.S. 2008. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion. Agricultural Water Management, 95:

www.SID.ir

Archive of SID

130-134.

Siyal,A.A and Skaggs,T.H. 2009. Measured and simulation soil wetting patterns under porous clay pipe sub-surface irrigation. Agricultural Water Management, 96: 893-904.

Siyal,A.A., van Genuchten,M.Th and Skaggs,T.H. 2009. Performance of Pitcher Irrigation Systems. Soil Science, 174: 312- 320.

Skaggs,T.H., Trout,T.J., Simunek,J and Shouse,P.J. 2004. Comparison of HYDRUS- 2D simulation of drip irrigation with experimental observations. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 4: 304-310.

van Genuchten,M.Th. 1980. A close-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Sol Science Society of American Journal, 44: 892–898.

Willmott,C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin American Meteorological Society, 63.11: 1309–1313.

Wolff,P and Stein,T.M. 1999. Efficient and economic use of water in agriculture possibilities and limits. Natural Resources and Development, 49/50: 151-159.

1335-1349.

Qiaosheng,S., Zuoxin,L., Zhenying,W and Haijun,L. 2007. Simulation of the soil wetting shape under porous pipe sub-irrigation using dimensional analysis. Irrigation and Drainage, 56: 389–398.

Schaap,M.G., Leij,F.J and van Genuchten,M. Th. 2001. Rosetta: A computer program for estimating Soil hydraulic parameters with hierarchial pedotransfer functions. Journal of Hydrology, 251:163- 176.

Simunek,J., Sejna,M and van Genuchten,M Th. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating two dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably saturated media, Version 2.0. Rep. IGCWMC-TPS-53, p 251, Intl. Ground Water Modeling Center, Colo. School of Mines, Golden, CO.

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, p. 241.

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:

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 9, May.-Jun. 2015, p. 233-241

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره2، جلد9، خرداد - تیر 1394، ص. 241-233

Simulation and Evaluation of Soil Moisture Distribution Pattern under Pitcher underground Irrigation System

A. Aghaii[1], P. Afrasiab[2*], M. Keikha[3] and Gh. Keikha[4]

Recived: Dec.25, 2014 Accepted: May.13, 2015

Abstract

Due to the limited water resources in arid regions, using modern irrigation methods with high efficiency in agriculture is essential. One of the methods for increasing water use efficiency is the pitcher underground irrigation method. A proper design of these systems requires the enough information about water flow distribution pattern in both horizontal and vertical directions. Since the field experiments for detecting soil moisture distribution pattern is very hard and time consuming, analytical methods can be used to reasonably estimate the distribution of moisture in the soil though soil water flow equations having soil water factors. The aim of this study was to investigate the moisture distribution pattern in soil using three different heights of irrigation water source (i.e. 1, 1.5 and 2 meters) in the certain time intervals. This study was done in a randomized complete blocks design with three replications. Volumetric soil moisture content within 1m-soil profile was measured by TDR. Simulation of water movement in soil was performed by HYDRUS-2D and the simulated values were compared with the measured values at the end. The results show that the model can simulate moisture variation trend with a relatively good accuracy. In the early stage of irrigation, simulator overestimated the moisture content. Moisture variation was not too much at distance 30 cm from vertical axis of the pitcher. This was confirmed by HYDRUS-2D simulated values.

The best simulation results were obtained for the 10 cm distance from the vertical axis of pitcher where ME, RMSE and R^2 were 0.0015, 0.018 and 0.95, respectively. Moreover it was observed that there is no significant difference between soil water distribution pattern obtained for two water supply elevations of 1.5 and 2 m above the soil surface. The results indicated that HYDRUS-2D can effectively use to simulate soil water distribution pattern under a porous clay pitcher irrigation system.

Key words: HYDRUS-2D, Moisture distribution pattern, Pitcher irrigation, Simulation

1- Former M Sc. Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran
2- Assistant professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran,
3- Scientific staff of Hamoon International Wetland Research Institute, University of Zabol, Zabol, Iran
4- Researcher in Agriculture and Natural Resources Research Center, Zabol, Iran
(*-Corresponding Author Email : p_afrasiab@yahoo.com)

www.SID.ir