Archive of SID

مجله پژوهش آب ایران
سال ششم/ شماره دهم/ بهار و تابستان ۱۳۹۱

برآورد نفوذ آب در جویچه با یک مدل دو بعدی و مقایسه آن با سایر مدل‌های نفوذ

مهدی پناهی [۱]، سید مجید میرلطیفی [۲*] و فریبرز عباسی [۳]

چکیده

برای برآورد نفوذ دو بعدی آب در جویچه با در نظر گرفتن اثرات نفوذ از لبه‌ها و محیط خیس شده آن، مدل نفوذ وریک با مدل‌های کوستیاکوف-لوییس، فیلیپ و HYDRUS-2D مقایسه شد. بدین منظور نفوذ آب در جویچه‌ها با استفاده از روش ورودی-خروجی نیز در مزرعه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مدل دو بعدی وریک کمترین درصد خطا و مدل فیلیپ بیشترین خطا را نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده دارند. درصد خطا و مجذور میانگین مربعات خطای مدل دو بعدی وریک به ترتیب ۵/۵ درصد و ۰/۰۰۳۱ متر مکعب بر متر بدست آمدند. میانگین درصد خطای مدل‌های کوستیاکوف-لوییس و فیلیپ به ترتیب ۲۰/۲ و ۲۵/۵ درصد و مجذور میانگین مربعات خطای آن‌ها به ترتیب ۰/۰۰۴۲ و ۰/۰۰۵۸ متر مکعب بر متر بود. همچنین مدل نفوذ وریک با مدل دو بعدی HYDRUS-2D مقایسه و نتایج نشان داد که اختلاف این دو روش در برآورد نفوذ آب در خاک ناچیز و حدود ۳/۵ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، مدل دو بعدی نفوذ و مقایسه روش‌های نفوذ

ارجاع: پناهی م. میرلطیفی س.م. عباسی ف.۱۳۹۰. برآورد نفوذ آب در جویچه با یک مدل دو بعدی و مقایسه آن با سایر مدل‌های نفوذ. مجله پژوهش آب ایران.

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس
۳- دانشیار موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی، کرج
* نویسنده مسئول: Mirlat_M@modares.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش:۱۳۹۰/۰۷/۰۹

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

تخمین صحیح مقدار آبی که وارد خاک می‌شود یکی از عوامل مورد نیاز برای طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری جویچه ای است (لازارویچ و همکاران، ۲۰۰۹). روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری نفوذ هست که بسته به روش آبیاری متفاوت اند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش ورودی و خروجی، دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲) پیشروی بِنامی و اُفِن(۱۹۸۴)، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران(۱۹۹۳)، یک نقطه‌ای والیانتزاس و همکاران (۲۰۰۱) و بهینه سازی چند سطحی واکر (۲۰۰۵) اشاره کرد.

خاطری و اسمیت (۲۰۰۵) به ارزیابی شش روش نفوذپذیری برای تعیین پارامترهای نفوذ در آبیاری جویچه-ای پرداختند. روش های مذکور شامل روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر، یک نقطه‌ای شپارد ، استفاده از مدل رایانه‌ای INFILT، یوپادیایا و راقووانشی (۱۹۹۹)، یک نقطه‌ای والیانتزاس و همکاران (۱۹۹۷) و تابع خطی نفوذ بودند. نتایج این مطالعه نشان داد که به طور کلی روش‌های دو نقطه‌ای الیوت و واکر و تابع خطی نفوذ عملکرد خوبی داشتند. اما معادلات تجربی، مقدار آب نفوذ یافته را تنها به عنوان تابعی از فرصت زمان نفوذ برآورد می‌کنند و عدم لحاظ تاثیر عوامل مختلفی مانند رطوبت اولیه خاک، شکل سطح مقطع جویچه، عمق جریان آب، دبی ورودی به جویچه و محیط خیس شده جویچه از نقایص و مشکلات این معادلات است (استرلکف و همکاران، ۲۰۰۹).

در آبیاری جویچه‌ای آب به دو صورت عمودی از کف جویچه و به صورت جانبی از کناره‌های جویچه وارد خاک می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۶). در جویچه‌ها بیش از ۶۰ درصد کل آب نفوذ یافته به داخل خاک از نواحی کناری جویچه‌ها صورت می‌گیرد (اسکونارد و همکاران، ۲۰۰۲). این نشان دهنده اهمیت نفوذ دو بعدی در آبیاری جویچه‌ای است. برخی از مدل‌های نفوذ دو بعدی آب در خاک برای جویچه‌ها بر اساس معادله گرین و امپت توسط فوک و چاینگ (۱۹۸۴)، سینگ و همکاران (۱۹۸۷) و انسیز مدینا و همکاران (۱۹۹۸) قبلاً ارائه شده اند. در این مدل‌ها سطح مقطع جویچه مستطیلی و نفوذ جویچه به صورت ترکیبی از نفوذ عمودی و افقی در نظر گرفته شده است.

وریک و همکاران (۲۰۰۷) برای محاسبه نفوذ آب در داخل جویچه‌ها یک مدل دو بعدی نفوذ را معرفی و آن را توسعه دادند. در این مدل نفوذ، یک اثر لبه[1] برای لحاظ کردن اثر نفوذ جانبی محاسبه و به نفوذ عمودی اضافه می‌شود. این مدل بدلیل پیچیدگی کمتر نسبت به معادله ریچاردز و روش‌های نیمه تحلیلی و امکان تلفیق آن با مدل‌های ریاضی آبیاری سطحی و مدل‌های کودآبیاری، امکان برآورد نفوذ دو بعدی در آبیاری جویچه‌ای را فراهم می‌کند . این مدل اساس فیزیکی دارد و مشکلات معادلات تجربی را ندارد. لذا این تحقیق با هدف مقایسه این مدل با مدل‌های کوستیاکوف-لوییس با روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر و مدل فیلیپ با روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای

داده‌های این پژوهش، در سال ۱۳۸۹ در ایستگاه موسسه تحقیقات خاک و آب کرج بدست آمدند (پناهی و همکاران، ۱۳۹۰). آنها دو سری آزمایش نفوذ در یک خاک لوم رسی، سری اول شامل ۵ آزمایش با دبی ورودی ۰/۳ تا ۰/۸ لیتر بر ثانیه در جویچه‌های انتها باز به طول ۱۱۰ متر، عرض ۷۵ سانتی‌متر و شیب عمومی ۰/۰۰۸ متر بر متر و سری دوم با استفاده از استوانه مضاعف انجام دادند. نفوذ جویچه‌ها با استفاده از روش ورودی-خروجی اندازه‌گیری شد. در جدول ۱ ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک خلاصه شده است. ویژگی‌های فیزیکی شامل بافت، درصد شن، سیلت و رس در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. رطوبت اشباع (θ_s)، رطوبت باقیمانده (θ_r)، جرم ویژه ظاهری خاک (ρ_b)، هدایت هیدرولیکی خاک (K_s)، مکش در نقطه ورود هوا (α) و شاخص توزیع اندازه خلل و فرج خاک (n) در مدل وان گنوختن-معلم با استفاده از نرم‌افزار ROSETTA (شاپ و همکاران، ۲۰۰۱) با ورودی‌های درصد شن، سیلت و رس خاک برآورد شدند.

1- Edge effect

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک محل آزمایش‌ها

عمق (cm)	n (-)	α (cm^{-1})	ρ_b ($grcm^{-3}$)	θ_s (cm^3cm^{-3})	θ_r (cm^3cm^{-3})	K_s ($mm.hr^{-1}$)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	بافت خاک
۰-۲۵	۱/۴۴	۰/۰۱۱	۱/۵	۰/۴۴	۰/۰۸	۴/۲	۳۰	۳۹	۳۱	لوم رسی
۲۵-۵۰	۱/۴۵	۰/۰۱۰	۱/۵	۰/۴۵	۰/۰۸	۴/۹	۲۵	۴۲	۳۳	لوم رسی

معادلات نفوذ

مدل دو بعدی نفوذ وریک

وریک و همکاران (۲۰۰۷) برای برآورد نفوذ دو بعدی آب در جویچه ها مدلی را (مدل دو بعدی وریک) توسعه دادند. در این مدل نفوذ، یک اثر لبه[1] برای لحاظ کردن اثر نفوذ جانبی محاسبه و به نفوذ عمودی اضافه می‌شود.در این مدل نفوذ، رطوبت اولیه خاک، محیط خیس شده و عمق آب در داخل جویچه در نظر گرفته می‌شوند. وریک و همکاران (۲۰۰۷) معادله ۱ را برای نفوذ دو بعدی در جویچه‌ها ارائه دادند. اثر لبه (ΔI) اختلاف بین نفوذ تجمعی در واحد محیط خیس شده تعدیل شده (W^*) و نفوذ یک بعدی متناظر آن با معادله ۲ بیان می‌شود.

$$\frac{I_{2D}}{W^*} = I_{1D} + \frac{\gamma S_0^2 t}{W(\theta_0 - \theta_n)} \qquad (۱)$$

$$\Delta I = = \frac{\gamma S_0^2 t}{W(\theta_0 - \theta_n)} \qquad (۲)$$

که در آنها، I_{2D} نفوذ تجمعی دو بعدی در واحد طول جویچه (m^3m^{-1})، I_{1D} نفوذ تجمعی یک بعدی در واحد طول جویچه (m)، W محیط خیس شده (m)، W* ضریب تجربی محیط خیس شده تعدیل شده یا محیط خیس شده موثر (m)، θ_0 رطوبت سطح خاک در زمان t ($cm3cm^{-3}$)، θ_n رطوبت اولیه در لایه سطحی خاک (cm^3cm^{-3})، t زمان (min)، γ ضریب تجربی، S_0 قابلیت جذب آب[2] ($cmmin^{-0.5}$) هستند.

مدل کوستیاکوف-لوییس با روش دو نقطه‌ای

روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲) بر پایه معادله پیوستگی و شکل نمایی مرحله پیشروی است (روش دو نقطه) و ابتدا برای آبیاری جویچه‌ای استفاده شد. یکی از بهترین روش‌های شناخته شده برای تخمین پارامترهای تجربی معادله نفوذ کوستیاکوف-لوئیس، روش دو نقطه است که توسط الیوت و واکر در سال ۱۹۸۲ ارائه شده است. در مقایسه با دیگر روش‌ها، روش دو نقطه از نظر ریاضی ساده و پارامترهای مورد نیاز هندسه جویچه، دبی ورودی، زمان‌های پیشروی برای دو فاصله در طول مزرعه و یک تخمین از نفوذ نهایی خاک است. این روش در واقع ساده شده روشی است که کریستانسن و همکاران در سال ۱۹۶۶ برای جویچه های شیب دار ارائه کردند اما می‌توانند بر انواع مختلف سیستم های آبیاری سطحی تطبیق داده شود. معادلات این مدل نفوذ در مراجع ابراهیمیان و همکاران (۱۳۸۹) و اسفندیاری و ماهشوری (۱۹۹۷) ارائه شده است.

مدل فیلیپ با روش یک نقطه‌ای

روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹۹۳) مشابه روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲) بوده با این تفاوت که مقدار نمای معادله پیشروی (r) ثابت و برابر ۰/۵ فرض شده است (روش یک نقطه). این روش برای تعیین پارامترهای مدل نفوذ فیلیپ استفاده می‌گردد. معادلات این روش نفوذ نیز توسط ابراهیمیان و همکاران (۱۳۸۹) و اسفندیاری و ماهشوری (۱۹۹۷) ارائه شده است.

مدل HYDRUS-2D

مدل HYDRUS-2D به عنوان یک مدل دو بعدی استاندارد برای مقایسه و ارزیابی نتایج بدست آمده از مدل نفوذ وریک استفاده شد. در مدل HYDRUS2D از معادله ریچاردز استفاده شده است. معادله ریچاردز به شکل‌های گوناگون تا به حال در منابع علمی مختلف ارائه شده است. یکی از شکل‌های این معادله که برای برآورد نفوذ دو بعدی می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد، به صورت معادله ۳ است (سیمونک و همکاران، ۱۹۹۹):

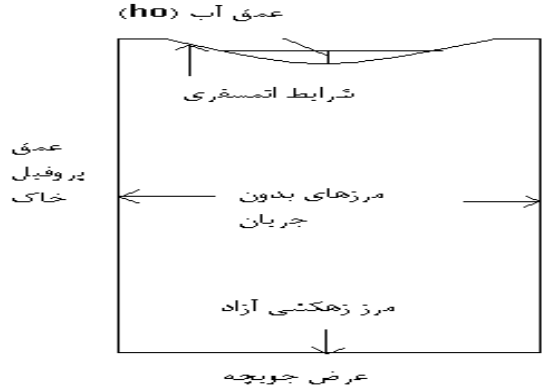
$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[K(\psi)\frac{\partial\psi}{\partial X}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[K(\psi)\frac{\partial\psi}{\partial z} + K(\psi)\right] \qquad (۳)$$

1- Edge effect
2- Sorptivity

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن، θ رطوبت حجمی خاک (L^3L^{-3})، $K(\psi)$ هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک (LT^{-1}) و ψ مکش خاک (L) است. شرایط مرزی و شرایط اولیه رطوبتی برای مدل HYDRUS-2D تعریف شد. رطوبت اندازه‌گیری شده خاک قبل از آبیاری، به عنوان شرایط اولیه منظور شد. عمق جریان آب هنگام آبیاری به عنوان شرط مرزی بالا دست، زهکشی آزاد برای حرکت آب در مرز پائینی و شرط مرزی بدون شدت جریان در طرفین جویچه‌ها در نظر گرفته شد. رطوبت اولیه اندازه‌گیری شده ۲۱ درصد حجمی در نظر گرفته شد. سایر پارامترهای ورودی مدل، ویژگی‌های هیدرولیکی خاک مورد مطالعه شامل هدایت هیدرولیکی خاک (K_s)، مکش نقطه ورود هوا (α)، شاخص توزیع اندازه خلل و فرج خاک (n)، رطوبت باقیمانده (θ_r) و رطوبت اشباع (θ_s) بود که در جدول ۱ ارائه شده است. مقطع جویچه و شرایط مرزی برای شبیه‌سازی در شکل ۱ نشان داده شده است. شرایط مرزی بالایی در داخل جویچه در مدت زمان آبیاری ثابت نگه داشته شد.



شکل ۱- شرایط مرزی جویچه برای شبیه‌سازی با مدل HYDRUS-2D

شاخص‌های ارزیابی

شاخص‌های آماری خطای مطلق، AE[1] و شاخص مجذور میانگین مربعات خطا، RMSE[2] برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شد (سینگ و همکاران، ۲۰۰۶):

$$AE = 100\left(\frac{\left|O_i - P_i\right|}{O_i}\right) \qquad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(O_i - P_i)^2}{n}} \qquad (۵)$$

که در آنها، O_i مقدار اندازه‌گیری شده حجم نفوذ به روش ورودی–خروجی، P_i مقدار محاسبه شده حجم نفوذ متناظر با O_i و n تعداد اندازه‌گیری است.

نتایج و بحث

واسنجی مدل دو بعدی نفوذ وریک و اعتبارسنجی آن توسط پناهی و همکاران (۱۳۹۰) انجام شد. حجم آب نفوذ یافته اندازه‌گیری شده (V_{to}) و محاسبه شده (V_{tc}) با مدل دو بعدی وریک و درصد خطای آن محاسبه شد. همچنین درصد خطای مدل کوستیاکوف-لوئیس و مدل فیلیپ محاسبه شد. حجم نفود و درصد خطای این روش‌ها در برآورد حجم آب نفوذ یافته در انتهای هر آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

بیشترین میانگین درصد خطا مربوط به مدل فیلیپ با روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران و کمترین میانگین درصد خطا مربوط به مدل دو بعدی نفوذ وریک به ترتیب با مقادیر ۲۵/۵ و ۵/۵ درصد بدست آمد. در پژوهش‌های ابراهیمیان و همکاران (۱۳۸۹) و اسفندیاری و ماهشوری (۱۹۹۷) نیز روش یک نقطه‌کمترین دقت را داشته است. بررسی شاخص‌های آماری دیگر نیز برتری مدل دو بعدی نفوذ وریک را نشان داد. شاخص آماری مجذور میانگین مربعات (RMSE) روش‌های وریک، دو نقطه و یک نقطه به ترتیب ۰/۰۰۳۱، ۰/۰۰۴۲ و ۰/۰۰۵۲ متر مکعب بر متر بدست آمد. مقایسه درصد خطای روش یک نقطه با درصد خطای روش دو نقطه نشان می‌دهد که در دبی‌های کم روش یک نقطه و در دبی‌های بیشتر روش دو نقطه درصد خطای کمتری دارند. در شکل ۲ نفوذ تجمعی جویچه بدست آمده از داده‌های اندازه‌گیری شده آزمایش‌های شماره ۱،۳،۴ و ۵ به همراه مقدار محاسبه شده آن با مدل وریک، روش دو نقطه و روش یک نقطه ارائه شده است. نتایج ارائه شده در شکل۲ نشان داد که مدل وریک که اثر نفوذ از لبه‌ها در آن منظور می‌شود، به مقادیر نفوذ دو بعدی اندازه‌گیری شده در جویچه بسیار نزدیکتر بود. این نتیجه با نتیجه وریک و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد.

1- Absolute Error

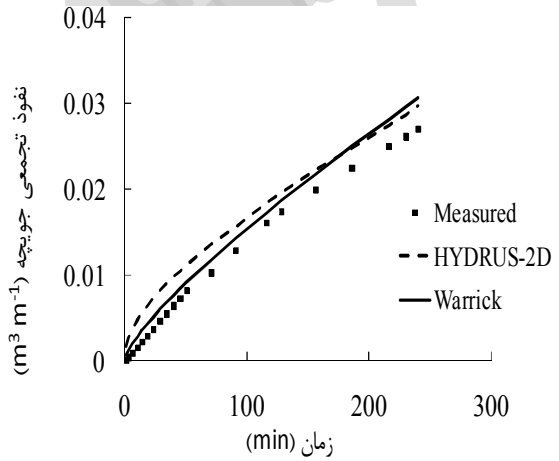
2- Root Mean Square Error

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- حجم نفوذ و میزان خطا در برآورد حجم آب نفوذیافته به سه روش مختلف

شماره آزمایش	اندازه‌گیری شده $Vto\ (m^3)$	مدل دو بعدی وریک		مدل کوستیاکوف-لوئیس		مدل فیلیپ	
		V_{tc} (m^3)	AE (درصد)	V_{tc} (m^3)	AE (درصد)	V_{tc} (m^3)	AE (درصد)
آزمایش ۱	۲/۹۷	۳/۱۹	۷/۳	۴/۰۶	۳۶/۵	۳/۵۲	۱۸/۵
آزمایش ۲	۳/۲۳	۳/۳۶	۳/۸	۴/۱۸	۲۹/۳	۳/۸۵	۱۹/۱
آزمایش ۳	۶/۰۱	۵/۷۶	۴/۳	۷/۷۶	۲۹/۰	۶/۴۰	۶/۵
آزمایش ۴	۶/۴۴	۶/۲۴	۳/۱	۶/۷۶	۴/۹	۹/۲۴	۴۳/۵
آزمایش ۵	۱۰/۶۸	۱۰/۶۸	۹/۲	۱۰/۸۱	۱/۲۵	۱۴/۹۳	۳۹/۸
میانگین خطا	_		۵/۵		۲۰/۲		۲۵/۵



شکل۲- مقایسه نفوذ تجمعی اندازه‌گیری و برآورد شده توسط مدل HYDRUS-2D و مدل نفوذ وریک

در شکل ۲ مقدار نفوذ آب در خاک توسط مدل HYDRUS-2D که در مدت زمان آبیاری شبیه‌سازی شده است، به همراه نفوذ آب در خاک توسط رابطه وریک و مقدار آب نفوذ یافته اندازه‌گیری شده مقایسه شده است. در این شکل نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل HYDRUS-2D و مدل وریک به ترتیب به صورت خط-چین و خط پر و مقادیر اندازه‌گیری با نقاط (مربعات تو پر) نشان‌داده شده‌اند. همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مقادیر برآورد شده با رابطه وریک به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک است. خطای نسبی (RE) مدل وریک نسبت به مدل HYDRUS-2D برای برآورد کل حجم آب نفوذ یافته در طول مدت زمان ۲۴۰ دقیقه ۳/۵ درصد بود.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف مقایسه مدل نفوذ وریک با مدل‌های کوستیاکوف- لوییس، فیلیپ و مدل عددی HYDRUS-2D در یک خاک لوم رسی انجام و نتایج زیر حاصل شد:

۱- درصد خطای برآورد مدل دو بعدی نفوذ وریک (رابطه ۱) نسبت به مقادیر اندازه‌گیری‌شده حداکثر ۵/۵ درصد و مجذور میانگین مربعات خطاهای آن ۰/۰۰۳۱ متر مکعب بر متر بود.

۲- نتایج نشان داد نفوذ محاسبه شده با مدل دو بعدی وریک برای همه‌آزمایش‌ها دارای خطای کمتری نسبت به مدل‌های نفوذ کوستیاکوف- لوییس و فیلیپ بود.

۳- مدل کوستیاکوف- لوییس نسبت به مدل فیلیپ میانگین خطای کمتری در برآورد نفوذ آب در جویچه‌ها داشت. میانگین درصد خطای آن‌ها به ترتیب ۲۰/۲ و ۲۵/۵ درصد و مجذور میانگین مربعات خطای آن‌ها به ترتیب ۰/۰۰۴۲ و ۰/۰۰۵۸ متر مکعب بر متر بود.

۴- مقایسه نتایج مدل نفوذ وریک با مدل دو بعدی HYDRUS-2D نشان داد که درصد اختلاف این دو روش در برآورد نفوذ آب در خاک ناچیز و حدود ۳/۵ درصد بود.

۵- می‌توان مدل دو بعدی نفوذ وریک را برای برآورد دقیق تر نفوذ دو بعدی در جویچه‌ها در شرایط خاک مشابه استفاده کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱- ابراهیمیان ح. قنبریان علویجه ب. عباسی ف. و هورفر ع. ۱۳۸۹. ارائه روش دو نقطه‌ای جدید به منظور برآورد پارامترهای نفوذپذیری در آبیاری جویچه‌ای و نواری و مقایسه آن با سایر روش‌ها. نشریه آب و خاک. ۲۴(۴):۶۹۸-۶۹۰.

۲- پناهی پ. میرلطیفی م. و عباسی ف. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل دو بعدی نفوذ وریک برای شرایط آبیاری جویچه‌ای. مجله آب و خاک دانشگاه فردوسی مشهد. پذیرفته شده.

۳- علیزاده ا. ۱۳۸۶. فیزیک خاک. دانشگاه امام رضا. ۴۳۸ صفحه.

4- Austin N.R. and Prendergast J.B. 1997. Use of kinematic wave theory to model irrigation on a cracking soil. Irrigation Science,18:1–10.

5- Bautista A. Clemmens A. J. and Strelkoff T. S. 2009. Structured Application of the Two-Point Method for the Estimation of Infiltration Parameters in Surface Irrigation. J. Irrig. Drain. Eng., 135(5):566–578.

6- Benami A. and Ofen A. 1984. Irrigation Engineering: Sprinkler, Trickle, Surface Irrigation. Principles, Design and Agricultural Practices. Irrigation Engineering Scientific Publication, IIIC Bet Dagan, Israel.

7- Christiansen J. E. Bishop, A. A. Kiefer, F. W. Jr. and Fok, Y. S. 1966. Evaluation of intake rate constants as related to advance of water in surface irrigation. Trans. ASAE, 9(5):671-674.

8- Elliott R.L. and Walker W.R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Transaction ASAE, 25:396-400.

9- Enciso-Medina J. Martin D. and Eisenhauer D. 1998. Infiltration model for furrow irrigation. J. Irrig. Drain. Eng., 124(2):73–80.

10- Esfandiari M. and Maheshwari B.L. 1997. Application of the optimization method for estimating infiltration characteristics in furrow irrigation and its comparison with other methods. Agric. Water Manage., 34: 169-185

11- Fok Y. S. and Chiang S. H. 1984. 2-D infiltration equations for furrow irrigation. Rev. Quant. Finance Account. 110(2):208–217.

12- Hanson B. R. Prichard T. L. and Schulbach, H. 1993. Estimating furrow infiltration. Agric. Water Manage, 24(4):281-298.

13- Izadi B. Heermann D. F. and Duke H. R. 1988. Sensor placement for real time infiltration parameter evaluation. Trans. ASAE, 31(4):1159-1166.

14- Khatri K.L. and Smith R.J. 2005. Evaluation of methods for determining infiltration parameters from irrigation advance data. Irrigation and Drainage, 54:467–482

15- Kostiakov A.V. 1932. On the dynamics of the coefficient of water

16- percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamics point of view for purposes of amelioration. Transactions of the Sixth Commission of International Society of Soil Science, part A, pp: 17-21.

17- Lewis M. R. 1937. The rate of infiltration of water in irrigation practice. Trans. Am. Geophys. Union. 18:361-368.

18- Schaap M.G. Leij F.J. and van Genuchten, M.Th. 2001. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. J. Hydrol., 251:163–176.

19- Serralheiro R. P. 1995. Furrow irrigation advance and infiltration functions for a Mediterranean soiLJ. Agric. Eng. Res. 62:117-126.

20- Shepard J.S. Wallender W.W. and Hopmans J.W. 1993. One method for estimating furrow infiltration. Transaction ASAE, 36(2):395-404.

21- Simunek J. M. Sejna and M.Th. van Genuchten. 1999. *The HYDRUS-2D* software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media, version *2.0*, U.S. Salinity Laboratory, Riverside, Calif.

22- 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. Agric. Water Manage. 8 3:130 – 134

23- Singh V. P. He Y. C. and Yu F. X. 1987. 1-D, 2-D, and 3-D infiltration and irrigation. J. Irrig. Drain. Eng., 113(2) 266–278.

24- Skonard C. J. 2002. A field-scale furrow irrigation model. PhD Dissertation. University of Nebraska, Lincoln.

25- Strelkoff T. S., Clemmens A. J.,and Bautista E. 2009. Field properties in surface irrigation management and design J. Irrig. Drain. Eng., 135(5):525-536.

26- Upadhyaya S.K. and Raghuwanshi N.S. 1999. Semiempirical infiltration equations for furrow irrigation systems. Irrigation and Drainage, 125(4):173–178.

27- Valiantzas J.D. Aggelides S. and Sassalou A. 2001. Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. Agric. Water Manage. 52:17-32.

www.SID.ir

Archive of SID

28- Vogel T. and Hopmans J. W. 1992. Two-dimensional analysis of furrow infiltration. J. Irrig. Drain. Eng. 118(5):791–806.
29- Walker W.R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. Irrig. and Drain. Eng. 131(2):129-136.
30- Warrick A.W. and Lazarovitch N. 2007. infiltration from a strip source. Water Resour. Res. 43(3).
31- Warrick A.W. Lazarovitch N. Furman A. and Zerihun D. 2007. Explicit infiltration function for furrows. J. Irrig. Drain. Eng., 133(4):307-313.

www.SID.ir