مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۶/ شماره ۲/سال ۱۳۹۴/ص ۲۴-۱۳

برآورد نفوذ در آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت و یک در میان متغیر با استفاده از روش مقیاس‌سازی

محبوبه قبادی و حامد ابراهیمیان[*,]**

[*] نگارنده مسئول: گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. ص. پ: ۴۱۱۱، تلفن: ۳۲۲۴۱۱۱۹(۰۲۶)، پیام‌نگار: ebrahimian@ut.ac.ir

[**] به ترتیب: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد؛ و استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۱۶

چکیده

ویژگی‌های نفوذ آب در خاک تابعی از زمان و مکان است، در نتیجه به تعداد نسبتاً زیادی اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای نیاز است تا بیانی از متوسط شرایط مزرعه باشد. اخیراً روش مقیاس‌سازی برای کاهش داده‌های موردنیاز به منظور تعیین ویژگی‌های نفوذ ارائه شده است. هدف از این تحقیق، ارزیابی روش مقیاس‌سازی برای پیش‌بینی نفوذ در آبیاری جویچه‌ای، در دو روش آبیاری جویچه‌ای، یک در میان ثابت و یک در میان متغیر است که از یک نقطهٔ پیشروی و یک منحنی نفوذ نمونه برای تعیین ضرایب نفوذ استفاده شد، به منظور ارزیابی روش مقیاس‌سازی در هر دو روش آبیاری نیز از داده‌های هفت واقعه آبیاری در طول فصل رشد محصول ذرت در منطقه کرج استفاده شد که در خاک لوم رسی کشت شده بود. محدودهٔ خطای به دست آمده در تخمین حجم کل آب نفوذ یافته در روش جویچه‌ای یک در میان ثابت از ۱/۴۴ تا ۲۰/۰۳ درصد و در روش جویچه‌ای متغیر از ۰/۴۸ تا ۱۳/۸۰ درصد متغیر است. تحلیل آماری داده‌های مقیاس‌شده و اندازه‌گیری شدهٔ نفوذپذیری هم نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی

آبیاری سطحی، زمان پیشروی، رابطهٔ نفوذ کوستیاکوف- لوئیس، نفوذپذیری

مقدمه

آبیاری سطحی، به ویژه آبیاری جویچه‌ای یکی از رایج‌ترین روش‌های آبیاری محصولات درکل جهان است به این دلیل که هزینهٔ آن کم است، نیاز به انرژی اندک دارد و در بهبود تهویهٔ ناحیهٔ ریشه مؤثر است. آبیاری جویچه‌ای یک در میان یکی از مدیریت‌های آبیاری جویچه‌ای است که در آن جویچه‌ها به روش متداول ایجاد می‌شوند، اما به صورت یک در میان آبیاری خواهند شد. آبیاری متغیر یا یک درمیان به طورگسترده از گذشته تاکنون استفاده شده و درکشت‌های سیب‌زمینی، ذرت، سورگوم، چغندرقند و پنبه نتایج خوبی داده است (Anon, 1973; Naderi & Mohammadi, 2008; Sheini ashtgol *et al*., 2008; Ebrahimian *et al*., 2011). در آبیاری جویچه‌ای یک در میان، آب امکان بالقوهٔ بیشتری برای نفوذ جانبی دارد و از این رو از نفوذ عمقی آن به مقدار قابل توجهی کاسته می‌شود. کاربرد آبیاری جویچه‌ای یک در میان برای مناطق خشک و نیمه خشک اهمیت فراوان دارد. بنابراین لازم است که عوامل طراحی در این روش در اختیار باشد. از مهمترین عوامل در طراحی آبیاری جویچه‌ای، تعیین مناسب رابطهٔ نفوذ است

که باید برای آبیاری جویچه‌ای یک در میان بررسی شود. وقتی که آب از یک جویچه وارد خاک می‌شود، حرکت جانبی آب اهمیت پیدا می‌کند و جریان آب دو بعدی می‌شود. داشتن دانش کیفی و کمی دربارهٔ نفوذ برای اجرای هر روش آبیاری با بازده مناسب ضروری است و ازآنجا که ویژگی‌های نفوذ تابعی از زمان و مکان است درنتیجه به تعداد نسبتاً زیادی اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای نیاز است تا بیانی از متوسط شرایط مزرعه باشد.

در ارزیابی مزرعه‌ای عملکرد آبیاری، به طور معمول برای نشان دادن شرایط کل مزرعه تنها از یک خصوصیت نفوذ استفاده می‌شود؛ این خصوصیت نفوذ هم با استفاده از اندازه‌گیری داده‌های پیشروی هر جویچه یا راه حل معکوس رابطه بیلان حجم تخمین زده می‌شود. تک رابطه نفوذ، سپس در یک مدل شبیه‌سازی برای ارزیابی عملکرد و تعیین طراحی بهینه برای کل مزرعه به‌کار برده می‌شود. با این همه، استفاده از یک رابطه نفوذ، تغییرات زمانی و مکانی نفوذ مؤثر بر عملکرد آبیاری را انکار می‌کند. تغییرات زمانی و مکانی ضرایب نفوذ، نوعی محدودیت فیزیکی عمده برای دست‌یابی به راندمان کاربرد بالاتر است. سپاسخواه و افشار چمن‌آباد (Sepaskhah & Afshar-Chamanabad, 2002) ضرائب رابطهٔ نفوذ کوستیاکوف - لوئیس را برای دو روش آبیاری جویچه‌ای معمولی و آبیاری جویچه‌ای یک در میان، با دو روش اندازه‌گیری، با استفاده از داده‌های مرحلهٔ پیشروی و اندازه‌گیری با استفاده از داده‌های مرحلهٔ پیشروی و مرحلهٔ ذخیره محاسبه کردند و نشان دادند که رابطهٔ نفوذ کوستیاکوف - لوئیس در دو حالت آبیاری جویچه‌ای معمولی و آبیاری جویچه‌ای یک در میان با هم تفاوت دارند و محاسبهٔ ضرایب به روش دوم به علت اینکه از داده‌های کامل‌تر استفاده می‌کند رابطه نفوذ واقعی‌تری را برای جویچه‌ای یک در میان نشان می‌دهد. رسول‌زاده و سپاسخواه (Rasoulzadeh & Sepaskhah, 2003) می‌گویند که تغییرات مکانی سرعت نفوذ، مدیریت آبیاری جویچه‌ای را پیچیده‌تر می‌کند زیرا خصوصیات نفوذ آب به داخل خاک ممکن است بر حسب سرعت‌های متفاوت جریان آب به داخل جویچه، شکل هندسی مقطع و حجم جریان ورودی تغییر کند. بنابراین، ارائه یک رابطه عمومی برای نفوذ بسیار مشکل است. طباطبائی و همکاران (Tabatabaei *et al.*, 2004) تغییرات زمانی ضرایب رابطه کوستیاکوف - لوئیس را بررسی کردند. دراین تحقیق ضرایب نفوذ با استفاده از روش ورودی-خروجی و دو نقطه‌ای الیوت و واکر (Elliot & Walker, 1982) تعیین شده بود. نتایج تحقیقات این محققان نشان می‌دهد که مقادیر نفوذ طی فصل رشد تغییرات معنی‌داری دارد و با مدل لگاریتمی قابل شبیه‌سازی است. در تحقیقات اخیر توابع نفوذ برای شدت‌های مختلف جریان و یا به حساب آوردن پیرامون خیس شده اصلاح شد. کاماچو و همکاران (Camecho *et al.*, 1997) مدل کینماتیک و بیلان حجمی را برای محاسبهٔ تغییرات مکانی و زمانی نفوذ به‌کار بردند. آزواد و همکاران (Azevedo *et al.*, 1996) یک مدل کامپیوتری به نام SIRTOM را برای تخمین ضرایب نفوذ از روی داده‌های پیشروی توسعه دادند. تحقیقات پیش‌رو به دنبال روش‌های تخمینی هستند که داده‌های مزرعه‌ای مورد نیاز را برای تخمین ویژگی‌های نفوذ، که تغییرات نفوذ خاک را در بر می‌گیرد، کاهش دهند. به نظر می‌رسد که پتانسیل‌هایی برای کاهش داده‌های موردنیاز برای تعیین ویژگی‌های نفوذ وجود دارد وآن تعیین رابطه نفوذ با استفاده از فرایند مقیاس‌سازی[1] است. این روش، یک رابطه را با حداقل تعداد متغیرهای ممکن برای استفادهٔ رابطه نفوذ در محدوده‌ای از کاربرد فرمول‌بندی می‌کند. رسول‌زاده و سپاس خواه (Rasoulzadeh & Sepaskhah , 2003) از آنالیز ابعادی برای مقیاس‌سازی رابطه نفوذ در آبیاری جویچه‌ای استفاده کردند. این محققان از پیرامون خیس

1- Scaling

شده برای یافتن مشخصهٔ مکانی فاکتور مقیاس که می‌تواند رابطه نفوذ را در یک تک منحنی ادغام کند، به منظور کاربرد در خاک‌های مختلف و شرایط مختلف آبیاری جویچه‌ای استفاده کردند. با این حال، این اصلاح تابع نفوذ در مدیریت زمان واقعی و تحت شرایط مزرعه به سختی اعمال می‌شود. واریک و همکاران (Warrick *et al*., 1985) از روش مقیاس برای کلی کردن راه حل نیمه‌تحلیلی فیلیپ برای نفوذ یک بعدی استفاده کردند. واریک و حسین (Warrick & Hussein, 1993) از تکنیک مقیاس برای رابطه ریچاردز برای نفوذ استفاده کردند. مطالعات سپاسخواه و افشارچمن‌آباد (Sepaskhah & Afshar Chamanabad, 2002) و رسول‌زاده و سپاسخواه (Rasoulzadeh & Sepaskhah, 2003) دربارهٔ مقیاس‌سازی نفوذ، برای تعیین ضرایب نفوذ دارای پیچیدگی‌های زیادی است و نیاز به داده‌های اولیهٔ بیشتری دارد. به همین دلیل ختری و اسمیت (Khatri & Smith, 2006) روش برآورد ضرایب نفوذ را با استفاده از یک نقطهٔ پیشروی و یک منحنی نفوذ مدل (نمونه) پیشنهاد کرده‌اند. آنها یک فاکتور مقیاس را برای کاربرد در ارتباط با رابطه نفوذ کوستیاکوف- لوئیس، برای مقیاس‌سازی منحنی نفوذ تکی در سطح مزرعه ارائه دادند. این روش برای استفاده درسطح مزرعه روشی است آسان که فقط به پیشروی دریک نقطه به علاوهٔ شدت جریان وسطح مقطع جریان در ورودی جویچه نیاز دارد. لانگات و همکاران (Langat *et al*., 2008) روش مقیاس‌سازی در آبیاری جویچه‌ای معمولی و همچنین تأثیر مسافت‌های مختلف پیشروی را برکاهش خطای تخمین روش مقیاس‌سازی بررسی کرده‌اند.

تحقیقات در راستای بررسی کارآیی روش مقیاس‌سازی در آبیاری جویچه‌ای معمولی بوده است. اما نفوذ جانبی در جویچه‌های یک در میان، نسبت به جویچه‌های معمولی، بیشتر است. بنابراین، ضرایب نفوذ در روش آبیاری یک در میان با ضرایب نفوذ در روش آبیاری معمولی متفاوت است. هدف از این تحقیق، بررسی روش مقیاس‌سازی برای پیش‌بینی ضرایب نفوذ در آبیاری جویچه‌ای، برای دو روش یک درمیان ثابت و یک در میان متغیر با استفاده از حداقل داده‌های مزرعه‌ای (شدت جریان و یک نقطه پیشروی) است.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌های مزرعه‌ای

در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعهٔ آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج استفاده شد. این مزرعهٔ آزمایشی در موقعیت جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۱۲ متر است. کرج دارای آب و هوای مدیترانه‌ای است و متوسط بارندگی سالانهٔ آن برابر ۲۶۵ میلی‌متر، بالاترین میانگین دمای ماهیانه در تیر ماه (۲۴/۵ درجه سلسیوس) و پایین‌ترین میانگین دما در دی‌ماه (۱/۲ درجه سلسیوس) است. مشخصات فیزیکی خاک مزرعه در جدول ۱ آورده شده است. در زیر عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک یک لایه سنگ‌ریزه وجود دارد. آب آبیاری از کانال کنار مزرعه تأمین می‌شود که از چاه مزرعه به دست می‌آید. در زمین موردنظر ذرت علوفه‌ای (سینگل کراس ۷۰۴) در تاریخ ۲۰ خرداد ۱۳۸۹ کاشته و در ۲۴ شهریور ۱۳۸۹ برداشت شده بود. منحنی‌های پیشروی و پسروی در ایستگاه‌هایی با فاصلهٔ ۱۰ متری و رواناب خروجی و آب ورودی به جویچه‌ها با استفاده از فلوم WSC اندازه‌گیری شد. سطح مقطع جریان با استفاده از اطلاعات مقطع‌سنج و پارامترهای هیدرولیکی و هندسی جویچه تعیین شد. طول و فاصلهٔ جویچه‌ها به ترتیب ۸۶ و ۰/۷۵ متر و شیب طولی و عرضی جویچه به ترتیب ۰/۰۰۹۳ و ۰/۰۰۱۹ بود. جدول ۲ مشخصات

آبیاری به ترتیب برای روش‌های آبیاری جویچه‌ای یک در میان متغیر و یک در میان ثابت را نشان می‌دهد که برای ارزیابی روش مقیاس‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک مزرعه

عمق (سانتی‌متر)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	درصد ظرفیت زراعی (وزنی)	درصد رطوبت پژمردگی (وزنی)
۰-۲۰	لوم رسی	۱/۵۰۶	۱۸/۱	۸/۴
۲۰-۴۰	لوم	۱/۴۸۳	۱۷/۷	۸/۱
۴۰-۶۰	لوم شنی	۱/۴۸۹	۱۵/۰	۶/۶

جدول ۲- مشخصات آبیاری برای آبیاری جویچه‌ای یک در میان متغیر و ثابت

شماره آبیاری	دبی (لیتر بر ثانیه)	سطح مقطع جریان (مترمربع)	زمان پیشروی در انتها (دقیقه)
۳	۰/۲۷۵ (۰/۲۶۱)*	۰/۰۰۱۸ (۰/۰۰۱۹)	۵۸/۸ (۶۶/۹)
۴	۰/۲۶۳ (۰/۲۶۱)	۰/۰۰۱۹ (۰/۰۰۱۹)	۵۱/۳ (۴۹/۷)
۸	۰/۴۲۳(۰/۴۲۲)	۰/۰۰۲۷ (۰/۰۰۲۷)	۵۳/۸ (۵۵/۹)
۹	۰/۳۸۴(۰/۳۸۹)	۰/۰۰۲۵ (۰/۰۰۲۶)	۵۳/۳(۵۰/۳)
۱۰	۰/۴۰۶(۰/۴۰۵)	۰/۰۰۲۷ (۰/۰۰۲۷)	۴۰/۰(۴۶/۸)
۱۱	۰/۳۲۲(۰/۳۲۳)	۰/۰۰۲۲ (۰/۰۰۲۲)	۵۹/۳(۵۵/۴)
۱۲	۰/۳۲۱(۰/۳۲۱)	۰/۰۰۲۲ (۰/۰۰۲۲)	۵۰/۵ (۴۷/۷)

* اعداد داخل پرانتز، داده‌های مربوط به روش جویچه‌ای یک در میان ثابت است.

روش مقیاس‌سازی

فرایند مقیاس‌سازی ارائه شده توسط ختری و اسمیت (Khatri & Smith, 2006)، مقدار داده‌های مورد نیاز را برای پیش‌بینی ویژگی‌های نفوذ در هر جویچه و هر واقعهٔ آبیاری به منظور مدیریت واقعی زمان آبیاری و کنترل آن برای کل مزرعه کاهش می‌دهد. در این روش، یک واقعهٔ آبیاری به عنوان نمونه انتخاب و پس از آن ضرایب رابطه نفوذ آن با استفاده از داده‌های پیشروی و رواناب اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شود. هر رابطهٔ نفوذی می‌تواند استفاده شود؛ که در این تحقیق از رابطهٔ نفوذ کوستیاکوف- لوئیس استفاده شد:

$$Z = k\tau^a + f_0\tau \qquad (۱)$$

که در آن،

Z= عمق نفوذ تجمعی (مترمکعب بر متر)؛ K= ضریب نفوذ (متر مکعب بر دقیقه به توان a بر متر)؛ a= ضریب ثابت تجربی معادله؛ f_0= سرعت نفوذ نهایی (متر مکعب بر متر بر دقیقه)؛ و τ= فرصت نفوذ (دقیقه) است.

منحنی نفوذ تجمعی برای آبیاری نمونه را منحنی نفوذ نمونه می‌نامند که بعداً از آن برای تخمین (به وسیله مقیاس) منحنی نفوذ تجمعی برای کل مزرعه یا دیگر واقعه‌های آبیاری با استفاده از فقط یک نقطهٔ پیشروی استفاده می‌شود. در فرایند مقیاس‌سازی، فاکتور مقیاس F برای هر جویچه یا واقعه برای مدل بیلان حجم به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$F = \frac{Q_0 t - \sigma_y A_0 x}{\sigma z k t^a + \frac{f_0 t x}{1+r}} \qquad (۲)$$

که در آن،
Q_0= شدت جریان مربوط به جویچهٔ مورد نظر (متر مکعب بر دقیقه)؛ A_0= سطح مقطع جریان (متر مربع)؛ σ_y= ضریب ذخیرهٔ سطحی برابر ۰/۷۷؛ و t = زمان مورد نیاز برای رسیدن به مسافت x در آبیاری مورد نظر (دقیقه) است؛ و σ_z= از رابطه زیر به دست آمد:

$$\sigma_z = \frac{a + r(1-a)+1}{(1+a)(1+r)} \qquad (۳)$$

و مقدار r هم از رابطه ۴ تعیین شد:

$$x = pt^r \qquad (۴)$$

که در آن،
x= مسافت پیشروی (متر)؛ t= زمان پیشروی تا فاصلهٔ x (دقیقه)؛ p و r= ضرایب رابطه پیشروی هستند. فاکتور مقیاس ختری و اسمیت (Khatri & Smith, 2006) به عنوان نسبتی بین حجم نفوذکرده محاسبه شده با مدل بیلان حجم در جویچهٔ هدف در زمان پیشروی خاص و حجم نفوذ کردهٔ محاسبه شده با پارامترهای جویچه نمونه توصیف شده است. این فاکتور به شکل زیر در ارتباط با رابطهٔ ۱ و تولید منحنی نفوذ مقیاس شده برای هر جویچه یا هر واقعهٔ آبیاری دیگر به‌کار می‌رود.

$$I_s = F(k\tau^a + f_0\tau) \qquad (۵)$$

ضرایب نفوذ برای داده‌های پیشروی برای هر واقعهٔ آبیاری با استفاده از مدل IPARM تعیین شد (Gillies & Smith, 2005).

مدل IPARM

IPARM یک برنامهٔ کامپیوتری برای تعیین ضرایب رابطه کوستیاکوف- لوئیس با استفاده از شدت جریان و داده‌های پیشروی و رواناب است (Gillies & Smith, 2005). IPARM دارای عملکرد خوب و خطای کم در تخمین ضرایب رابطه نفوذ در آبیاری جویچه‌ای است (Ebrahimian, 2014). در این تحقیق از این مدل برای تخمین ضرایب نفوذ به عنوان ضرایب نفوذ اندازه‌گیری شده استفاده شد.

این مدل بر پایهٔ اصل بقای جرم جریان آب در جویچه، نوار، یا کرت است؛ کل حجم به کار برده شده در مزرعه (حاصل ضرب شدت جریان ثابت Q_0 در زمان قطع جریان t) باید مساوی مجموع حجم ذخیره شده در خاک سطحی (V_s) و حجم نفوذ کرده (V_I) طی زمان پیشروی باشد، زمانیکه آب به انتهای مزرعه می‌رسد، بخش رواناب (V_R) به رابطه بیلان حجم افزوده می‌شود.

$$Q_0 t = V_I + V_S + V_R \qquad (۶)$$

گیلز و اسمیت (Gillies & Smith, 2005) این مدل کامپیوتری را برای استفاده از داده‌های رواناب در محاسبه ضرایب نفوذ رابطه کوستیاکوف- لوئیس توسعه دادند. این مدل با حداقل کردن تفاوت‌ها بین مسافت پیشروی اندازه‌گیری و محاسبه شده در فاز پیشروی و حجم رواناب اندازه‌گیری و محاسبه شده در فاز ذخیره، پارامترهای رابطه کوستیاکوف- لوئیس را برآورد می‌کند.

مدل نیاز به تعدادی ورودی اندازه‌گیری شده دارد شامل: شیب مزرعه، ضریب مانینگ یا عمق جریان بالادست، شدت جریان، طول مزرعه و داده‌های پیشروی به شکل مسافت و زمان مربوط به آن. مقدار رواناب خروجی در مقابل زمان‌های مختلف طی فاز ذخیره به صورت انتخابی در مدل وجود دارد که در این تحقیق از داده هیدروگراف رواناب خروجی برای تعیین ضرایب رابطه نفوذ استفاده شد.

ارزیابی دقت روش مقیاس‌سازی

منحنی‌های نفوذ محاسبه شده با مدل IPARM به عنوان منحنی‌های نفوذ اندازه‌گیری شده، برای مقایسه با منحنی‌های نفوذ مقیاس‌شده، انتخاب شدند. یک آبیاری نمونه با منحنی نفوذ نمونه انتخاب شد و پس از آن فاکتور مقیاس برای هر جویچه از جمله آبیاری نمونه محاسبه شد.

به منظور ارزیابی دقت روش مقیاس‌سازی ضرایب نفوذ، کل حجم نفوذکرده از روی رابطه نفوذ مقیاس شده، با مقدار اندازه‌گیری شده برای هر واقعهٔ آبیاری مقایسه شد. مقدار حجم نفوذکرده از اختلاف بین حجم ورودی و حجم خروجی به دست آمد. برای محاسبهٔ مقدار حجم نفوذ کرده از روی رابطه نفوذ مقیاس‌شده، از روش ذوزنقه استفاده شد:

$$V_i = \sum_{1}^{n-1}\left(L_i\left(\frac{z_i + z_{i+1}}{2} \right) \right) \qquad (۷)$$

که در آن،

n= تعداد ایستگاه‌ها؛ L_i= فاصله بین دو ایستگاه متوالی (متر)؛ و z_i ، z_{i+1}= نفوذ تجمعی برای ایستگاه های i و $i+1$ است. نفوذ تجمعی با استفاده از رابطهٔ نفوذ به دست آمده و فرصت نفوذ، تعیین شده است.

از شاخص خطای نسبی (RE) برای ارزیابی روش مقیاس‌سازی استفاده شد:

$$RE = \frac{(P_i - M_i)}{M_i} \times 100 \qquad (۸)$$

که در آن،

P_i= حجم آب نفوذ یافتهٔ محاسبه شده؛ و M_i= حجم آب نفوذ یافتهٔ اندازه‌گیری شده است.

همچنین به منظور تحلیل آماری داده‌های مقیاس شده و اندازه‌گیری شده، آزمون t تست نمونه‌های جفت شده (Paired-Samples T Test) با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab انجام شد، تا معنی‌داری بودن اختلاف بین داده‌ها در سطح ۵ درصد بررسی شود. این آزمون روشی است که میانگین دو متغیر را مقایسه می‌کند. این آزمون اختلاف بین دو مقدار از هر متغیر را محاسبه می‌کند و می‌آزماید.

نتایج و بحث

خطای مدل IPARM در برآورد ضرایب نفوذ برای همهٔ وقایع آبیاری کمتر از ۵ درصد به دست آمد که نشان دهندهٔ مناسب بودن این مدل در تخمین ضرایب نفوذ است. از آنجایی‌که مقادیر نفوذ در فصل رشد تغییرات معنی‌داری دارند (Tabatabaei *et al.*, 2004)، انتخاب آبیاری نمونه تأثیر زیادی بر دقت تخمین ضرایب نفوذ دارد و علاوه بر این بهتر است از داده‌های آبیاری استفاده شود که دقیق‌تر اندازه‌گیری شده‌اند تا ضرایب نفوذ با دقت بیشتری برآورد شود. جدول ۳، تأثیر انتخاب آبیاری نمونه بر متوسط خطای تخمین ضرایب نفوذ را نشان می‌دهد.

جدول ۳- تأثیر انتخاب آبیاری نمونه بر متوسط خطای نسبی (درصد) برآورد ضرایب نفوذ در دو روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت و یک در میان متغیر

شماره آبیاری	۳	۴	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
یک در میان ثابت	۸/۲	۱۴/۸۵	۱۳/۴۹	۹/۳	۸/۲۱	۱۳	۱۱/۳
یک در میان متغیر	۱۱/۵	۹/۳۵	۱۰/۵	۱۳/۸	۱۲/۳۳	۱۰/۹	۱۱/۲

با استفاده از رابطهٔ ۲ و اطلاعات آبیاری سوم به عنوان آبیاری نمونه، فاکتور مقیاس برای همهٔ وقایع آبیاری تعیین شد. علت انتخاب آبیاری سوم به عنوان آبیاری نمونه کمتر بودن میزان خطا در هنگام انتخاب آبیاری سوم (جدول ۳) است و بهتر بود آبیاری نمونه از آبیاری‌های ابتدای فصل باشد. مقادیر فاکتور مقیاس برای همهٔ آبیاری‌ها و ضرایب نفوذ اندازه گیری شده و مقیاس شده برای هر دو روش آبیاری در جدول‌های ۴ و ۵ آورده شده است. محدوده تغییرات فاکتور مقیاس برای روش جویچه‌ای یک در میان ثابت از ۰/۸۴ تا ۱/۵۰ و برای روش جویچه‌ای یک در میان متغیر از ۰/۸۶ تا ۱/۴۶ است.

تغییرات فاکتور مقیاس علاوه بر تغییرات زمانی نفوذپذیری خاک، مربوط به تغییرات دبی است. همان‌گونه که از رابطه ۴ پیدا است، به دلیل تأثیری که دبی بر محیط خیس‌شده و میزان نفوذ دارد، فاکتور مقیاس متناسب با دبی تغییر می‌کند و بین فاکتور مقیاس با دبی رابطه خطی وجود دارد. همچنین، بین دبی و فاکتور مقیاس همبستگی بالایی مشاهده می‌شود به‌طوری که ضریب تعیین برای آبیاری جویچه‌ای یک در میان متغیر و یک در میان ثابت به ترتیب برابر با ۰/۷۱ و ۰/۸۵ به دست آمده است.

جدول ٤- مقادیر فاکتور مقیاس و ضرایب نفوذ برای آبیاری‌های مختلف در روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان متغیر

شماره		ضرایب نفوذ اندازه‌گیری شده		فاکتور مقیاس	ضرایب نفوذ مقیاس شده	
	a(-)	k (متر مکعب بر دقیقه به توان a بر متر)	f_0 (مترمکعب بر متر بر دقیقه)	F	k (متر مکعب بر دقیقه به توان a بر متر)	f_0 (مترمکعب بر متر بر دقیقه)
۳	۰/۱۵۹	۰/۰۰۳۶۱	۰/۰۰۰۱۱	۱/۰۱	۰/۰۰۳۶۰۶	۰/۰۰۰۱۰۹۷
۴	۰/۴۹۴	۰/۰۰۱۰۲	۰/۰۰۰۰۸۱	۰/۸۶	۰/۰۰۳۱۰۸	۰/۰۰۰۰۹۴۵
۸	۰/۲۲۲	۰/۰۰۳۷۵	۰/۰۰۰۱۸۶	۱/۴۶	۰/۰۰۵۲۷۸	۰/۰۰۰۱۶۰۵
۹	۰/۱۹۷	۰/۰۰۴۲۹	۰/۰۰۰۱۲۵	۱/۳۲	۰/۰۰۴۷۵۶	۰/۰۰۰۱۴۴۷
۱۰	۰/۲۳۲	۰/۰۰۲۸۹	۰/۰۰۰۱۶۳	۱/۱۲	۰/۰۰۴۰۳۵	۰/۰۰۰۱۲۲۷
۱۱	۰/۱۳۹	۰/۰۰۴۲۱	۰/۰۰۰۱۳۵	۱/۱۸	۰/۰۰۴۲۵۷	۰/۰۰۰۱۲۹۵
۱۲	۰/۱۱۴	۰/۰۰۳۷۳	۰/۰۰۰۱۳۶	۱/۰۵	۰/۰۰۳۷۸۸	۰/۰۰۰۱۱۵۲

جدول ٥- مقادیر فاکتور مقیاس و ضرایب نفوذ برای آبیاری‌های مختلف در روش جویچه‌ای یک در میان ثابت

شماره		ضرایب نفوذ اندازه گیری شده		فاکتور مقیاس	ضرایب نفوذ مقیاس شده	
	a(-)	k (متر مکعب بر دقیقه به توان a بر متر)	f_0 (مترمکعب بر متر بر دقیقه)	F	k (متر مکعب بر دقیقه به توان a بر متر)	f_0 (مترمکعب بر متر بر دقیقه)
۳	۰/۲۸۸۴	۰/۰۰۲۶۱	۰/۰۰۰۰۷۹	۱/۰۳	۰/۰۰۲۶۱	۰/۰۰۰۰۷۹
۴	۰/۴۰۳۷	۰/۰۰۱۳۴	۰/۰۰۰۰۸۴	۰/۸۴	۰/۰۰۲۱۹	۰/۰۰۰۰۶۷
۸	۰/۲۹۴۶	۰/۰۰۴۰۹	۰/۰۰۰۰۹۴	۱/۵۰	۰/۰۰۳۹۲	۰/۰۰۰۱۲۰
۹	۰/۲۲۳۲	۰/۰۰۳۶۲	۰/۰۰۰۱۲۱	۱/۲۸	۰/۰۰۳۳۴	۰/۰۰۰۱۰۲
۱۰	۰/۲۵۴۶	۰/۰۰۳۴۳	۰/۰۰۰۱۰۷	۱/۲۷	۰/۰۰۳۳۱	۰/۰۰۰۱۰۱
۱۱	۰/۱۴۱۵	۰/۰۰۳۸۱	۰/۰۰۰۱۳۰	۱/۱۳	۰/۰۰۲۹۵	۰/۰۰۰۰۹۰
۱۲	۰/۱۹۱۶	۰/۰۰۲۷۳	۰/۰۰۰۱۳۱	۱/۰۱	۰/۰۰۲۶۴	۰/۰۰۰۰۸۱

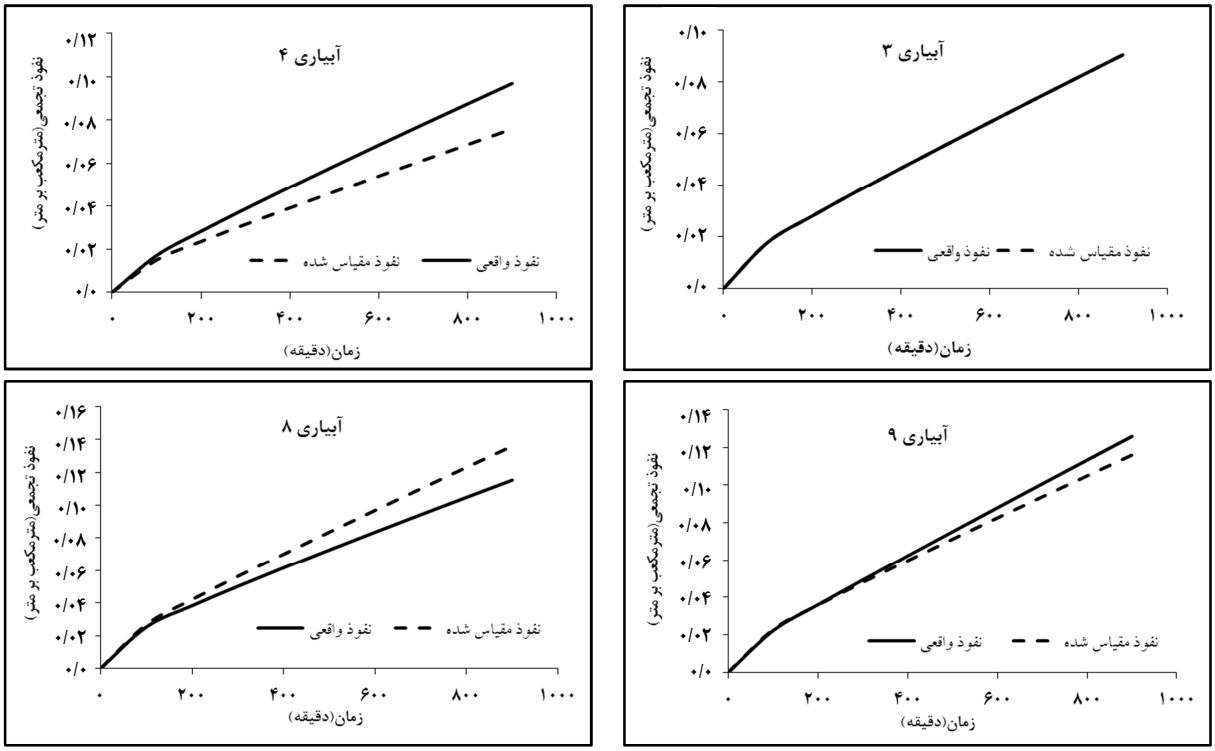
برای ارزیابی ضرایب نفوذ مقیاس شده، مقادیر خطا برای چند واقعهٔ آبیاری از روی مقادیر نفوذ اندازه‌گیری شده و نفوذ محاسبه شده با استفاده از رابطهٔ ۸ تعیین و پس از آن در جدول ۶ آورده شده است. محدودهٔ خطا از ۱/۴۴ تا ۲۰/۰۳ درصد برای آبیاری یک در میان ثابت و از ۰/۴۸ تا ۱۳/۸۰ درصد برای آبیاری یک در میان متغیر در وقایع مختلف آبیاری در طول فصل رشد به دست آمد. خطای IPARM هم برای هر دو روش کمتر از ۵ درصد بود.

جدول ٦- مقادیر خطای نسبی (درصد) برای دو روش جویچه‌ای یک در میان ثابت و متغیر

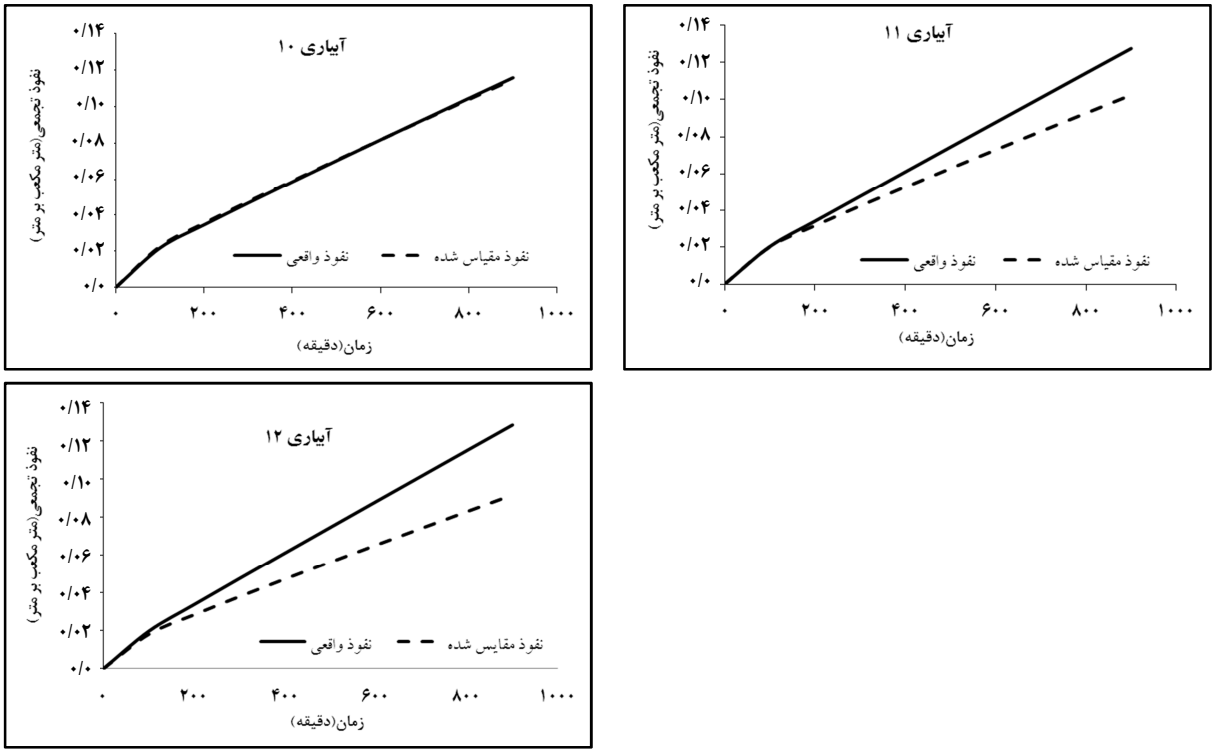
شماره آبیاری	خطای روش مقیاس سازی		خطای روش IPARM	
	ثابت	متغیر	ثابت	متغیر
۳*	-	-	۳/۲۹	۲/۵۰
۴	۱۷/۶۷	۱۳/۸۰	۱/۳۷	۱/۲۰
۸	۱/۴۴	۱۱/۴۶	۲/۲۵	۱/۰۱
۹	۳/۵۰	۹/۲۶	۲/۳۰	۲/۹۴
۱۰	۱/۳۲	۲/۲۳	۳/۱۲	۱/۹۴
۱۱	۱۰/۶۱	۰/۴۸	۲/۱۱	۰/۴۵
۱۲	۲۰/۰۳	۸/۲۴	۱/۱۰	۴/۹۳

* آبیاری شماره ۳ به عنوان آبیاری نمونه در نظر گرفته شد و بنابراین خطای روش مقیاس‌سازی برای این آبیاری لحاظ نشد.

در شکل ۱، مقادیر تجمعی نفوذ اندازه‌گیری شده و مقیاس شده برای هفت واقعهٔ آبیاری برای آبیاری یک در میان ثابت به صورت جداگانه رسم شده تا بتوان منحنی‌ها را به صورت دقیق مقایسه کرد.

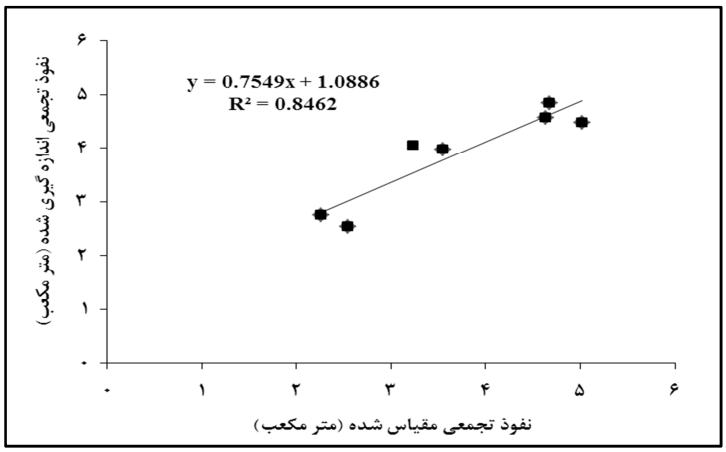


شکل ۱- نمودارهای نفوذ تجمعی مقیاس‌شده و واقعی برای هر واقعهٔ آبیاری (جویچه‌ای یک در میان ثابت)

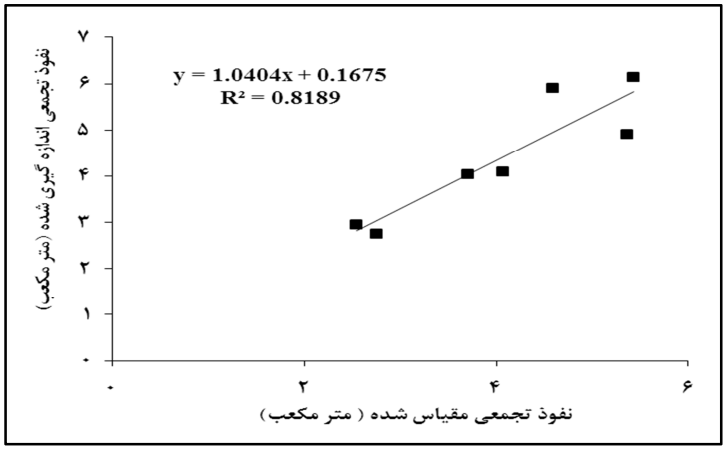


ادامهٔ شکل ۱- نمودارهای نفوذ تجمعی مقیاس‌شده و واقعی برای هر واقعهٔ آبیاری (جویچه‌ای یک در میان ثابت)

در شکل‌های ۲ و ۳ حجم آب نفوذ کردهٔ اندازه‌گیری شده و مقیاس‌شده برای هفت واقعهٔ آبیاری در مقابل هم رسم شده است. ضریب تعیین رابطه خطی برازش داده شده، همبستگی خوبی را بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقیاس شدهٔ حجم کل آب نفوذ یافته در هر دو روش یک درمیان نشان می‌دهد. در تحقیق ختری و اسمیت (Khatri & Smith, 2006) مقادیر ضریب تعیین تا ۰/۹۲ به دست آمد اما ضرایب تعیین به دست آمده در این تحقیق (۰/۸۵ و ۰/۸۲ به ترتیب برای آبیاری یک در میان ثابت و متغیر) هم قابل قبول بود. تحلیل آماری داده‌های مقیاس‌شده و اندازه‌گیری‌شده نشان می‌دهد که بین داده‌های مقیاس شده و اندازه‌گیری شده در هر دو روش آبیاری یک در میان ثابت و متغیر اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود ندارد (جدول ۷).



شکل ۲ – مقایسهٔ حجم آب نفوذ یافتهٔ واقعی و مقیاس شده برای هفت واقعهٔ آبیاری در روش جویچه‌ای یک در میان ثابت



شکل ۳ – مقایسهٔ حجم آب نفوذ یافتهٔ واقعی و مقیاس شده برای هفت واقعهٔ آبیاری در روش جویچه‌ای یک در میان متغیر

جدول ۷ – نتایج مقایسهٔ آماری بین داده‌های مقیاس شده و اندازه گیری شدهٔ حجم آب نفوذ یافته

روش آبیاری	میانگین (متر مکعب)		انحراف استاندارد (متر مکعب)		p-value	t-value
	مقیاس شده	اندازه‌گیری شده	مقیاس شده	اندازه‌گیری شده		
یک در میان ثابت	۳/۸۶۷	۳/۸۸۹	۱/۱۱۸	۰/۸۳۴	۰/۹۲	-۰/۱
یک در میان متغیر	۴/۲۳۷	۴/۴۴۹	۱/۱۷۴	۱/۲۳۹	۰/۳۷	-۰/۹۶

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، روش مقیاس‌سازی برای پیش‌بینی ضرایب نفوذ، در دو روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت و یک در میان متغیر بررسی شد. روش مقیاس‌سازی برای پیش بینی ضرایب نفوذ با استفاده از یک منحنی نفوذ نمونه برای یک آبیاری نمونه و با داشتن مقادیر دبی و فقط یک نقطهٔ پیشروی برای دیگر وقایع آبیاری به‌کار رفت. از داده‌های مزرعه‌ای در هفت واقعهٔ آبیاری در هر دو روش آبیاری برای ارزیابی روش مقیاس‌سازی استفاده شد.

نتایج نشان می‌دهد که شکل منحنی نفوذ مقیاس‌شده و واقعی بسیار به هم شبیه‌اند و مقادیری بسیار نزدیک به نفوذ واقعی (به خصوص تا زمان پیشروی) می‌دهد. در هر دو روش آبیاری، مقدار خطای به دست آمده با استفاده از حجم آب نفوذ کردهٔ اندازه‌گیری‌شده در مزرعه و حجم آب نفوذ کردهٔ مقیاس‌شده، از ۰/۵ تا ۲۰/۰ درصد متغیر است. بین حجم آب نفوذکردهٔ واقعی و حجم آب مقیاس‌سازی شده همبستگی مناسبی به دست آمده است. بین داده‌های مقیاس شده و داده‌های اندازه‌گیری شده در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. بنابراین می‌توان گفت که روش مقیاس‌سازی می‌تواند برای استفاده در روش‌های آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت و یک در میان متغیر و برای شرایط مدیریت و ارزیابی مزرعه استفاده شود.

مراجع

Anon.1973. Water Quality for Agriculture, Irrigation and Drainage. Paper No. 21. FAO, Rome.

Azevedo, C. A. V., Merkley, G. P. and Walker, W. R. 1996. Surface irrigation real-time optimization model (SIRTOM). Proceedings Of Computers in Agriculture Conference. June. 11-14. Cancun Mexico. ASAE. 872–884.

Camecho, E., Lucena, C. P., Canas, J. R. and Alcaide, M. 1997. Model for management and control of furrow irrigation in real-time. J. Irrig. and Drain. Eng. 123(4): 264-269.

Ebrahimian, H. 2014. Soil infiltration characteristics in alternate and conventional furrow irrigation using different estimation methods. KSCE J. Civil Eng. 18(6): 1904-1911.

Ebrahimian, H., Liaghat, A., Parsinejhad, M., Abbasi, F. and Navabian, M. 2011. Evaluation of water and nitrate losses and water use efficiency in alternate furrow fertigation. J. Water Res. Agric. 25(1): 21-29. (in Farsi)

Elliot, R. L. and Walker, W. R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Trans. ASAE. 25, 396-400.

Gillies, M. H. and Smith, R. J. 2005. Infiltration parameters from surface irrigation advance and run-off data. Irrigation Sci. 24(1): 25-35.

Khatri, K. L. and Smith, R. J. 2006. A real time control system for furrow irrigation to manage spatial and temporal variations infiltration. Irrigation Sci. 25(1): 33-43.

Langat, P. K., Smith, R. J. and Raine S. R. 2008. Estimating the furrow infiltration characteristics from a single advance point. Irrig. Sci. 26(5): 367-374.

McClymont, D. J. and Smith, R. J. 1996. Infiltration parameters from optimisation on furrow irrigation advance data. Irrig. Sci. 17(1):15-22.

Naderi, N. and Mohammadi, A. R. 2008. The effect of deficit irrigation by alternate furrow irrigation on growth stages of the potato. J. Agric. Eng. Res. 8(4): 19-32. (in Farsi)

Rasoulzadeh, A. and Sepaskhah, A. R. 2003. Scaled infiltration equations for furrow irrigation. Biosyst. Eng. 86(3): 375-383.

Sepaskhah, A. R. and Afshar-Chamanabad, H. 2002. SW—Soil and Water: Determination of infiltration rate for every-other furrow irrigation. Biosyst. Eng. 82(4): 479-484.

Sheini Dashtgol, A., Jafari, S. and Banni Abbasi, N. 2008. Effect of every other furrow irrigation on yield of sugarcane in south Ahvaz sugarcane fields. Iranian J Agric. Sci. 38(4): 543-552. (in Farsi)

Tabatabaei, S. H. 2004. Seasonal variation of infiltration parameters in furrow irrigation affected by soil texture and farm management condition. Ph. d. Thesis. Faculty of Agriculture. Tehran University. Karaj. Iran. (in Farsi)

Warrick, A. W., Lomen, D. O. and Yates, S. R. 1985. A generalised solution to infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J. 49(1): 34-38.

Warrick, A. W. and Hussein, A. A. 1993. Scaling of richards equation for infiltration and drainage. Soil Sci. Soc. Am. J. 57(1): 15-18.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.16/No.2/2015/P:13-24*

Use of Scaling Method to Estimate Infiltration in Variable and Fixed Alternate Furrow Irrigation

M. Ghobadi and H. Ebrahimian*

* Corresponding author: Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture Engineering and Technology, University of Tehran, P. O. Box: 4111, Karaj, Iran. Email: ebrahimian@ut.ac.ir
Received: 15 January 2015, Accepted: 6 June 2015

A relatively large number of field measurements are required to accommodate the spatial and temporal variability of the soil infiltration characteristics needed to express field conditions. Scaling is a recently-developed method that reduces the data needed to determine infiltration parameters. The present study evaluated the use of scaling to estimate infiltration parameters for variable alternate furrow irrigation and fixed alternate furrow irrigation methods that uses a single advance time and model infiltration curve to determine infiltration parameters. Field data from seven irrigation events during the maize growing season in clay loam soil in Karaj, Iran was used to evaluate scaling for both irrigation methods. The relative error for estimation of total infiltration was 1.44% to 20.03% for fixed and 0.48% to 13.80% for variable alternate furrow irrigation. No significant difference was observed between the measured and scaled data for infiltration.

Keywords: Advance Time, Infiltration, Kostiakov–Lewis Equation, Surface Irrigation