

ارزیابی روش‌های مختلف تعیین ضرایب معادله نفوذ فیلیپ در فرایند آبیاری متوالی جویچه‌ها

صدیقه رضایی پور^{1*}، مهدی قبادی نیا²، سید حسن طباطبائی³، محمد شایان نژاد⁴ و محمدرضا نوری⁵

تاریخ دریافت: 91/07/26 تاریخ پذیرش: 92/04/15

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

²⁻³⁻⁵ استادیار، دانشیار، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

⁴ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Sedighehrezaaee37@yahoo.com

چکیده

روش‌های مختلفی برای برآورد ضرایب معادلات نفوذ باتوجه به شیوه آبیاری ارائه شده است. در این پژوهش، تغییرات ضرایب معادله فیلیپ در فرآیند آبیاری متوالی جویچه‌ها در سه بافت متنوع خاک، شامل لوم، لوم‌شنی و شنی‌لومرسی مورد بررسی قرار گرفت. ضرایب معادله نفوذ از روش‌های راولز، یک نقطه‌ای شپارد، کلمنز و ویبو اصلاح‌شده به دست آمد. با استفاده از ضرایب به دست آمده، زمان پیشروی به کمک نرم‌افزار SURFACE شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که روش‌های راولز و ویبو اصلاح شده برآورد مناسبی از زمان پیشروی در بافت‌های مختلف داشته است. ضریب‌جذبی (S) آبیاری چهارم نسبت به آبیاری اول برای روش‌های کلمنز، راولز، یک نقطه‌ای شپارد و ویبو اصلاح‌شده در بافت لوم به ترتیب 85، 10 و 82 درصد و در بافت شنی‌لومرسی به ترتیب 74، 54 و 65 درصد کاهش داشت. ضریب‌انتقال‌دهی معادله فیلیپ (A) روند مشخصی نشان نداد. نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد، در روش‌های یک نقطه‌ای شپارد و ویبو اصلاح شده دبی ورودی و در روش راولز هدایت هیدرولیکی بیشترین تأثیر را روی ضریب جذبی داشتند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، آنالیز حساسیت، شبیه‌سازی جریان پیشروی، ضرایب معادله فیلیپ

Evaluation of Different Procedures for Determining Philip Equation Coefficients in Sequential Irrigation Process of Furrows

S Rezaeepour^{1*}, M Ghobadinia², SH Tabatabaei³, M Shayannejad⁴ and MR Nouri⁵

Received: 16 November 2012 Accepted: 6 July 2013

¹M.Sc Student, Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran

²⁻³⁻⁵⁻ Assist. Prof., Assoc. Prof., Assist. Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran

⁴⁻ Assoc. Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Isfahan Univ. of Technology, Isfahan, Iran

*Corresponding Author Email: sedighehzeae37@yahoo.com.

Abstract

There are different methods for estimation of soil infiltration equations' coefficients depending on irrigation system. In this study, seasonal variations of the Philip equation coefficients (PEC) were investigated in three different soil textures including loam, sandy loam and sandy clay loam soils. The PEC's were calculated using four following methods: Rawls, one-point Shepard, Clemmens and adjusted Weibo methods. The advance phase was simulated using SURFACE software. The results showed that the Rawls and adjusted Weibo methods estimated the advance phase more accurate than the others in the three soil textures. The sorptivity coefficient (S) at the fourth irrigation was compared with the first one and it showed that S decreased to 85, 10 and 82 percent for Clemmens, one-point Shepard and adjusted Weibo methods, in loamy soil, respectively. Similarly, it decreased to 74, 54 and 65 for the sandy clay loam soil from first to fourth irrigation event. The result showed no trend for transmissivity coefficient (A). Sensitivity analysis remarked that the S was more affected by inflow discharge in one-point Shepard and adjusted Weibo methods than the two others, and also it was affected by hydraulic conductivity in Rawls method.

Keywords: Advance phase simulation, Furrow irrigation, Philip's equation coefficients and Sensitivity analysis

نیاز به وقت زیاد و نمونه برداری فراوانی دارد، به همین علت معادلات تجربی و فیزیکی متعددی برای کمی کردن فرایند نفوذ در آبیاری سطحی توسط محققین ارائه شده است که می توان به معادله کوستیاکف، کوستیاکف-لوئیس و فیلیپ اشاره کرد (محمدی و رفاهی 1384). برای تعیین ضرایب معادله فیلیپ روش های مختلفی ارائه

مقدمه

برای طراحی و مدیریت مطلوب روش های مختلف آبیاری اطلاع از خصوصیات نفوذ پذیری خاک ضروری است. نفوذ پذیری به خصوصیات خاک و شرایط سطحی مزرعه بستگی دارد (رحیمی و کشکولی 1385). به دلیل تغییر پذیری زمانی و مکانی نفوذ، اندازه گیری مستقیم آن

پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از آن است که پژوهشگران مختلف در مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف نفوذ به نتایج متفاوت و گاهی ضد و نقیض دست یافته‌اند. یکی از دلایل این امر، طبیعت تغییرپذیر فرایند نفوذ آب به خاک است که موجب می‌شود تا حتی یک مدل نفوذ در دو خاک که به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی بسیار مشابهی دارند، کارآیی؛ متفاوتی داشته باشد (قربانی‌دشتکی و همکاران 2009، سای 2006). همچنین، بسته به روش اندازه‌گیری نفوذ، شرایط اولیه و شرایط مرزی جریان آب در خاک متفاوت خواهد بود که می‌توان دست کم بخشی از تفاوت در نتایج به دست آمده را به این امر نسبت داد (بردواج و سینگ 1992).

ماهشواروی و مک‌ماهون (1993) در مقایسه‌ای که بین مدل SIRMOD با سایر مدل‌ها انجام دادند اعلام داشتند که با وجود اینکه این مدل‌ها بسیار دقیق نیستند اما حل هیدرودینامیکی و اینرسی صفر مدل SIRMOD برآورد دقیق‌تری از زمان پیشروی و عملکرد کل سیستم ارائه می‌دهد. تحقیقات نشان داده است که مدل SIRMOD بیشترین حساسیت را به شدت جریان ورودی و ضرایب معادله نفوذ نسبت به سایر پارامترهای ورودی از خود نشان می‌دهد (اسفندیاری و ماهشواروی 2000، بابازاده 1382). زیرهان و همکاران (1996) با استفاده از مدل اینرسی صفر آنالیز حساسیتی را برای پنج شاخص (بازده کاربرد، بازده نیاز آبی، ضریب یکنواختی، رواناب و نسبت نفوذ عمقی) و دو پارامتر (کفایت آبیاری و زمان پیشروی) انجام دادند. نتایج نشان داد که عوامل هندسی جریان تاثیر چندانی بر نتایج حاصل از مدل نداشته ولی پارامترهای ذکر شده نسبت به تغییرات عوامل هیدرولیکی مقطع جریان به شدت حساس می‌باشند.

هدف این تحقیق، ارزیابی روش‌های مختلف تعیین ضرایب معادله نفوذ فیلپ برای شبیه‌سازی پیشروی آب در جویچه و بررسی تغییرات این ضرایب در رویدادهای

شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش راولز (1992)، روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (1993)، روش کلمنز و باتیستا (2009)، روش والیانز (2010) و روش ویبو و همکاران (2012) اشاره نمود.

راجاوانشی و والندر (1997) دریافتند که طراحی و برنامه‌ریزی آبیاری نسبت به تغییرات نفوذ حساس هستند و این تغییرات در طراحی آبیاری جویچه‌ای باید مورد توجه قرار گیرد. یکی از پارامترهای بسیار مهم در طراحی و ارزیابی سیستم آبیاری جویچه‌ای، نفوذ و به صورت دقیق‌تر ضرایب معادله نفوذ است (طباطبائی 1383). شپارد و همکاران (1993) پنج روش اندازه‌گیری نفوذ را در خاک‌های با بافت مختلف مقایسه نمودند و متوسط نفوذ را در چهار آبیاری متوالی در خاک‌های مختلف به دست آوردند. مقدار کاهش بسته به روش اندازه‌گیری از حداقل 44 تا حداکثر 78 درصد به دست آمد. روان و همکاران (2001) با استفاده از معادله نفوذ¹ SCS میزان نفوذ را طی چند آبیاری متوالی بررسی نمود. نتایج حاصل کاهش 50 درصدی نفوذ تجمعی طی فصل رشد را نشان می‌دهد. طباطبائی و همکاران (1383) تغییرات زمانی ضرایب معادله کوستیاکف را شبیه‌سازی کردند. در این تحقیق ضرایب نفوذ با استفاده از روش ورودی و خروجی و دو نقطه‌ای الیوت و واکر انجام گردید. نتایج نشان داد که مقادیر نفوذ طی فصل رشد تغییرات معنی‌داری داشته و با مدل لگاریتمی قابل شبیه‌سازی است. هالزافل و همکاران (2004) پارامترهای نفوذ را در آبیاری جویچه‌ای، مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که نفوذ آب در جویچه تحت تاثیر عواملی چون شکل جویچه، اندازه جویچه و سطح تماس آب با خاک قرار می‌گیرد.

دوان و همکاران (2010) در مقایسه کارآیی مدل‌های کوستیاکف، کوستیاکف-لوئیس، SCS، فیلپ و هورتون در برآورد نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ، مدل کوستیاکف-لوئیس و هورتون را دقیق‌تر یافتند. بررسی

¹ Soil Conservation Service

آبیاری متوالی در روش‌ها و بافت‌های مختلف و همچنین آنالیز حساسیت ضرایب معادله نفوذ نسبت به تغییر پارامترهای اندازه‌گیری ورودی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق چهار روش تعیین ضرایب معادله فیلیپ شامل راولز (1992)، روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (1993)، روش کلمنز و باتیستا (2009) و روش اصلاح شده ویبو و همکاران (2012) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی این روش‌ها علاوه بر انجام آزمایش‌های صحرایی که در سال 1391 در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام گرفت. برای تکمیل

اطلاعات از دو مجموعه اطلاعات صحرایی پایان‌نامه قبادی‌نیا (1383) و رساله طباطبائی (1383) نیز استفاده شده است. در این تحقیق بافت خاک به روش هیدرومتری، جرم مخصوص حقیقی خاک به روش پیکنومتر و جرم مخصوص ظاهری خاک، با استفاده از نمونه‌ی دست نخورده، تعیین گردید. همچنین برای تعیین دبی ورودی و خروجی از روش فلوم WSC تیپ یک و دو و برای تعیین مشخصات هندسی جویچه از روش مقطع سنجی استفاده گردید. مشخصات فیزیکی خاک‌های مناطق آزمایش و جویچه‌های آزمایشی برای سه سری داده به ترتیب در جداول 1 و 2 آمده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه.

منبع	چگالی حقیقی (g/cm ³)	چگالی ظاهری (g/cm ³)	کلاس بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	سری داده
طباطبائی (۱۳۸۳)	۲/۶	۱/۵۳	لوم‌شنی	۱۵	۳۵	۶۰	A
قبادی‌نیا (۱۳۸۳)	۲/۵	۱/۴	شنی لوم رسی	۲۱/۵	۱۶/۵	۶۲	B
رضایی پور (داده‌های اندازه‌گیری ۱۳۹۱)	۲/۵۸	۱/۴۱	لومی	۱۷/۲	۳۹/۹	۴۲/۹	C

جدول ۲- مشخصات کلی جویچه‌های مورد مطالعه.

علامت اختصاری	دبی ورودی (L/s)	شیب جویچه (%)	عرض جویچه (m)	طول جویچه (m)	محل تحقیق	سری داده
TSL	۱/۳-۱/۵	۰/۱۱	۰/۷۵	۶۰	اصفهان	A
GCLS	۰/۶	۱	۰/۵۵	۲۵۰	کرج	B
RL90	۰/۴	۱/۵	۰/۵۲	۹۰	شهرکرد	C
RL50	۰/۴	۱/۵	۰/۵۲	۵۰	شهرکرد	C

$$I = St^{0.5} + At \quad [1]$$

که در آن I نفوذ تجمعی (cm)، A ضریب انتقال‌دهی (cm/min) و S ضریب جذبی (cm/min^{۱/۲}) می‌باشد.

تئوری تحقیق

فیلیپ (1957) با استفاده از معادله ریچاردز¹ و حل نیمه تحلیلی آن در حالت یک بعدی معادله‌ای برای نفوذ آب به خاک به صورت افقی و عمودی به شکل زیر ارائه کرد:

¹ Richards

روش راولز

راولز (1992) برای محاسبه پارامترهای معادله نفوذ فیلیپ بر اساس بافت خاک و تخلخل معادله زیر را ارائه نمود.

$$S = \sqrt{2(\phi - \theta_i)} K_s S_f \quad [2]$$

$$S_f = \exp \left[\begin{array}{l} 6.53 - 7.326(\phi) + 0.00158(C^2) + 3.809(\phi^2) + \\ 0.000344(Sa)(C) - 0.04989(Sa)(\phi) + \\ 0.0016(Sa^2)(\phi^2) + 0.0016(C^2)(\phi^2) - \\ 0.0000136(Sa^2)(C) - 0.00348(C^2)(\phi) \\ + 0.000799(Sa^2)(\phi) \end{array} \right] \quad [3]$$

$$A = \frac{2}{3} K_s \quad [4]$$

که در آن Sa درصد شن، C درصد رس، f تخلخل، θ_i رطوبت اولیه و K_s هدایت هیدرولیکی اشباع است.

روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران

شپارد و همکاران (1993) برای تعیین معادله نفوذ در آبیاری جویچه‌ای، با استفاده از معادله فیلیپ و داده‌های پیشروی، روش یک نقطه‌ای را ارائه نمودند. این روش مشابه روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (1982) بوده با این تفاوت که مقدار نمای معادله پیشروی (r) ثابت و 0/5 فرض شده است. در این روش اندازه‌گیری پیشروی آب در طول جویچه فقط در یک نقطه و آن هم در انتهای جویچه صورت می‌گیرد. در این روش، ضرایب S و A از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$S = \frac{Q_{in} t_2 - 3c x_2}{\frac{\pi}{4} t_2^{1/2} x_2} \quad [5]$$

$$A = \frac{3c}{t_2} \quad [6]$$

که در آن، C متوسط سطح مقطع جریان در سه نقطه ابتدا، وسط و انتهای جویچه (m^2)، x_2 طول جویچه

(m)، t_2 زمان پیشروی (min) در فاصله x_2 و Q دبی ورودی به جویچه (m^3/min) می‌باشد.

در این مقاله برای اختصار روش شپارد بیان می‌شود.

روش کلمنز و باتیستا

کلمنز و باتیستا (2009) روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (1982) را تصحیح کردند. این روش برای معادله فیلیپ، مشکلات روش دو نقطه‌ای برای محاسبه a و k را در معادله کوستیاکف- لوئیس ندارد و برآورد بهتری از توابع پارامتر ریاضی و داده‌های نفوذ را ارائه می‌کند. معادله نفوذ پیشنهادی، به شکل زیر است.

$$I = St^{0.5} + At + c \quad [7]$$

این معادله بین معادله نظری فیلیپ و شرایط واقعی مزرعه تطابق برقرار می‌کند. پیشروی آب در جویچه توسط معادله زیر تعیین می‌شود.

$$t_x = px^h \quad [8]$$

در معادله فوق p و h ضرایب تجربی هستند. با حل معادلات 9 و 10 ضرایب معادله نفوذ به دست می‌آید.

$$Q_{in} t_1 = \sigma_y A_y x_1 + c W x_1 + \sigma_{z1} S t_1^{1/2} W x_1 + \sigma_{z2} A t_1 W x_1 \quad [9]$$

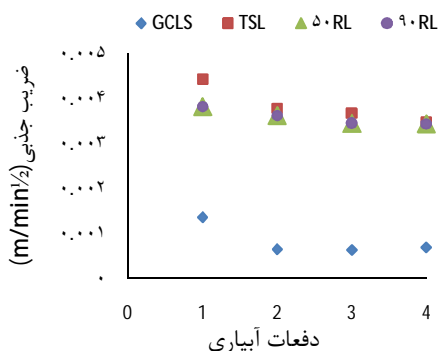
$$Q_{in} t_2 = \sigma_y A_y x_2 + c W x_2 + \sigma_{z1} S t_2^{1/2} W x_2 + \sigma_{z2} A t_2 W x_2 \quad [10]$$

که در آن Q_{in} دبی ورودی (m^3/min)، t زمان پیشروی (min) در فاصله x ، A_y سطح مقطع جریان (m^2)، W عرض جویچه (m)، p و h ضرایب معادله پیشروی، σ_y فاکتور شکل سطحی، σ_z فاکتور شکل زیر سطحی، c ضریب درز و شکاف، S و A به ترتیب ضریب جذبی ($m/min^{1/2}$) و انتقال‌دهی (m/min) هستند. برای حل معادله در ابتدا با فرض $c=0$ و $A=0$ مقدار S از رابطه 10 بدست می‌آید و با جایگزینی در معادله 9 مقدار t_1 محاسبه شده و با مقدار زمان پیشروی اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه می‌شود و اگر زمان محاسبه شده کمتر از زمان

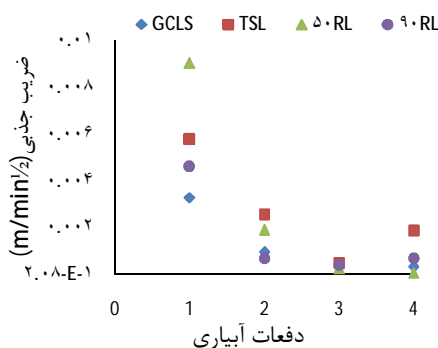
(بی نام 2004) شبیه سازی و با نتایج مزرعه ای مقایسه گردید. مدل SURFACE با استفاده از مدل هیدرودینامیک شبیه سازی را انجام می دهد. همچنین تغییرات ضرایب معادله فیلیپ و نفوذ پایه طی چهار رویداد آبیاری متوالی و حساسیت ضرایب معادله فیلیپ به پارامترهای ورودی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

با استفاده از داده های موجود ضرایب معادله نفوذ فیلیپ از روش های راولز، یک نقطه ای شپارد، کلمنز و باتیستا و ویبو و همکاران اصلاح شده محاسبه گردید. نتایج به دست آمده در شکل 1 تا 10 نشان داده شده است.



شکل 1- تغییرات ضریب جذبی (روش راولز) در آبیاری های متوالی.



شکل 2- تغییرات ضریب جذبی (روش کلمنز) در آبیاری های متوالی.

اندازه گیری شود مقدار c را افزایش داده در غیر این صورت مقدار A را افزایش داده و محاسبات را تکرار کرده تا زمانی که زمان اندازه گیری و محاسباتی با درصد خطای کمی برابر شوند. در این مقاله برای اختصار، روش کلمنز بیان می شود.

روش ویبو و همکاران

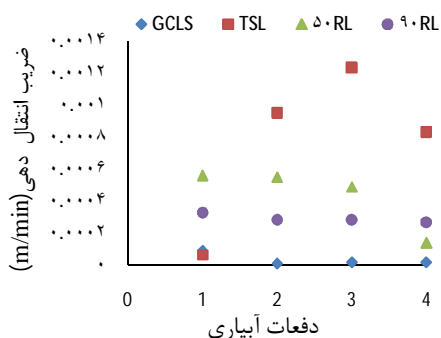
ویبو و همکاران (2012) روشی را بر اساس معادله بیلان حجم، برای برآورد پارامترهای نفوذ همراه با ضریب زبری مانینگ، برای آبیاری نواری پیشنهاد کردند. در این پژوهش روشی جهت اصلاح این معادله برای آبیاری جویچه ای پیشنهاد شد.

$$L = \frac{Q_0 t}{0.77 C_1 \left(\frac{Q_0 n}{\sqrt{60j}} \right)^{C_2} + \sigma_z S t^{0.5} + \frac{A t}{1+r}} \quad [11]$$

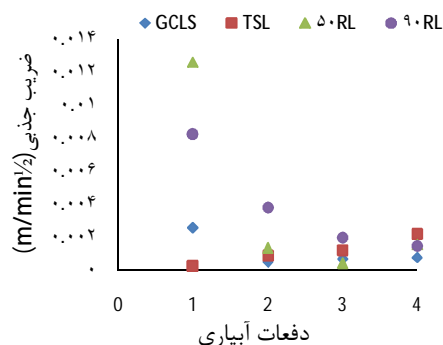
$$\sigma_z = \frac{3+r}{3(1+r)} \quad [12]$$

که در آن: Q_0 دبی ورودی (m^3/min), t زمان پیشروی (min), z شیب جویچه (m/m), r توان معادله پیشروی، n ضریب مانینگ، C_1 و C_2 ضرایب هندسی سطح مقطع، S و A به ترتیب ضریب جذبی ($m/min^{1/2}$) و انتقال دهی (m/min) هستند. پارامترهای معادله نفوذ A , S و ضریب زبری مانینگ n با معادله 11 که یک معادله غیرخطی است و برای نقاط متعدد در زمان t و فاصله L در طول مسیر پیشروی به کار برده می شود، برآورد می شوند. همچنین حل این معادله نیاز به دو شرط دارد: شرط اول $S > 0$, $A > 0$ و شرط دوم مقدار $\sum_{i=1}^N (l_{mi} - l_{ei})^2$ حداقل شود. که در آن داده های پیشروی اندازه گیری شده، l_{ei} داده های پیشروی برآورد شده و شاخص i نماینده تعداد داده های پیشروی است. این روش توسط نگارندگان برای جویچه اصلاح شد. که در این تحقیق برای اختصار روش ویبو اصلاح شده بیان می شود.

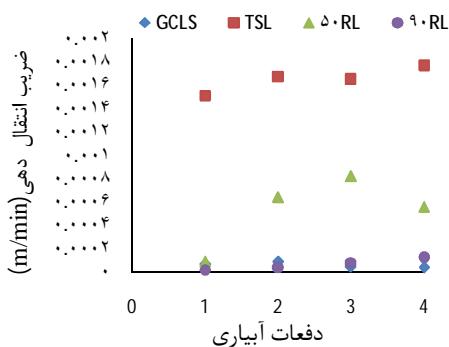
پس از محاسبه ضرایب معادله نفوذ از چهار روش، زمان پیشروی با استفاده از مدل SURFACE



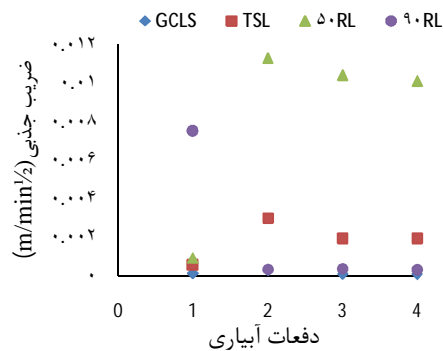
شکل 6- تغییرات ضریب انتقال دهی (روش کلمنز) در آبیاری‌های متوالی.



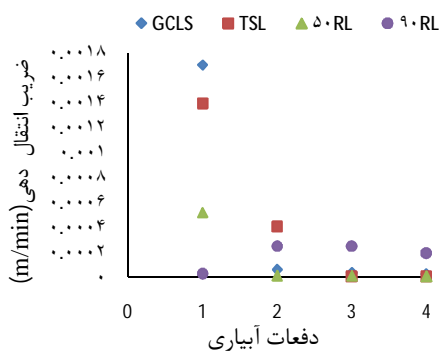
شکل 3- تغییرات ضریب جذبی (روش شپارد) در آبیاری‌های متوالی.



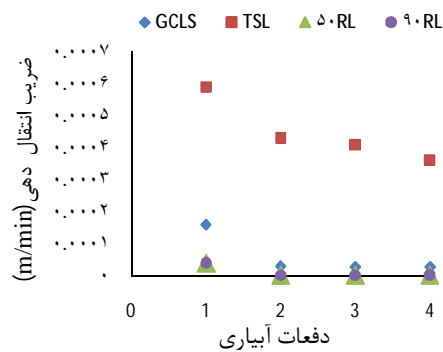
شکل 7- تغییرات ضریب انتقال دهی (روش شپارد) در آبیاری‌های متوالی.



شکل 4- تغییرات ضریب جذبی (روش ویبو اصلاح شده) در آبیاری‌های متوالی.



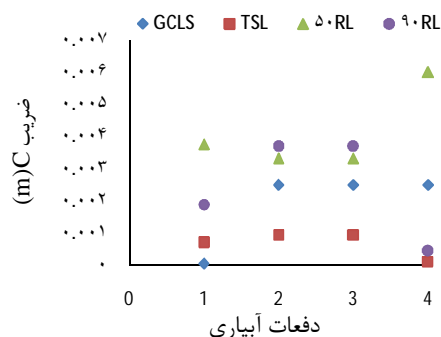
شکل 8- تغییرات ضریب انتقال دهی (روش ویبو اصلاح شده) در آبیاری‌های متوالی.



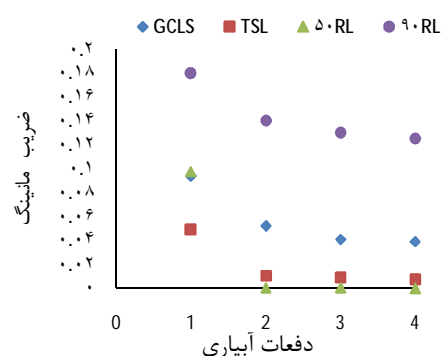
شکل 5- تغییرات ضریب انتقال دهی (روش راولز) در آبیاری‌های متوالی.

سپس کاهش می‌باشد. علت آن را می‌توان به برآورد بیش از حد ضریب مانینگ در آبیاری‌های اول نسبت داد. ضریب جذبی در روش ویبو اصلاح شده از روند خاصی پیروی نمی‌کند. بر اساس نتایج به دست آمده تغییرات ضریب جذبی طی چهار آبیاری در روش‌های کلمنز، یک نقطه‌ای شپارد، راولز در داده‌های RL90 به ترتیب 85، 82 و 10 درصد و در داده‌های GCLS به ترتیب برابر 74، 65 و 54 درصد و در روش کلمنز و راولز، در داده‌های TSL به ترتیب 65 و 22 درصد کاهش داشته است. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد بیشترین تغییرات مربوط به روش کلمنز و کمترین آن‌ها مربوط به روش راولز است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف بین ضریب جذبی در یک روش در رویدادهای مختلف آبیاری بین آبیاری اول و دوم است و از آبیاری دوم به بعد این تغییرات کم می‌شود به گونه‌ای که می‌توان از آبیاری چهارم به بعد، مقدار ضریب جذبی را ثابت و برابر با آبیاری چهارم در نظر گرفت. معادله برآورد شده تغییرات زمانی ضریب جذبی در جدول 3 آورده شده است.

در شکل‌های 5 تا 8 تغییرات زمانی ضریب انتقال‌دهی در داده‌های مورد بررسی نشان داده شده است. بر اساس نتایج تغییرات ضریب انتقال‌دهی طی چهار آبیاری در داده‌های TSL و GCLS در روش‌های یک نقطه‌ای شپارد، راولز و ویبو اصلاح شده از یک روند نمایی کاهش پیروی می‌کند. این تغییرات در روش کلمنز از روند خاصی پیروی نمی‌کند. این تغییرات در داده‌های RL90 و RL50 به ترتیب در روش یک نقطه‌ای شپارد و ویبو اصلاح شده از یک روند نمایی کاهش پیروی می‌کند. بر اساس نتایج به دست آمده تغییرات ضریب انتقال‌دهی طی چهار آبیاری در داده‌های RL90 و GCLS و TSL در روش راولز، به ترتیب 92 و 83 و 22 درصد و در روش یک نقطه‌ای شپارد به ترتیب 82/5 افزایش و 83/2 و 58/2 درصد کاهش داشته است. این تغییرات در روش ویبو اصلاح شده در داده‌های RL50،



شکل 9- تغییرات ضریب C (روش کلمنز) در آبیاری‌های متوالی.



شکل 10- تغییرات ضریب مانینگ (روش ویبو اصلاح شده) در آبیاری‌های متوالی.

شکل‌های 1 تا 4 تغییرات ضریب جذبی را از آبیاری اول تا چهارم در روش‌ها و برای بافت‌های مختلف، نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل در داده‌های TSL تغییرات ضریب جذبی در روش راولز یک روند کاهش داشته است. در سه روش دیگر از روند خاصی پیروی نمی‌کند. در داده‌های GCLS در تمامی روش‌ها تغییرات ضریب جذبی طی چهار آبیاری کاهش یافته است. این روند، خطی نبوده و در روش‌های راولز، یک نقطه‌ای شپارد و کلمنز یک روند توانی کاهش را به خوبی توصیف می‌کند. در داده‌های RL90 و RL50 تغییرات ضریب جذبی در روش یک نقطه‌ای شپارد، راولز و کلمنز یک روند کاهش نمایی را برآورد می‌کند. تغییرات ضریب جذبی در روش ویبو اصلاح شده در تمامی داده‌های مورد بررسی، ابتدا به صورت افزایشی و

به محدوده به دست آمده در تحقیق رضانی‌اعتدالی و همکاران می‌باشد. برای بررسی توانایی معادلات نفوذ به دست آمده از روش‌های مختلف به منظور شبیه‌سازی پیشروی آب در جویچه از نرم‌افزار SURFACE استفاده شد. با مقایسه نتایج حاصل و داده‌های برداشت شده صحرائی، میزان مجموع مربعات خطا محاسبه گردید. میانگین خطای شبیه‌سازی در شکل 11 نشان داده شده است. بر اساس مقایسه مقادیر جذر میانگین مربعات خطا معادله برآورد شده ضریب انتقال‌دهی در جدول 4 آورده شده است. با توجه به جداول 3 و 4، روش راولز به دلیل اینکه مستقل از سرعت پیشروی جریان آب در جویچه است، همبستگی بالاتری نسبت به سایر روش‌ها دارد و معادله نفوذ رویدادهای مختلف آبیاری توسط این روش قابل پیش‌بینی است. در جداول Ie نشانگر رویدادهای آبیاری است.

جدول 4- معادله برآورد شده برای ضریب انتقال‌دهی معادله فیلپ بر حسب دفعات آبیاری در روش‌های مختلف.

روش	سری داده	مدل برآورد شده	R ²
راولز	GCLS	$A=0.000313Ie^{-1.82}$	0.93
	RL90	$A=0.0074Ie^{-0.083}$	0.93
	TSL	$A=0.00078Ie^{-0.35}$	0.96
یک نقطه‌ای شپارد	GCLS	$A=0.005Ie^{-0.94}$	0.93
	RL90	$A=0.0074Ie^{-0.083}$	0.94
	TSL	$A=0.00175Ie^{-0.57}$	0.91
ویبو اصلاح شده	GCLS	$A=0.001Ie^{-3.06}$	0.89
	RL90	$A=0.00052Ie^{-4.94}$	0.98
	TSL	$A=0.00285Ie^{-0.083}$	0.82

برای داده‌های TSL از بین چهار روش مورد بررسی، روش ویبو و همکاران اصلاح‌شده با مقدار RMSE برابر 1/02 متر، برآورد بهتری از زمان پیشروی داشته است. مقدار RMSE در روش راولز، یک نقطه‌ای شپارد و کلمنز به ترتیب 2/3، 2/4 و 3/8 متر می‌باشد. بنابراین هر چهار روش برای این مزرعه برآورد مناسبی از زمان پیشروی داشته‌اند. در داده‌های GCLS روش

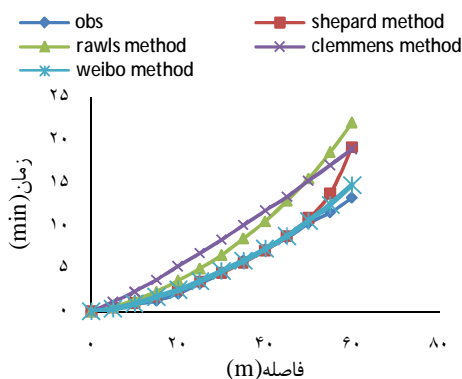
GCLS و TSL به ترتیب 98/6، 98/5 و 99/9 درصد کاهش داشته است. به این ترتیب بیشترین تغییرات مربوط به روش ویبو اصلاح‌شده است. ضریب انتقال‌دهی تابعی از هدایت هیدرولیکی اشباع یا نفوذ نهایی است بنابراین انتظار می‌رود که با افزایش رویداد آبیاری¹، مقدار این ضریب کاهش یابد و در نهایت به مقدار ثابتی برسد. در این مورد نیز مانند ضریب جذب می‌توان مقدار ضریب انتقال‌دهی را از آبیاری چهارم به بعد ثابت و برابر آبیاری چهارم در نظر گرفت. طباطبائی (1383) و اسفندیاری و ماهشوراری (1997) در مطالعات خود گزارش نمودند که نفوذ پایه از آبیاری چهارم به بعد ثابت می‌شود. نتایج این تحقیق با نتایج محققین فوق تطابق دارد. همچنین تغییرات زمانی ضریب c معادله کلمنز در رویدادهای آبیاری از روند خاصی پیروی نمی‌کند.

جدول 3- معادله برآورد شده برای ضریب جذبی معادله فیلپ بر حسب دفعات آبیاری در روش‌های مختلف.

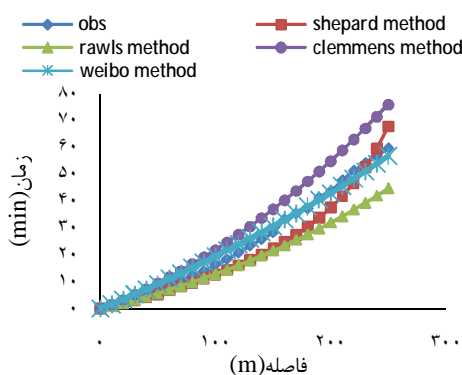
روش	سری داده	مدل برآورد شده	R ²
راولز	RL90	$S=0.00736Ie^{-0.08}$	0.96
	GCLS	$S=0.003Ie^{-0.85}$	0.81
	TSL	$S=0.005Ie^{-0.17}$	0.968
یک نقطه‌ای شپارد	RL90	$S=0.008Ie^{-1.27}$	0.994
	RL50	$S=0.008Ie^{-1.88}$	0.63
	GCLS	$S=0.002Ie^{-0.77}$	0.85
کلمنز	RL90	$S=0.003Ie^{-1.5}$	0.76
	RL50	$S=0.012Ie^{-3.62}$	0.995
	GCLS	$S=0.005Ie^{-1.61}$	0.991

رضانی‌اعتدالی و همکاران (1388) در تحقیقی مقدار ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای را توسط مدل EVALUE تخمین زدند. نتایج نشان داد که مقدار ضریب زبری برآوردشده بین 0/02 تا 0/1 متغیر است. با توجه به نتایج حاصل در شکل 10، مقدار ضریب مانینگ به دست آمده در روش ویبو اصلاح شده نزدیک

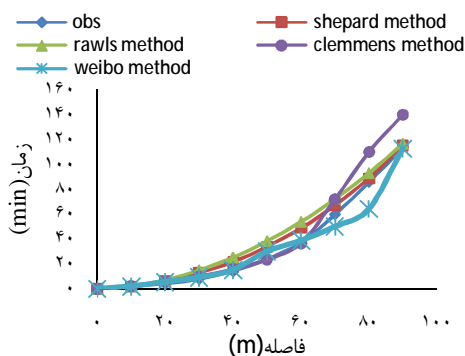
¹ Irrigation event



شکل 12- منحنی‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پیشروی آب در جویچه در داده‌های TSL در آبیاری دوم.

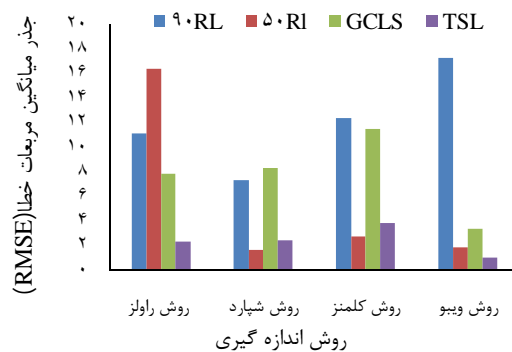


شکل 13- منحنی‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پیشروی آب در جویچه در داده‌های GCLS در آبیاری دوم.



شکل 14- منحنی‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پیشروی آب در جویچه در داده‌های RL90 در آبیاری دوم

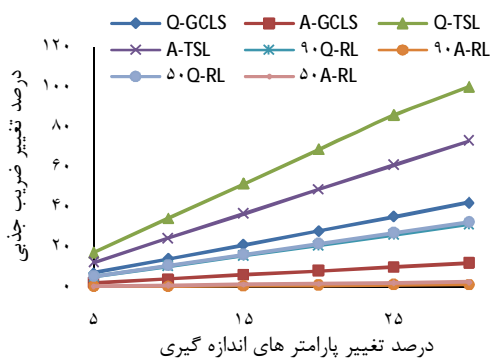
ویو اصلاح شده با RMSE برابر $3/4$ متر برآورد بهتری از زمان پیشروی داشته است. همچنین روش راولز و یک نقطه‌ای شپارد با RMSE به ترتیب $7/8$ و $8/3$ متر در چهار آبیاری، برآورد خوبی از زمان پیشروی داشتند. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا در داده‌های RL50، در روش‌های ویو اصلاح شده و یک نقطه‌ای شپارد به ترتیب $1/6$ و $1/85$ متر می‌باشد. در نتیجه این دو روش ضرایب معادله نفوذ را مناسب‌تر از روش راولز و کلمنز برآورد می‌نمایند. روش راولز زمان پیشروی را بیش از زمان پیشروی داده‌های مشاهداتی برآورد کرده است. در داده‌های RL90، روش یک نقطه‌ای شپارد با RMSE برابر $7/9$ متر، نسبت به دو روش دیگر برآورد بهتری از زمان پیشروی داشته است. بر اساس نتایج در تمامی داده‌های مورد بررسی به جزء داده‌های RL90، روش ویو اصلاح شده برآورد بهتری از زمان پیشروی داشته است. روش‌های یک نقطه‌ای شپارد و راولز در رتبه‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند. با توجه به نتایج حاصل با افزایش طول جویچه‌ها، منحنی شبیه‌سازی از منحنی واقعی فاصله می‌گیرد و در نتیجه میزان خطای مجموع مربعات افزایش می‌یابد.



شکل 11- جذر میانگین مربعات خطا در روش‌های مختلفی چهار آبیاری.

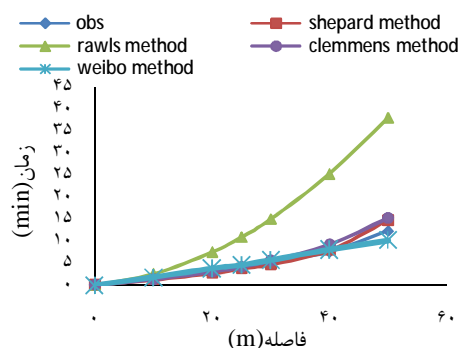
در شکل 12 تا 15 برای نمونه، زمان اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در چهار روش تعیین نفوذ برای چهار سری داده در آبیاری دوم آورده شده است.

به ترتیب 35/7 و 71/4 درصد و در داده‌های GCLS به ترتیب 18 و 37 درصد و در داده‌های RL90 به ترتیب 0/44 و 0/89 درصد تغییر می‌کند. ضریب A به ازای 10 و 20 درصد تغییر سطح مقطع در هر سه سری خاک مورد مطالعه به ترتیب 10 و 20 درصد تغییر داشته است. می‌توان بیان نمود که تغییرات ضرایب در اثر تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری خطی می‌باشد.



شکل ۱۶- تغییرات ضریب جذبی به ازای درصد تغییر پارامترهای اندازه‌گیری در آبیاری اول در روش یک نقطه‌ای شپارد.

ب- بررسی تغییرات ضرایب معادله نفوذ در روش راولز با تغییر هر یک از پارامترهای ورودی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای، شامل رطوبت اولیه و هدایت هیدرولیکی، درصد تغییرات ضرایب نفوذ بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ضرایب جذبی معادله فیلیپ بیشترین حساسیت را در داده‌های RL90 و TSL به هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) و در داده GCLS به رطوبت اولیه (q) داشته است (شکل ۱۷). با توجه به رابطه 4 تغییرات رطوبت اولیه روی ضریب انتقال‌دهی معادله فیلیپ تأثیری نداشته است. ضریب جذبی به ازای 10 درصد تغییر رطوبت اولیه در داده‌های TSL، GCLS و RL90 به ترتیب 1/5، 9/2 و 0/81 درصد تغییر داشته است. همچنین به ازای 10 درصد تغییر هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)، ضریب جذبی (S) و ضریب انتقال‌دهی (A) در هر سه سری بافت خاک به



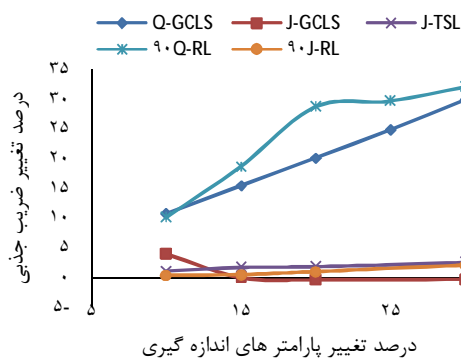
شکل ۱۵- منحنی‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پیشروی آب در جویچه در داده‌های RL50 در آبیاری دوم.

آنالیز حساسیت

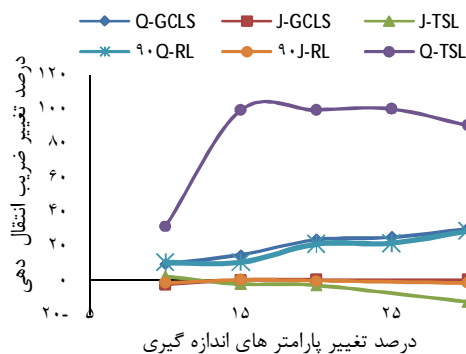
الف- بررسی تغییرات ضرایب معادله نفوذ در روش یک نقطه‌ای شپارد

با تغییر هر یک از پارامترهای ورودی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای، شامل دبی جریان و سطح مقطع، درصد تغییرات ضرایب نفوذ بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ضریب جذبی معادله فیلیپ بیشترین و کمترین حساسیت را در هر سه سری خاک مورد مطالعه به ترتیب نسبت به دبی (Q) و سطح مقطع (A) داشته است (شکل ۱۶). نتایج این تحقیق با نتایج اسفندیاری و ماهشواری (2000) و بابازاده (1382) تطابق دارد هرچند که محققان فوق روی مدل SIRMOD کار نموده بودند و این تحقیق روی مدل SURFACE می‌باشد اما اساس هر دو مدل یکی است. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج زیرهان و همکاران (1996) تطابق دارد. در نتیجه در اندازه‌گیری‌های صحرائی، باید دبی ورودی را با دقت بیشتری اندازه‌گیری نمود. با توجه به رابطه 6 تغییرات دبی ورودی روی ضریب انتقال‌دهی معادله فیلیپ تأثیری نداشته است. ضریب جذبی به ازای 10 و 20 درصد تغییر دبی در خاک لوم‌شنی به ترتیب 45/7 و 91/4 درصد و در خاک شنی لوم‌رسی به ترتیب 28 و 57 درصد و در خاک لوم به ترتیب 10/4 و 20/4 درصد تغییر داشته است. همچنین به ازای 10 و 20 درصد تغییر سطح مقطع، ضریب جذبی در خاک لوم‌شنی

افزایش شیب تأثیر بیشتری روی ذخیره سطحی داشته در نتیجه با ثابت بودن پارامترهای دیگر دبی ورودی تأثیر بیشتری روی ضرایب معادله فیلیپ داشته است. نتایج این تحقیق با نتایج اسفندیاری و ماهشورای (2000) و بابازاده (1382) تطابق دارد.



شکل 18- تغییرات ضریب جذبی به ازای درصد تغییر پارامترهای اندازه‌گیری در آبیاری اول در داده‌های مورد بررسی در روش ویبو اصلاح شده.

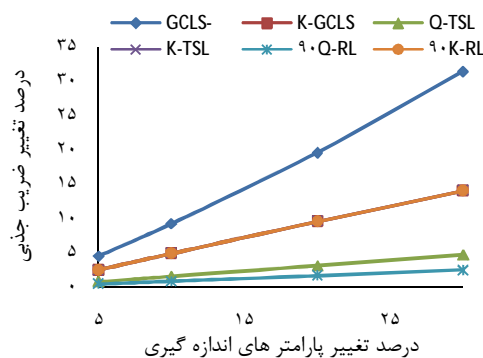


شکل 19- تغییرات ضریب انتقال‌دهی به ازای درصد تغییر پارامترهای اندازه‌گیری در آبیاری اول در داده‌های مورد بررسی در روش ویبو اصلاح شده.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق ضرایب معادله فیلیپ در روش‌های مختلف و در بافت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مقادیر جذر میانگین مربعات خطا محاسبه گردید. نتایج نشان داد که روش ویبو اصلاح شده در کلیه داده‌های مورد بررسی، به طور میانگین برآورد

ترتیب 4/8 و 10 درصد تغییر داشتند. تغییرات ضریب جذبی و ضریب انتقال‌دهی در داده‌های RL50 و RL90 به ازای تغییرات رطوبت اولیه و هدایت هیدرولیکی به دلیل اینکه طول جویچه در روش راولز تأثیر گذار نمی‌باشد یکسان بود.



شکل 17- تغییرات ضریب جذبی به ازای درصد تغییر پارامترهای اندازه‌گیری در آبیاری اول در داده‌های مورد بررسی در روش راولز.

ج- بررسی تغییرات ضرایب معادله نفوذ در روش ویبو اصلاح شده

با تغییر هر یک از پارامترهای ورودی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای، شامل دبی ورودی و شیب جویچه، درصد تغییرات ضرایب نفوذ بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ضریب جذبی و ضریب انتقال‌دهی معادله فیلیپ بیشترین حساسیت را در داده‌های RL90، TSL، RL90 به دبی ورودی (Q) داشته است (شکل‌های 18 و 19). ضریب جذبی به ازای 10 درصد تغییر دبی ورودی در داده‌های TSL، GCLS و RL90 به ترتیب 165، 10/8 و 10/1 درصد و به ازای 10 درصد تغییر شیب به ترتیب 1/1، 3/9 و 0/47 درصد تغییر داشته است. همچنین ضریب انتقال‌دهی به ازای 10 درصد تغییر دبی ورودی در داده‌های TSL، GCLS و RL90 به ترتیب 32، 9/5 و 10/5 درصد و به ازای 10 درصد تغییر شیب به ترتیب 2/4، 2/4 و 1/4 درصد تغییر داشته است. با توجه به معادله 11، افزایش دبی نسبت به

و در روش راولز دارای یک روند کاهشی است. بر اساس نتایج آنالیز حساسیت، در روش یک نقطه‌ای شپارد و اصلاح شده دبی ورودی و در روش راولز هدایت هیدرولیکی اشباع بیشترین تأثیر را روی ضریب‌جذبی داشتند. بنابراین توصیه می‌شود که این پارامترها با دقت بیشتری اندازه‌گیری شوند. در روش یک نقطه‌ای شپارد، راولز و ویو اصلاح شده به ترتیب سطح مقطع، هدایت هیدرولیکی و دبی ورودی بیشترین تأثیر را روی ضریب انتقال‌دهی داشتند.

بهتری از زمان پیشروی داشته است. با توجه به قابل قبول بودن مقادیر جذر میانگین مربعات خطای به دست آمده در روش راولز در سری داده‌های مورد مطالعه و به دلیل اینکه اندازه‌گیری پارامترهای ورودی به زمان کمتری نسبت به روش‌های دیگر نیاز دارد. این روش برای تعیین ضرایب معادله نفوذ مناسب می‌باشد. تغییرات ضریب جذبی در روش‌های راولز، یک نقطه‌ای شپارد و کلمنز یک روند نمایی کاهشی را به خوبی برآورد می‌کند. این تغییرات در روش ویو از روند خاصی پیروی نمی‌کند. همچنین تغییرات ضریب انتقال‌دهی در روش ویو اصلاح شده، یک نقطه‌ای شپارد

منابع مورد استفاده

- بابازاده ح، 1382. ارزیابی عملکرد مزرعه‌ای مدل SIRM. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران.
- رحیمی ا، کشکولی ح، 1385. ارزیابی و تعیین ضرایب مدل‌های نفوذ آب در خاک در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- رضائی‌اعتدالی ه، لیاقت ع و عباسی ف، 1388. ارزیابی مدل EVALUATE برای تخمین ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد 10، شماره 3. صفحه‌های 83 تا 94.
- طباطبائی س ح، 1383. تغییرات زمانی معادله نفوذ آب در خاک در آبیاری جویچه‌ای متأثر از بافت خاک و شرایط مدیریتی مزرعه. پایان‌نامه دکتری علوم و مهندسی آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- طباطبائی س ح، فرداد ح، نیشابوری مر و لیاقت ع، 1383. تغییرات زمانی و مکانی مقطع جریان در آبیاری جویچه‌ای. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره 2. صفحه‌های 171 تا 179.
- قبادی‌نیا م، 1383. آبیاری موجی با تغییرات دبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- محمدی مح و رفاهی ح ق، 1384. تخمین پارامترهای معادلات نفوذ توسط خصوصیات فیزیکی خاک. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد 36، شماره 6. صفحه‌های 1398 تا 1391.
- Anonymous, 2004. SURFACE irrigation simulation, evaluation and design software. Natural Resources Conservation Service. USA.
- Bhardwaj A and Singh R, 1992. Development of a portable rainfall simulator infiltrometer for infiltration, runoff and erosion studies. Agricultural Water Management, 22(3):235-248.
- Clemmens A and Bautista E, 2009. Toward physically based estimation of surface irrigation infiltration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 135(5): 588-596.
- Duan R, Fedler CB and Borrelli J, 2010. Field evaluation of infiltration models in lawn soils. Irrigation Science, 29(5): 379-389.
- Elliott RL and Walker WR, 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Transactions of the ASABE, 25(2): 396 - 400
- Esfandiari M and Maheshwari BL, 2000. Sensitivity of a furrow irrigation model to input parameters. International Agricultural Engineering Journal, 9(3-4):117-128.
- Ghorbani-Dashtaki Sh, Homae M, Mahdian MH and Kouchakzadeh M, 2009. Site-dependence performance of infiltration models. Water Resources Management, 23(13): 2777-2790.

- Holzappel EA, Jara J, Zuniga C, Marino MA, Paredes J and Billib M, 2004. Infiltration parameters for furrow irrigation. *Agricultural Water Management*, 68(1): 19-32.
- Maheshwari BL and McMahon TA, 1993. Performance evaluation of border irrigation models for south-east Australia: Part 2, overall suitability for field applications. *Agricultural Engineering Research*, 54(2):127-139.
- Philip JR, 1957. The theory of infiltration: 1. the infiltration equation and its solution. *Soil Science*, 83(5):345- 358
- Raghuwanshi N and Wallender WW, 1997. Economic optimization of furrow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123(5): 377-385.
- Rawls WJ, Ahuja LR, Brakensiek DL and Shirmohammadi A, 1993. Infiltration and Soil Water Movement. In: Maidment DR (ed.). *Handbook of Hydrology*. Chapter 5. McGraw-Hill Professional. New York. USA.
- Ruan H, Ahuja LR, Green TR and Benjamin JG, 2001. Residue cover and surface-sealing effects on infiltration, Numerical simulations for field applications, *Soil Science Society of American Journal* 65(3):853-861.
- Shepard Js, Wallender WW and Hopmans JW, 1993. One-point method for estimating furrow infiltration. *Transactions of the ASABE* 36(2): 395-404.
- SY NL, 2006. Modeling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network. *Hydrology Sciences Journal* 51(1): 229-240.
- Valiantzas JD, 2010. New linearized two-parameter infiltration equation for direct determination of conductivity and sorptivity. *Journal of Hydrology* 384(1-2): 1-13.
- Weibo N, Liangjun F and Xiaoyi MA, 2012. Estimated infiltration parameters and manning roughness in border irrigation. *Irrigation and Drainage Journal* 61(2). 231-239.
- Zerihun D, Feyen J and Reddy J, 1996. Sensitivity Analysis of furrow-irrigation performance parameters. *Journal of Irrigation and Drainage. Engineering* 122(1): 49- 57.