نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره4، جلد 11، مهر - آبان 1396، ص. 691-680

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 11, Oct.-Nov. 2017, p. 680-691

مطالعه و ارزیابی روش‌های توسعه‌یافته تخمین پارامترهای نفوذ در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت

سامان راستگو [1]، سینا بشارت [2*]

تاریخ دریافت: 1396/1/16 تاریخ پذیرش: 1396/3/20

چکیده

پارامترهای معادلات نفوذ، در ارزیابی و طراحی سیستم‌های آبیاری نقش اساسی دارند و به‌منظور افزایش بازده آبیاری ضروری است که با دقت فراوان تخمین‌زده شوند. در این مطالعه، روش‌های دو نقطه‌ای الیوت و واکر[3]، دو نقطه‌ای ابراهیمیان و همکاران، یک نقطه‌ای شپارد[4] و همکاران، بهینه‌سازی چندسطحی و پیشروی بنامی و افن[5] با داده‌های اندازه‌گیری شده ارزیابی و مقایسه شدند، و دقت هر یک از آن‌ها در برآورد حجم نفوذ آب به خاک و تخمین مرحله پیشروی در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت در یک خاک رسی تعیین شد. بدین منظور، جویچه‌هایی به طول 70 متر، عرض 0/75 متر، شیب تقریبی 0/0075 متر بر متر و شدت جریان ورودی برای آبیاری اول 0/9 و آبیاری‌های دوم و سوم 1/1 لیتر بر ثانیه، ایجاد گردید. نفوذ آب در جویچه‌ها با استفاده از روش ورودی - خروجی در مزرعه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که، براساس تخمین پارامترهای نفوذ، در برآورد میزان آب نفوذ یافته به خاک، روش‌های بهینه‌سازی چندسطحی و دو نقطه‌ای الیوت و واکر در آبیاری جویچه‌ای معمولی به‌ترتیب با 14/9 و 17/87 درصد و در آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت به‌ترتیب با 12/1 و 25/92 درصد دارای کم‌ترین خطای نسبی می‌باشند. و روش یک نقطه‌ای شپارد در برآورد میزان آب نفوذ یافته به خاک، در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت به‌ترتیب با 40/53 و 33/37 درصد بیش‌ترین خطای نسبی را دارد. روش بهینه‌سازی چندسطحی کم‌ترین RMSE را در برآورد حجم کل آب نفوذ یافته در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت داشت. در پیش‌بینی مرحله پیشروی با استفاده از روش‌های مختلف در آبیاری جویچه‌ای و یک در میان ثابت روش‌های یک نقطه‌ای شپارد و دو نقطه‌ای الیوت و واکر به‌ترتیب آبیاری با 18/71 و 28/91 درصد و 17/51 و 34/4 درصد دارای کم‌ترین خطای استاندارد بوده‌اند. مقایسه نتایج روش بهینه‌سازی چندسطحی با روش دونقطه‌ای الیوت و واکر نشان داد که درصد اختلاف این دو روش در برآورد حجم نفوذ آب به خاک در آبیاری جویچه‌ای معمولی کم و حدود 3 درصد می‌باشد. به همین جهت می‌توان روش بهینه‌سازی چندسطحی را برای برآورد دقیق‌تر حجم نفوذ آب در جویچه‌ها در شرایط خاک مشابه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، تخمین پارامترهای نفوذ، بهینه‌سازی چندسطحی، فاز پیشروی

مقدمه

آب یک عنصر حیاتی در تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشکی مانند ایران است؛ بنابراین بازده بهتر مصرف آب در این مناطق، مورد توجه بسیاری از محققین می‌باشد. با توجه به هزینه‌های زیاد سامانه‌های آبیاری تحت فشار، بهبود و اصلاح و مدیریت روش‌های آبیاری سطحی امری اجتناب‌ناپذیر است (عباسی، 1387). طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی (مانند جویچه‌ای) و بهبود عملیاتی آن‌ها نیازمند کمی‌سازی و تعیین خصوصیات نفوذ خاک می‌باشد (Mattar et al., 2015). از آن‌جایی که سرعت نفوذ آب در خاک، تعیین کننده زمان تداوم آبیاری برای ذخیره نمودن مقدار مشخصی آب در داخل خاک بوده، بنابراین از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. در حقیقت نفوذ آب در خاک یکی از حساس‌ترین پارامترهای هیدرولیکی موثر بر آبیاری سطحی و از مشکل‌ترین پارامترهایی است که باید برآورد شود. اهمیت دانستن معادله نفوذ جهت تشریح هیدرولیک آبیاری سطحی، همراه با مشکلات تخمین قابل اطمینان این پارامتر، به معنی صرف وقت و هزینه زیاد قبل از مرحله طراحی یک سامانه آبیاری می‌باشد (ابراهیمیان و همکاران، 1389).

1- دانشجو کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
2- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: (Email: s.besharat@urmia.ac.ir
3- Elliott and Walker
4- Shepard
5- Benami and Ofen

تقی‌زاده و همکاران (1391) سیستم آبیاری سطحی جویچه‌ای را با مدل WinSRFR (Bautista et al., 2009) مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که با مدیریت زمان قطع جریان و دبی ورودی، می‌توان راندمان کاربرد را افزایش داد. مکاری قهرودی و همکاران (1392) مدل WinSRFR را برای شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای در سه مزرعه آزمایشی بکار بردند. مقایسه نتایج مدل و داده‌های صحرایی نشان داد که مدل با دقت خوبی زمان‌های پیشروی و پسروی، فرصت و عمق نفوذ و بیلان حجمی را در جویچه‌های کوتاه تا نسبتا طولانی شبیه‌سازی نموده است.

خاطری و اسمیت به ارزیابی شش روش نفوذپذیری برای تعیین پارامترهای نفوذ در آبیاری جویچه‌ای پرداختند. روش‌های مذکور شامل روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران، استفاده از مدل رایانه‌ای INFILT، یوپادیایا و راقووانشی[1]، یک نقطه‌ای والیانتزاس[2] و همکاران، و تابع خطی نفوذ بودند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل INFILT برای همه داده‌های صحرایی بیش‌ترین دقت را داشت. همچنین به‌صورت کلی روش‌های دو نقطه‌ای الیوت و واکر و تابع خطی نفوذ نیز عملکرد خوبی داشتند (Khatri and Smith., 2005). رودریگز مطالعه‌ای، جهت ارایه یک روش برای تخمین معادلات پیشروی و نفوذ در آبیاری جویچه‌ای مطابق با دبی‌های تست شده انجام داد. روش پیشنهاد شده با آزمایش‌های مختلف مزرعه‌ای و دبی‌های غیرفرسایشی که نتایج رضایت‌بخشی داشتند، ارزیابی شد. انحراف‌های معنی‌دار زمانی‌که دبی‌های فرسایشی استفاده شد، بدست آمد. در نهایت، یک معادله برای پیش‌بینی تأثیر محیط مرطوب بر روی پارامترهای نفوذ بدست آمد (Rodriguez., 2003). پناهی و همکاران (1390) در تحقیقی برای برآورد نفوذ دوبعدی آب در جویچه با در نظر گرفتن اثرات نفوذ از لبه‌ها و محیط خیس شده آن، مدل نفوذ وریک[3] با مدل‌های کوستیاکوف- لوئیس[4]، فیلیپ[5] و HYDRUS-2D را با هم مورد مقایسه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که بیش‌ترین میانگین درصد خطا مربوط به مدل فیلیپ با روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران و کم‌ترین میانگین درصد خطا مربوط به مدل دوبعدی نفوذ وریک به‌ترتیب با مقدار 25/5 و 5/5 درصد بدست آمد. در پژوهش‌های ابراهیمیان و همکاران (1389) و اسفندیاری و ماهشواری نیز روش یک نقطه‌ای کم‌ترین دقت را داشته است (Esfandiari and Maheshwari., 1997). مقایسه درصد خطای روش یک نقطه‌ای با درصد خطای روش دو نقطه‌ای نشان می‌دهد که در دبی‌های کم، روش یک نقطه‌ای و در دبی‌های بیش‌تر روش دو نقطه‌ای درصد خطای کم‌تری دارند، و همچنین این‌که مدل وریک 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 مطابقت دارد (Warrick,et al. 2007).

اوجاقلو و همکاران (1387) پارامترهای معادله کوستیاکوف را با استفاده از چهار روش دو نقطه‌ای، یک نقطه‌ای، نقطه انتهایی، بهینه‌سازی محاسبه نموده و بیان داشتند که روش دونقطه‌ای و بهینه‌سازی برآورد مناسب‌تری از ضرایب معادله نفوذ داشته است. مطالعه دیگری، با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای، به مقایسه روش‌های بهینه‌سازی چندسطحی و موازنه حجم به منظور برآورد پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف - لوییس و ضریب زبری برای جریان ثابت و کاهشی در آبیاری جویچه‌ای پرداخت. برای پیش‌بینی حجم کل رواناب و نفوذ، خطای نسبی در روش بهینه‌سازی چندسطحی، کم‌تر از روش موازنه حجم بود (Moravejalahkami et al., 2012). در تحقیقی از دو مدل INFILT و IPARM و روش دونقطه‌ای الیوت و واکر برای برآورد پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف- لوییس برای آبیاری جویچه‌ای معمولی، یک در میان ثابت و یک در میان متغیر استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل IPARM، دقیق‌ترین و مطمئن‌ترین عملکرد را در مقایسه با روش‌های دیگر دارد (Ebrahimian., 2014). در تحقیقی دو روش تخمین پارامترهای نفوذ آبیاری جویچه‌ای، بهینه‌سازی چندسطحی بر اساس استفاده از داده‌های پیشروی، پسروی و رواناب و مدل IPARM براساس استفاده از داده‌های پیشروی و رواناب ارزیابی و با هم مقایسه شدند. چهارده واقعه آبیاری با دو دبی ورودی 0/29 و 0/44 لیتر در ثانیه در طول فصل رشد ذرت انجام شد. براساس ضرایب تخمینی معادله نفوذ کوستیاکوف لوییس، متوسط خطای نسبی برآورد حجم آب نفوذیافته مدل IPARM و بهینه‌سازی چندسطحی، به‌ترتیب 8/1 و 8/5 درصد ب دست آمد. روش IPARM کم‌تر از روش بهینه‌سازی چندسطحی خطا داشت و در مجموع، هر دو روش برای برآورد پارامترهای نفوذ، عملکرد قابل‌قبولی در آبیاری جویچه‌ای داشتند (ابراهیمیان و همکاران، 1394).

در این تحقیق ارزیابی و مقایسه روش‌های تخمین پارامترهای معادلات نفوذ کوستیاکوف و فیلیپ با روش و مدل‌های تخمین پارامترهای معادله کوستیاکوف- لوییس به‌منظور اندازه‌گیری حجم نفوذ آب به خاک و پیش‌بینی مرحله پیشروی صورت گرفت؛ و همچنین با توجه به این که نفوذ در آبیاری جویچه‌ای تابع نوع سیستم و مدیریت جریان ورودی به جویچه است؛ دو نوع سیستم آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت و نیز شرایط با جریان ورودی متفاوت در نظر گرفته شد. هدف از این تحقیق، بدست آوردن ضرایب معادلات نفوذ (کوستیاکوف- لوییس، کوستیاکوف و فیلیپ) با استفاده

1- Upadhyaya. and Raghuwanshi
2- Valiantzas
3- Warrick
4- ostiakov and Lewis
5- hilip

از پنج روش، دونقطه‌ای الیوت و واکر، دو نقطه‌ای ابراهیمیان و همکاران، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران، بهینه‌سازی چندسطحی و پیشروی بنامی و افن و ارزیابی و مقایسه این روش‌ها با یکدیگر، و تعیین دقت هر یک از آن‌ها در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال 1394 در مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه واقع در پردیس نازلو اجرا گردید. طول و عرض جغرافیایی منطقه به‌ترتیب 34 درجه و 3 ثانیه شرقی، 43 درجه و 44 ثانیه شمالی و ارتفاع از سطح دریا 1332 متر می‌باشد. این تحقیق با استفاده از روش‌های آبیاری جویچه‌ای معمولی (CFI) و آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت (FFI) انجام گرفت، و هر روش در سه آبیاری اجرا گردید؛ و برای هر آبیاری سه جویچه در نظر گرفته شد. جویچه‌های کناری هر تیمار به‌عنوان جویچه‌های محافظ (به‌منظور حذف خطای اندازه‌گیری جریان جانبی از جویچه‌های کناری) عمل کرده و اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز توسط جویچه وسط انجام شد. دبی ورودی برای آبیاری اول 0/9 و آبیاری دوم و سوم 1/1 لیتر بر ثانیه، جویچه‌ها انتها باز به طول 70 متر، عرض 75 سانتی‌متر، شیب تقریبی 0/0075 متر بر متر و بافت خاک محل آزمایش رسی می‌باشد. نفوذ جویچه‌ها با استفاده از روش ورودی و خروجی اندازه‌گیری شد، و برای اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی از فلوم‌های WSC تیپ دو استفاده گردید. مشخصات داده‌های صحرایی برای آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت در جدول 1 ارایه شده است.

معادلات نفوذ

روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (1982)

اساس این روش بر پایه معادله پیوستگی و شکل نمایی فاز پیشروی بوده و برای آبیاری جویچه‌ای توسعه یافت و سپس برای طراحی سامانه‌های آبیاری کرتی و نواری نیز مورد استفاده قرار گرفت. در این روش از دو نقطه میانی و انتهایی فاز پیشروی برای تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف- لوییس استفاده می‌شود. معادله نفوذ کوستیاکوف-لوییس به شکل رابطه 1 می‌باشد:

$$I = Kt^a + f_0 t \quad (1)$$

که در آن، I مقدار نفوذ تجمعی، t زمان و k، a و f_0 ضرایب معادله نفوذ می‌باشند.

با در نظر گرفتن رابطه توانی (رابطه 2) و لگاریتم‌گیری از طرفین رابطه و با استفاده از دو نقطه از منحنی پیشروی، ضرایب ثابت p و r قابل محاسبه هستند.

$$X = Pt^r \quad (2)$$

و در نهایت پارامترهای معادله کوستیاکوف- لوییس از روابط 3 تا 4 محاسبه می‌شوند:

$$a = \frac{log\left[\frac{Q_1 t_1}{x_1} - \overline{A_1} - \frac{f_0 t_1}{1+r}\right] - log\left[\frac{Q_2 t_2}{x_2} - \overline{A_2} - \frac{f_0 t_2}{1+r}\right]}{log\left(t_1/t_2\right)} \quad (3)$$

$$K = \frac{\left[\frac{Q_1 t_1}{x_1} - \overline{A_1} - \frac{f_0 t_1}{1+r}\right]}{\sigma_z t_1^a} \quad (4)$$

که در آن، $\overline{A}$ متوسط سطح مقطع جریان، t زمان پیشروی، Q دبی ورودی به جویچه و x طول پیشروی می‌باشد. اندیس‌های 1 و 2 در معادلات بالا به‌ترتیب مربوط به پیشروی تا نصف و تمام طول جویچه می‌باشد. σ_Z فاکتور شکل زیر سطحی بوده و از رابطه 5 بدست می‌آید:

$$\sigma_z = \frac{a+r(1-a)+1}{(1+a)(1+r)} \quad (5)$$

روش پیشروی بنامی و افن (1984)

روش پیشروی توسط بِنامی و اُفِن برای تخمین ثابت‌های معادله کوستیاکوف ارایه شده است. این روش بر مبنای پیشروی جبهه آب در طول جویچه استوار می‌باشد. در این روش، خصوصیات نفوذ و سطح مقطع در طول جویچه یکنواخت فرض می‌شود (Benami, and Ofen,. 1984). معادله نفوذ کوستیاکوف به شکل رابطه 6 می‌باشد:

جدول 1- مشخصات داده‌های صحرایی مورد استفاده در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت

پارامتر	CFI			FFI		
	CFI1	CFI2	CFI3	FFI1	FFI2	FFI3
دبی ورودی، $\mathbf{Q_0}$ (L/S)	0/9	1/1	1/1	0/9	1/1	1/1
شیب جویچه، $\mathbf{S_0}$ (m/m)	0/0075	0/0075	0/0075	0/0075	0/0075	0/0075
ضریب مانینگ، n (-)	0/04	0/04	0/04	0/04	0/04	0/04
طول جویچه، L (m)	70	70	70	70	70	70
زمان قطع جریان، $\mathbf{T_{co}}$ (min)	231	130	117	217	115	101
عرض جویچه، W (m)	0/75	0/75	0/75	0/75	0/75	0/75
حجم نفوذ یافته، ($\mathbf{m^3}$)	16/664	10/528	9/477	16/364	9/339	8/232
بافت خاک	رسی	رسی	رسی	رسی	رسی	رسی

$$I = Kt^a \quad (6)$$

در این روش از رابطه توانی به شکل رابطه 7 برای برازش به داده‌های مربوط به فاز پیشروی استفاده می‌شود:

$$t = wx^z \quad (7)$$

با برازش داده‌های دبی ورودی جریان، زمان پیشروی در فاصله x و متوسط سطح مقطع جریان از رابطه8، ضرایب m و u قابل محاسبه می‌باشند:

$$Qt - \bar{A}x = mx^u \quad (8)$$

در نهایت پارامترهای معادله کوستیاکوف (a و k) از روابط 9 و 10 بدست می‌آیند:

$$m = \frac{kw^{a+1}}{(a+1)[z(a+1)+1]} \quad (9)$$

$$u = z(a+1)+1 \quad (10)$$

روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (1993)

این روش مشابه روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر بوده با این تفاوت که مقدار نمای معادله پیشروی (r) ثابت و برابر 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. روش مذکور متوسط نفوذ در طول جویچه را با استفاده از داده‌های زمان پیشروی در انتهای جویچه، دبی ورودی، سطح مقطع جریان و معادله فیلیپ محاسبه می‌نماید (Elliott, and Walker., 1982). معادله نفوذ فیلیپ به شکل 11 می‌باشد (Philip and Farrell., 1964) :

$$I = St^{0/5} + At \quad (11)$$

که در آن، A و S ضرایب ثابت معادله فیلیپ بوده و در این روش از روابط 12 و 13 محاسبه می‌شوند:

$$S = \frac{Q_2t_2 - 3\bar{A}_2x_2}{\frac{\pi}{4}t_2^{0/5}x_2} \quad (12)$$

$$A = \frac{3\bar{A}_2}{t_2} \quad (13)$$

پارامترهای این معادلات قبلا در روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر معرفی گردیدند.

روش دو نقطه‌ای ابراهیمیان و همکاران (2010)

در این روش همانند روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (1993) از معادله فیلیپ و بیلان حجمی آب به‌منظور پیش‌بینی میزان نفوذ به داخل خاک در طول جویچه استفاده می‌شود با این تفاوت که به جای فرض r = 0/5 مقدار آن همانند فرض الیوت و واکر با استفاده از دو نقطه میانی و انتهایی داده‌های فاز پیشروی تعیین می‌گردد (Elliott and Walker., 1982). مزیت این روش نسبت به روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر در کم بودن تعداد پارامترهای معادله فیلیپ نسبت به معادله کوستیاکوف- لوییس است (Shepard et al., 1993). برای تخمین پارامترهای معادله کوستیاکوف- لوییس ابتدا باید نفوذپذیری نهایی (f_0) اندازه‌گیری شود. در حالی‌که در این روش نیازی به اندازه-گیری این پارامتر ندارد.

A و S پارامترهای معادله فیلیپ بوده و در این روش از روابط 14 و 15 بدست می‌آیند:

$$A = \frac{[(Q_2t_2 - A_2x_2)x_1^{1+\frac{1}{2r}} - (Q_1t_1 - A_1x_1)x_2^{1+\frac{1}{2r}}](1+r)p^{1/r}}{x_2^{1+1/r}x_1^{1+1/2r} - x_2^{1+1/2r}x_1^{1+1/r}} \quad (14)$$

$$S = \frac{2\Gamma\left(r+\frac{3}{2}\right)[Qt_2 - \bar{A}x_2 - \left(\frac{Ax_2^{1+\frac{1}{r}}}{(1+r)p^{\frac{1}{r}}}\right)]}{\sqrt{\pi}\Gamma(r+1)x_2(\frac{x_2}{p})^{1/2r}} \quad (15)$$

که در آن، Γ تابع گاما می‌باشد.

روش بهینه‌سازی چندسطحی

روش بهینه‌سازی چندسطحی[1] از روش‌های جدید برای تخمین پارامترهای معادله کوستیاکوف- لوییس و ضریب زبری مانینگ است که برخلاف روش‌های قبلی، از اطلاعات تمام مراحل آبیاری استفاده می‌کند (Walker., 2005). عیب این روش، نیاز به محاسبات نسبتا طولانی است. روش بهینه‌سازی چندسطحی به نوعی مدل ریاضی آبیاری سطحی برای شبیه‌سازی هیدرولیک آبیاری نیاز دارد. برای این منظور، از نرم‌افزار WinSRFR استفاده شد. این نر افزار، مدل ریاضی یک بعدی برای تحلیل و شبیه‌سازی آبیاری سطحی است که در سال 2006 توسعه یافت و از مدل‌هایی است که کاربرد زیادی در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی دارد. مدل یادشده، با دو مدل ریاضی اینرسی صفر و موج کینماتیکی محاسبات را انجام می‌دهد (Bautista et al., 2009). گفتنی است مدل اینرسی صفر، به سبب سادگی، دقت و دامنه کاربرد زیاد، مدل برتر در مدل‌سازی هیدرولیک جریان آب روی سطح خاک است و در شرایط مزرعه‌ای، دقت مدل هیدرودینامیک کامل را دارد، اما ضعف‌های آن (ناپایداری و واگرایی) را ندارد (عباسی، 1391). برخلاف روش دونقطه‌ای الیوت و واکر، f_0 نیز در این روش از داده‌های مراحل آبیاری برآورد می‌شود. علاوه بر پارامترهای نفوذ، ضریب زبری مانینگ را نیز می‌توان با این روش تخمین زد. در این روش، پارامترها با استفاده از تحلیل حساسیت، اولویت‌بندی و براساس داده‌های مزرعه‌ای (زمان‌های پیشروی و پسروی و هیدروگراف جریان خروجی) برآورد می‌شوند. حساسیت این داده‌ها به پارامترهای مختلف نفوذ متفاوت است؛ مثلا پسروی تقریبا به a و k حساس نیست، اما به n حساس است. هیدروگراف خروجی بیش‌تر تابعی از a و f_0 است. زمان پیشروی هم بیش‌تر به a وk حساس است (Walker., 2005). روش بهینه‌سازی چندسطحی، محاسبات را طی دو گام انجام می‌دهد. گام

1- Multilevel optimization

اول، تخمین اولیه برای پارامترهای مجهول است؛ مثلا k از پیشروی، a و f_0 از هیدروگراف خروجی و n از داده‌های پسروی تخمین زده شده و در گام دوم، به‌ترتیب اولویت، به روش بهینه‌سازی برآورد می‌شوند. واکر با آزمون و خطا، ترتیب تخمین k، f_0، a و n را مناسب‌ترین گزینه پیشنهاد کرد (Walker., 2005).

ارزیابی عملکرد روش‌ها

به‌منظور ارزیابی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ، حجم آب نفوذ یافته در طول جویچه با استفاده از روش‌های دو نقطه‌ای الیوت و واکر، دو نقطه‌ای ابراهیمیان و همکاران، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران، بهینه‌سازی چندسطحی و پیشروی بنامی و افن برآورد و با حجم آب نفوذ یافته که با استفاده از هیدروگراف جریان ورودی- خروجی محاسبه شد، مقایسه گردید. برای ارزیابی روش‌ها در تخمین حجم آب نفوذ یافته از معیار خطای نسبی (RE) بر حسب درصد استفاده گردید (معادله 16) (Ebrahimian et al., 2010).

$$RE = \left[\frac{V_p - V_m}{V_m}\right] \times 100 \qquad (16)$$

که در آن، Vp و Vm به‌ترتیب حجم آب نفوذ یافته تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده می‌باشد. همچنین ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای ارزیابی و مقایسه روش‌ها محاسبه شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[O_i - P_i]^2}{n}} \qquad (17)$$

که در آن‌ها، Oi مقدار اندازه‌گیری شده حجم نفوذ به روش ورودی- خروجی، Pi مقدار محاسبه شده حجم نفوذ متناظر با Oi، و n تعداد اندازه‌گیری است. همچنین به‌منظور مقایسه روش‌ها در تخمین زمان پیشروی از شاخص خطای استاندارد (SE) بر حسب درصد استفاده شد، که با توجه به رابطه 18 محاسبه گردید (Ebrahimian et al., 2010):

$$SE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}[O_i - P_i]^2/n}}{\bar{P}} \qquad (18)$$

در این رابطه، n تعداد اندازه‌گیری‌ها، Oi مقدار اندازه‌گیری شده، Pi مقدار تخمین زده شده و $\bar{P}$ متوسط مقادیر تخمین زده شده می‌باشد.

نتایج و بحث

با تعیین ضرایب مورد نیاز با استفاده از پنج روش، دو نقطه‌ای الیوت و واکر، دو نقطه‌ای ابراهیمیان و همکاران، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران، بهینه‌سازی چندسطحی و پیشروی بنامی و افن، حجم کل آب نفوذ یافته به خاک و تخمین مرحله پیشروی در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت برای هر سه آبیاری بدست آمد، و با حجم کل نفوذ آب به خاک و مرحله پیشروی اندازه‌گیری شده ارزیابی و مقایسه گردیدند. مقادیر پارامترهای تخمین زده شده برای هر رویداد آبیاری (معمولی و یک در میان ثابت) و به هر پنج روش استخراج شد، که در جداول 2 تا 6 ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت پارامترهای نفوذی که به‌وسیله‌ی روش بهینه‌سازی چندسطحی برآورد شده است، از روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر و روش پیشروی بنامی و افن نوسان کم‌تری دارد. به گونه‌ای که، محدوده ضریب a به‌ترتیب آبیاری (جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت) در روش بهینه‌سازی چندسطحی و دو نقطه‌ای الیوت و واکر (ضریب a در هر دو روش یکسان بدست آمد) 0/926- 0/547 و 0/764- 0/318، و در روش پیشروی بنامی و افن در دامنه 0/594- 0/106 و 0/474- 0/1 بدست آمد. ضریب k هم در روش بهینه‌سازی چندسطحی به‌ترتیب آبیاری دارای محدوده 0/0040- 0/0034 و 0/0046- 0/0032، و روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر و روش پیشروی بنامی و افن در آبیاری جویچه‌ای معمولی به‌ترتیب دارای محدوده 0/0014- 0/00047 و 0/0312- 0/0038، و در آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت به‌ترتیب در دامنه 0/0013- 0/00021 و 0/0283- 0/0046 مترمکعب بر دقیقه بر متر بدست آمد. این نتیجه می‌تواند تاثیر تفاوت روش‌ها در محاسبه پارامترها باشد، به گونه‌ای که در روش بهینه‌سازی چندسطحی پارامترها به‌ترتیب محاسبه می‌شوند (ابراهیمیان و همکاران، 1394).

نتایج بدست آمده از بررسی حجم آب نفوذ یافته در طول جویچه با استفاده از روش‌های مختلف، در جدول 7 ارایه شده است. این نتایج نشان می‌دهند که روش بهینه‌سازی چندسطحی با متوسط خطای نسبی (RE) 14/9 و 12/1 درصد، به‌ترتیب برای آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت دارای دقت بیش‌تری نسبت به سایر روش‌ها در تخمین حجم آب نفوذ یافته به خاک می‌باشد.

جدول2- پارامترهای معادله فیلیپ برآورد شده توسط روش دو نقطه‌ای ابراهیمیان و همکاران

FFI			CFI			
FFI3	FFI2	FFI1	CFI3	CFI2	CFI1	پارامترها
0/0011	0/0011	0/00088	0/0011	0/0011	0/00089	(m^2/min) A
0/00097	0/0011	0/01	0/001	0/00099	0/009	$(m^2/min^{0.5})$ S

جدول3- پارامترهای معادله کوستیاکوف برآورد شده توسط روش پیشروی بنامی و افن

FFI			CFI			
FFI3	FFI2	FFI1	CFI3	CFI2	CFI1	پارامترها
0/474	0/474	0/100	0/594	0/589	0/106	(−)a
0/0046	0/0051	0/0283	0/0034	0/0038	0/0312	$(m^3/min^a/m)$ K

جدول4- پارامترهای معادله فیلیپ برآورد شده توسط روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران

FFI			CFI			
FFI3	FFI2	FFI1	CFI3	CFI2	CFI1	پارامترها
0/00040	0/00035	0/00019	0/00034	0/00031	0/00017	(m^2/min) A
0/0070	0/0080	0/0110	0/0083	0/0092	0/0116	$(m^2/min^{0.5})$ S

جدول5- پارامترهای معادله کوستیاکوف- لوییس برآورد شده توسط روش بهینه‌سازی چندسطحی

FFI			CFI			
FFI3	FFI2	FFI1	CFI3	CFI2	CFI1	پارامترها
0/00059	0/00056	0/00063	0/00044	0/00041	0/00059	$(m^3/min/m)$ $\mathbf{f_0}$
0/750	0/764	0/318	0/926	0/902	0/547	(−) a
0/0032	0/0035	0/0046	0/0036	0/0040	0/0034	$(m^3/min^a/m)$ K

جدول6- پارامترهای معادله کوستیاکوف- لوییس برآورد شده توسط روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر

FFI			CFI			
FFI3	FFI2	FFI1	CFI3	CFI2	CFI1	پارامترها
0/00099	0/00099	0/00083	0/00072	0/00085	0/00085	$(m^3/min/m)$ $\mathbf{f_0}$
0/750	0/764	0/318	0/926	0/902	0/547	(−) a
0/00020	0/00021	0/0013	0/00047	0/00034	0/0014	$(m^3/min^a/m)$ K

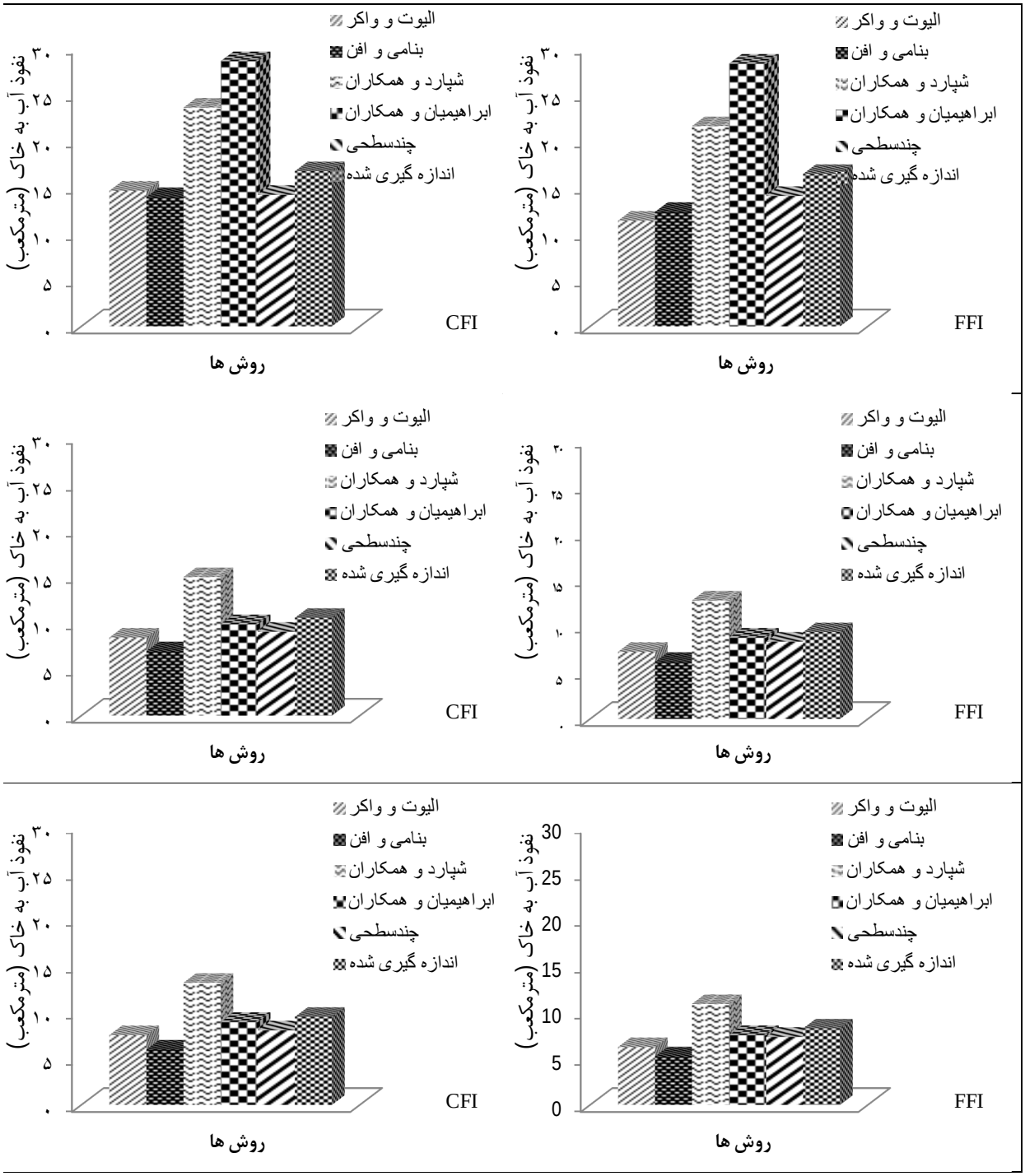
روش یک نقطه‌ای شپارد در هر دو روش آبیاری جویچه‌ای (معمولی و یک در میان ثابت) به‌ترتیب با 40/53 و 33/37 درصد متوسط خطای نسبی، ضعیف‌ترین عملکرد را در تخمین حجم آب نفوذ یافته به خاک داشته است. روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر در آبیاری

جویچه‌ای معمولی با 17/87 درصد و در آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت با 25/92 درصد عملکرد نسبتا خوبی را در تخمین حجم آب نفوذ یافته به خاک دارد. در مطالعه مروج الحکامی و همکاران از این روش برای تخمین پارامترهای نفوذ در آبیاری جویچه‌ای استفاده شد و نتایج نشان داد که روش بهینه‌سازی چندسطحی، بهتر از روش دونقطه‌ای الیوت و واکر پارامترهای نفوذ را برآورد می‌کند (Moravejalahkamiet al., 2012).

مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و تخمینی حجم کل آب نفوذ یافته توسط پنج روش ذکر شده برای آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت در شکل 1 نشان داده شده است.

جدول 7- میزان خطای نسبی در برآورد حجم آب نفوذ یافته در طول جویچه به پنج روش مختلف

خطای نسبی (درصد)								
نام روش	CFI				FFI			
	CFI1	CFI2	CFI3	میانگین	FFI1	FFI2	FFI3	میانگین
الیوت و واکر	-12/63	-20/19	-20/78	17/87	-30/66	-22/68	-24/42	25/92
شپارد و همکاران	41/02	41/77	38/81	40/53	31/43	36/60	32/09	33/37
بنامی و افن	-16/67	-34/21	-37/15	29/34	-24/90	-34/28	-36/59	31/92
ابراهیمیان و همکاران	70/94	-6/49	-5/75	27/73	72/43	-6/54	-8/62	29/20
چندسطحی	-15/24	-14/17	-15/29	14/90	-14/39	-10/90	-11/02	12/10



شکل1- مقایسه مقدار اندازه‌گیری شده و پی بینی شده حجم آب نفوذ یافته توسط روش‌های مختلف در آبیاری جویچه‌ای معمولی (CFI) و یک در میان ثابت (FFI)

با توجه به شکل 1، روش بهینه‌سازی چندسطحی کم‌ترین RMSE را در برآورد حجم کل آب نفوذ یافته در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت بدست آمده است. مقدار RMSE در آبیاری معمولی و یک در میان ثابت برای روش، دو نقطه‌ای الیوت و

واکر به‌ترتیب آبیاری 2/07 و 3/35، پیشروی بنامی و افن به‌ترتیب 3/32 و 3/46، روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران به‌ترتیب 5/15 و 3/88، روش ابراهیمیان و همکاران به‌ترتیب 6/84 و 6/86 و روش بهینه‌سازی چندسطحی به‌ترتیب 1/89 و 1/57 بدست آمد.

میزان خطای استاندارد (SE) در پیش‌بینی مراحل پیشروی در جدول 8 آورده شده است. همان‌طور که در جدول 8 ملاحظه می‌شود برای آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت، روش یک نقطه-ای شپارد و همکاران به‌ترتیب با 18/71 و 17/51 درصد بهترین عملکرد را دارد؛ و روش بهینه‌سازی چندسطحی به‌ترتیب آبیاری (جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت) با 81/27 و 59/88 درصد، ضعیف‌ترین عملکرد را داشته است. روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر در آبیاری جویچه‌ای معمولی با 28/91 درصد و در آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت با 34/40 درصد عملکرد نسبتا خوبی دارد.

همچنین نتایج بدست آمده از پیش‌بینی مرحله پیشروی برای آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت در هر سه آبیاری در شکل 2 ارایه شده است. تمام منحنی‌های پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده در نقطه انتهایی همگرا می‌باشند (Ebrahimian et al., 2010). به‌طور کلی در این مطالعه، در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران و روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر به‌ترتیب در پیش‌بینی مرحله پیشروی دقت خوبی داشته‌اند. و روش بهینه‌سازی چندسطحی در پیش‌بینی مرحله پیشروی عملکرد ضعیفی را دارد.

تصور می‌شود که مقدار "r" در معادله ($X = Pt^r$) برای روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ و داده‌های اندازه‌گیری شده یک مقدار ثابت می‌باشد، در حالی‌که مقدار واقعی "r" در هر آبیاری مقداری متفاوت می‌باشد؛ می‌توان مقادیر بدست آمده "r"، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده توسط روش‌های مختلف را مورد مقایسه قرار داد (Ebrahimian et al., 2010). مقادیر بدست آمده "r"، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده توسط روش‌های مختلف در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت در جدول 9 ارایه شده است. همان‌طور که در جدول 9 مشاهده می‌شود، مقدار "r" بدست آمده توسط روش دونقطه‌ای ابراهیمیان و همکاران و داده‌های اندازه‌گیری شده به هم نزدیک‌تر می‌باشند، در نتیجه روش دو نقطه‌ای ابراهیمیان و همکاران عملکرد بهتری نسبت به روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت دارد.

نتیجه‌گیری

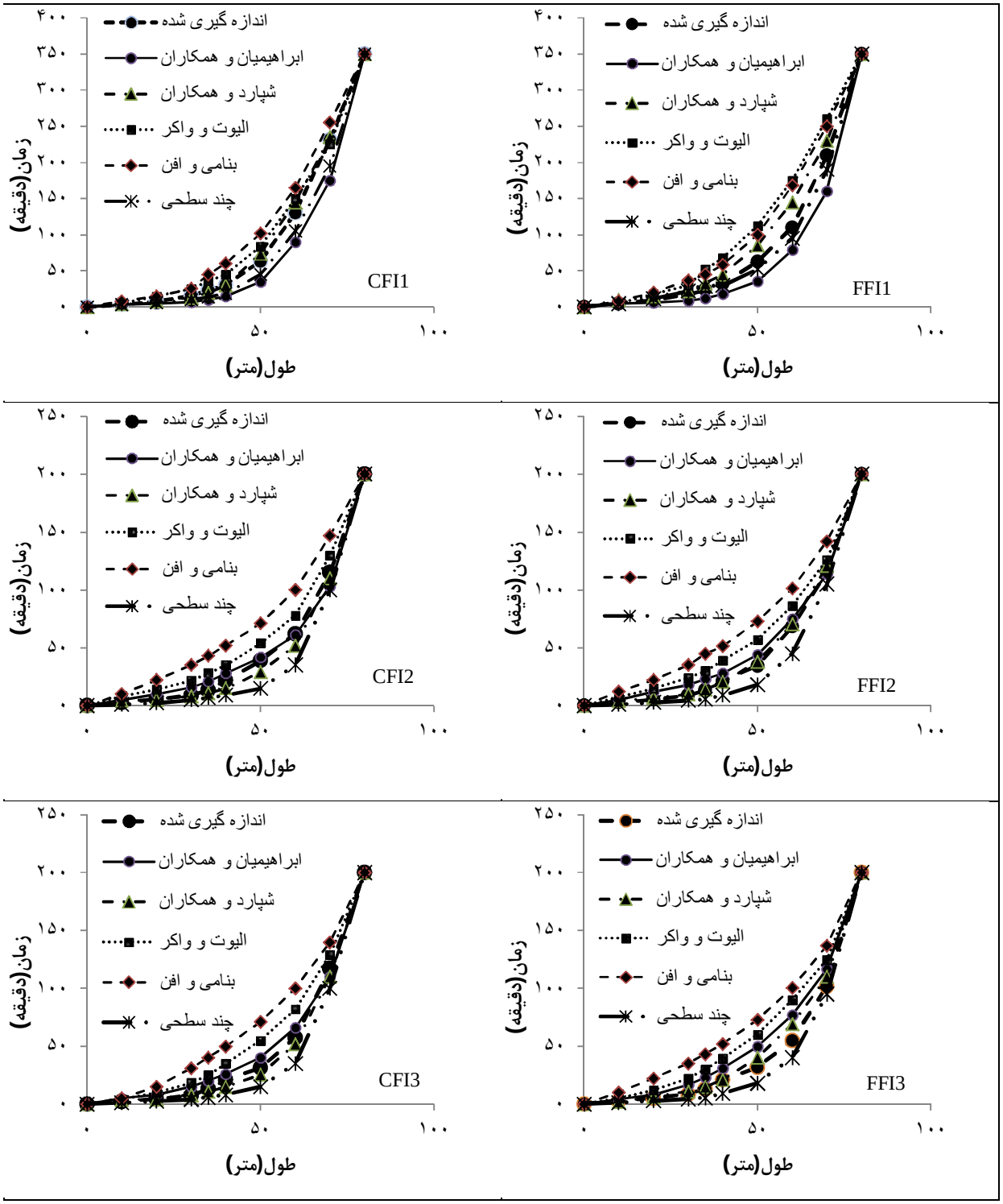
این تحقیق با هدف ارزیابی و مقایسه پنج روش، دونقطه‌ای الیوت و واکر، دو نقطه‌ای ابراهیمیان و همکاران، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران، بهینه‌سازی چندسطحی و پیشروی بنامی و افن و تعیین دقت هر یک از آن‌ها در برآورد حجم نفوذ آب به خاک و تخمین مرحله پیشروی در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای در خاک رسی انجام شد.

جدول 8- میزان خطای استاندارد (درصد) در پیش‌بینی مراحل پیشروی در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت به پنج روش مختلف

روش آبیاری	داده‌ها	الیوت و واکر	بنامی و افن	شپارد و همکاران	ابراهیمیان و همکاران	چندسطحی
CFI	CFI1	24/44	31/17	25/42	87/22	45/49
	CFI2	31/08	42/80	16/66	23/28	92/89
	CFI3	31/20	47/53	14/06	22/44	105/43
	میانگین	28/91	40/50	18/71	44/35	81/27
FFI	FFI1	37/38	31/31	28/19	97/77	32/15
	FFI2	32/46	44/99	11/78	23/79	70/15
	FFI3	33/36	48/06	12/55	24/73	77/35
	میانگین	34/40	41/45	17/51	48/76	59/88

جدول9- مقادیر بدست آمده "r" توسط روش‌های مختلف و داده‌های اندازه‌گیری شده در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت

نام روش	CFI				FFI			
	CFI1	CFI2	CFI3	میانگین	FFI1	FFI2	FFI3	میانگین
اندازه‌گیری شده	0/302	0/305	0/319	0/309	0/315	0/321	0/337	0/324
الیوت و واکر	0/398	0/430	0/456	0/428	0/440	0/464	0/500	0/468
ابراهیمیان و همکاران	0/303	0/415	0/440	0/386	0/313	0/442	0/480	0/412



شکل2- مقایسه مرحله پیشروی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده به پنج روش مختلف در آبیاری جویچه‌ای معمولی (CFI) و یک در میان ثابت (FFI)

نتایج بدست آمده نشان داد که در برآورد میزان آب نفوذ یافته به خاک، روش‌های بهینه‌سازی چندسطحی و دو نقطه‌ای الیوت و واکر در آبیاری جویچه‌ای معمولی به‌ترتیب با 14/9 و 17/87 درصد و در آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت به‌ترتیب با 12/1 و 25/92 درصد دارای کم‌ترین خطای نسبی می‌باشند. و روش یک نقطه‌ای شپارد در برآورد میزان آب نفوذ یافته به خاک، در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت به‌ترتیب با 40/53 و 33/37 درصد بیش‌ترین خطای نسبی را دارد. روش بهینه‌سازی چندسطحی کم‌ترین RMSE را در برآورد حجم کل آب نفوذ یافته در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت حاصل شده است. در پیش‌بینی مرحله پیشروی با استفاده از روش‌های مختلف در آبیاری جویچه‌ای و یک در میان ثابت روش‌های یک نقطه‌ای شپارد و دو نقطه‌ای الیوت و واکر به‌ترتیب آبیاری با 18/71 و 28/91 درصد و 17/51 و 34/4 درصد دارای کم-ترین خطای استاندارد بوده‌اند.

مقایسه نتایج روش بهینه‌سازی چندسطحی با روش دونقطه‌ای الیوت و واکر نشان داد که درصد اختلاف این دو روش در برآورد حجم نفوذ آب به خاک در آبیاری جویچه‌ای معمولی کم و حدود 3 درصد می‌باشد، به همین جهت می‌توان روش بهینه‌سازی چندسطحی را برای برآورد دقیق‌تر حجم نفوذ آب در جویچه‌ها در شرایط خاک مشابه استفاده کرد.

منابع

ابراهیمیان،ح.، قنبریان علویچه ب.، عباسی،ف.، هورفر،ع.1389. ارایه روش دو نقطه‌ای جدید به‌منظور برآورد پارامترهای نفوذپذیری در آبیاری جویچه‌ای و نواری و مقایسه آن با سایر روش‌ها. نشریه آب و خاک جلد 24. 4: 698- 690.

ابراهیمیان،ح.، وردی‌نژاد،ر.، کمالی،پ. 1394. ارزیابی و مقایسه روش بهینه‌سازی چندسطحی و مدل IPARM در تخمین پارامترهای نفوذ درآبیاری جویچه‌ای. نشریه مدیریت آب و آبیاری. 5. 1: 54-43.

اوجاقلو،ح.، قبادی‌نیا،م.، مجدزاده،ب.، سهرابی،ت.، عباسی،ف. 1387. مطالعه و ارزیابی روش‌های توسعه یافته تخمین پارامترهای نفوذ در آبیاری جویچه‌ای. دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. 2 خرداد ماه. کرج.

پناهی،م.، میرلطیفی،م.، عباسی،ف. 1390. برآورد نفوذ آب در جویچه با یک مدل دوبعدی و مقایسه آن با سایر مدل‌های نفوذ. مجله پژوهش‌های آب ایران. سال ششم، شماره دهم.

تقی زاده ز.، وردی‌نژاد،ر.، ابراهیمیان،ح.، خا محمدی،ن. 1391. ارزیابی مزرعه‌ای و تحلیل سیستم آبیاری با WinSRFR، مطالعه موردی آبیاری جویچه‌ای. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی 6. 26: 1459-1450.

عباسی،ف. 1391. اصول جریان در آبیاری سطحی. چاپ اول، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران. ص 200.

عباسی،ف. 1387. روش‌های بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. مجموعه مقالات دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. 2 خردادماه، کرج. 1- 11.

مکاری قهرودی،ا.، لیاقت،ع.م.، نحوی‌نیا،م.ج. 1392. کاربرد مدل WinSRFR 3.1 در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای. نشریه آبیاری زهکشی ایران.7 .1: 67-59.

Bautista,E., Clemmens,A.J., Strelkoff,T.S and Schlegel,J. 2009. Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. Agricultural Water Management. 96: 1146-1154.

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

Ebrahimian,H. 2014. Soil Infiltration Characteristics in Alternate and Conventional Furrow Irrigation using Different Estimation Methods. Korean Society of Civil Engineers. 18.6:1904-1911.

Ebrahimian,H., Liaghat,A.L., Ghanbarian,B and Abbasi,F. 2010. Evaluation of various quick methods for estimating furrow and border infiltration parameters. Irrigation Science. 28.6: 479–488.

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

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. Agricultural Water Management. 34: 169-185.

Rodriguez,J.A. 2003. Estimation of advance and infiltration equations in furrow irrigation for untested discharges. Agricultural Water Management. 60: 227-239.

Shepard,J.S., Wallender,W.W and Hopmans,J.W. 1993. One method for estimating furrow infiltration. Transaction ASAE. 36.2:395- 404.

Walker,W.R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. Journal Irrigation and Drainage Engineering. 131 .2: 129-136.

artificial neural networks. Agricultural Water Management. 148: 63-71.

Moravejalahkami,B., Mostafazadeh-Fard,B., Heidarpour,M and Abbasi,F. 2012. Comparison of Multilevel Calibration and Volume Balance Method for Estimating Furrow Infiltration. Irrigation and Drainage Engineering. 138.8: 777-781.

Philip,J.R., Farrell,D.A. 1964. General solution of the infiltration–advance problem in irrigation hydraulics. Journal Geoph R. 69:621–631.

Warrick,A.W., Lazarovitch,N., Furman,A and Zerihun,D. 2007. Explicit infiltration function for furrows. Journal Irrigation and Drainage Engineering. 133.4:307- 313.

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.

Mattar,M.A., Alazba,A.A and Zin El-Abedin,T.K. 2015. Forecasting furrow irrigation infiltration using

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 11, Oct.-Nov. 2017, p. 680-691

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره4، جلد 11، مهر - آبان 1396، ص. 691-680

Studying and Evaluating of Developed Methods for Estimation of Infiltration Parameters in Conventional and Fixed Alternate Furrow Irrigation

S. Rastgo[1], S. Besharat[2]*

Recived: Apr.05, 2017 Accepted: Jun.10, 2017

Abstract

Parameters of infiltration equation have fundamental role in evaluation and design of irrigation systems. In fact, it's essential that these parameters be carefully estimated in order to increase irrigation efficiency. In this research the Elliott and Walker two-point method, Ebrahimian et al. two-point method, Shepard et al. one-point method, Multilevel optimization method and Benami and Ofen advance method were compared with measured data. The accuracy of each one of them in estimation of advance phase in conventional and fixed alternate furrow irrigation was evaluated in a clay soil. For this purpose, furrows with a length of 70 m, width of 0.75 m, and approximate slope of 0.0075 m/m were prepared. These furrows had 0.9 L/s inflow rate in the first irrigation and 1.1 L/s inflow rate in the second and third irrigations. Infiltration in the furrows was measured in the field using the input-output method. According to the estimation infiltration parameters in estimating of the amount infiltrated, The results showed that the Multilevel optimization method and Elliott and Walker two-point method have the least relative error in conventional furrow irrigation (14.9-17.87%) and in fixed alternate furrow irrigation (12.1- 25.92%), respectively. And the Shepard one-point method have the maximum relative error in estimating of the amount infiltrated in conventional furrow irrigation (40.53%) and in fixed alternate furrow irrigation (33.37%). The Multilevel optimization method provided the least (RMSE) in the estimation of the total volume of infiltrated in the conventional and fixed alternate furrow irrigation. In the prediction of advance phase, the Shepard one-point method and Elliott and Walker two-point method had have the lowest standard error (18.71 and 28.91%) for conventional furrow irrigation and (17.51 and 34.4%) for fixed alternate furrow irrigation, respectively. Comparing the results of the Multilevel optimization method and Elliott and Walker two-point method showed that the percentage difference between this two methods for estimating the volume of infiltration in conventional furrow irrigation is low and just about three percents (3%). Therefore, it can be a Multilevel optimization method for accurately estimating the volume of infiltration in furrow the soil conditions are similar.

Keywords: Advance phase, Estimating infiltration parameters, Furrow irrigation, Multilevel optimization.

1- MSc Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University
2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University
(*- Corresponding Author Email:s.besharat@urmia.ac.ir)