

## ارزیابی سه مدل EVALUE، SIPAR\_ID و INFILT برای تخمین ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف در آبیاری جویچه‌ای

هادی رضانی اعتدالی<sup>۱\*</sup>، حامد ابراهیمیان<sup>۲</sup>، فریبرز عباسی<sup>۳</sup>، عبدالمجید لیاقت<sup>۴</sup>

\*- نویسنده مسئول، عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین h\_etedali856@yahoo.com

۲- عضو هیأت علمی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

۳- عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱/۲۸

### چکیده

تخمین ضرایب نفوذ در آبیاری جویچه‌ای بسیار دشوار بوده و تأثیر زیادی در طراحی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی دارد. روش‌های متعددی برای تخمین ضرایب نفوذ وجود داشته و بسته به روش آبیاری متفاوت است. هدف از این تحقیق تخمین ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف در آبیاری جویچه‌ای با استفاده از سه مدل EVALUE، SIPAR\_ID و INFILT است. اساس کار مدل اول حل مستقیم و دو مدل دیگر حل معکوس می‌باشد. در این راستا از اطلاعات شش سری جویچه‌ای انتها بسته و شش سری جویچه‌ای انتها باز با شرایط مختلف مزرعه‌ای از جمله طول، شیب و رژیم جریان استفاده گردید. ارزیابی نتایج ضرایب معادله نفوذ از طریق مقایسه حجم آب نفوذ یافته محاسبه و اندازه‌گیری شده انجام گردید. نتایج نشان داد که در برآورد میزان آب نفوذ یافته در خاک و ضرایب نفوذ، دو مدل EVALUE و SIPAR\_ID به ترتیب با RMSE، ۱/۸۶ و ۱/۷۸ مترمکعب دارای کمترین خطا در حالت جویچه انتها بسته می‌باشند. در حالت انتها باز نیز مدل SIPAR\_ID با RMSE، ۱/۱۱ مترمکعب عملکرد مناسبی داشت. همچنین هر سه مدل (به خصوص مدل INFILT با RMSE، ۱/۶۳ مترمکعب) در رژیم کاهش جریان دقت کمتری نسبت به رژیم جریان ثابت داشتند.

**کلید واژه‌ها:** ضرایب نفوذ، آبیاری جویچه‌ای، EVALUE، SIPAR\_ID، INFILT.

### مقدمه

همکاران<sup>۴</sup> (۲۴) و روش بهینه‌سازی چند سطحی واکر<sup>۵</sup> (۲۶) اشاره نمود. واکر یک روش بهینه‌سازی چند سطحی را برای تخمین ضریب زبری ماینینگ (n) و پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوتیس معرفی نمود. وی با آنالیز حساسیت نشان داد مراحل پیشروی و پسروی به ترتیب به پارامترهای k و n و هیدروگراف رواناب خروجی به  $\alpha$  و  $f_0$  حساسیت بیشتری دارند (۲۶). روش پیشنهادی واکر روشی بر مبنای سعی و خطا به وسیله‌ی مدل سیرمود<sup>۶</sup> (۲۵) بوده و به اطلاعات زیادی مانند اندازه‌گیری مراحل پیشروی، پسروی و هیدروگراف رواناب خروجی نیاز دارد (۲۶). استریلکف و همکاران<sup>۷</sup> برای تخمین ضریب زبری ماینینگ و ضرایب معادله کوستیاکف شاخه‌ای در مزارع اطراف رودخانه نیل به علت شیب کم منطقه، از مدل EVALUE استفاده نمودند (۲۱). رضانی و همکاران با استفاده از مدل EVALUE، ضریب

تخمین ضرایب نفوذ در آبیاری سطحی، به خصوص در آبیاری جویچه‌ای، دشوار بوده و این ضرایب از مهمترین عوامل طراحی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی است (۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۳). مقدار ضرایب نفوذ در طول یک آبیاری متغیر بوده و حتی شبیه‌سازی مراحل پیشروی و پسروی با مقدار مشابه، باعث خطای قابل توجهی در تخمین آن خواهد شد. اهمیت دانستن این ضرایب برای تشریح هیدرولیک آبیاری جویچه‌ای همراه با مشکلات تخمین مناسب این پارامترها، به معنی صرف وقت و هزینه قبل از مرحله طراحی یک سامانه آبیاری می‌باشد (۸ و ۱۶).

روش‌های متعددی بسته به روش آبیاری برای تخمین ضرایب نفوذ وجود دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش جویچه مسدود، روش ورودی و خروجی، روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر<sup>۸</sup> (۹)، روش پیشروی بنامی و افن<sup>۲</sup> (۷)، روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹)، روش یک نقطه‌ای والیانتراس و

4- Valiantzas et al.

5- Walker

6- SIRMOD

7- Strelkoff et al.

1- Elliott and Walker

2- Benami and Ofen

3- Shepard et al.

روش‌ها بستگی به هدف استفاده و دقت تعیین نتایج دارد اما نتایج روش دوم باید از نظر قابل اعتماد بودن، همگرایی و منحصر به فرد بودن نتایج بررسی بیشتری شود (۶ و ۲۰). از مدل‌های بخش اول می‌توان به مدل EVALUE (۲۱) و از مدل‌های بخش دوم می‌توان به SIPAR\_ID (۱۸) و INFILT (۱۵) اشاره کرد. هدف از این تحقیق، ارزیابی سه مدل EVALUE, SIPAR\_ID و INFILT برای تخمین ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف در آبیاری جویچه‌ای است.

## مواد و روش‌ها

### معرفی مدل‌ها

#### مدل EVALUE

این مدل برای مزارع با شیب کم پیشنهاد شده و دارای حل مستقیم است. در این مدل معادلات پیوستگی، مومنتم و مانینگ به صورت همزمان حل می‌شوند (۲۱). در این مدل به علت ناچیز بودن سرعت جریان، به خصوص در مزارع با شیب کم، از عبارت‌های شتاب در معادله مومنتم صرف‌نظر شده است. این مدل علاوه بر ضریب زبری مانینگ، ضرایب معادله کوستیاکف شاخه‌ای (معادله ۱) را نیز محاسبه می‌کند. علت انتخاب معادله کوستیاکف شاخه‌ای توانایی این معادله برای نشان دادن شدت نفوذ در ابتدا و رسیدن به مقدار ثابتی از شدت نفوذ در ادامه است. این معادله در خاک‌های تازه شخم خورده و سله بسته نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

$$\begin{cases} z = c + k\tau^a & \tau \leq \tau_B \\ z = c_B + b\tau & \tau > \tau_B \end{cases} \quad (1)$$

در این رابطه،  $z$  نفوذ تجمعی،  $\tau$  زمان نفوذ،  $\tau_B$  زمان رسیدن به سرعت نفوذ نهایی و  $k$ ،  $a$ ،  $c$ ،  $b$  و  $c_B$  ثابت‌های تجربی هستند. این مدل قابلیت ساده نمودن معادله نفوذ کوستیاکف شاخه‌ای به معادله نفوذ کوستیاکف را دارد. این مدل تحت داس<sup>۵</sup> بوده و علاوه علاوه بر آبیاری جویچه‌ای، در آبیاری نواری و کرتی نیز کاربرد داشته و فقط برای مزارع انتهایی بسته قابل استفاده است. ورودی-های مدل شامل فواصل جویچه‌ها، پروفیل عرضی جویچه‌ها، هیدروگراف جریان ورودی و عمق جریان در هر ایستگاه در زمان-های مختلف است.

#### مدل SIPAR\_ID

SIPAR\_ID مدلی تحت ویندوز و برای تخمین ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف و ضریب زبری مانینگ در آبیاری سطحی پیشنهاد شده است (۱۸). محدودیتی از نظر باز یا بسته بودن انتهایی مزرعه برای این مدل وجود ندارد. این مدل برای تخمین ضرایب از معادله بیلان حجم و روش حل معکوس استفاده کرده و

زبری را برای جویچه‌های انتها بسته بین ۰/۰۲۰ تا ۰/۱۰۲ گزارش نمودند. نتایج به دست آمده از مدل EVALUE توانست با دقت خوبی مرحله پسروی را که حساسیت بیشتری به ضریب زبری دارد، شبیه‌سازی نماید (۱).

هولزافل و همکاران<sup>۱</sup> به ارزیابی چهار روش مختلف برای تعیین ثابت‌های معادله کوستیاکف برای دو اندازه مختلف جویچه (جویچه باریک به عرض ۴۰ سانتی‌متر و جویچه عریض به عرض ۶۰ سانتی‌متر) پرداختند. روش‌های مختلف برای تعیین ویژگی‌های نفوذ در این مطالعه شامل روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۹)، روش نفوذسنج جویچه (روش ورودی و خروجی)، روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹) و روش پیشروی بنامی و افن (۷) بوده است. نتایج نشان داد که مقدار توان معادله کوستیاکف به نوع روش تعیین ویژگی‌های نفوذ و اندازه جویچه بستگی ندارد، منحنی نفوذ تجمعی برای جویچه‌های باریک در هر چهار روش تقریباً مشابه و مستقل از نوع روش به کار رفته بود در حالی که منحنی نفوذ تجمعی برای جویچه‌های عریض بستگی به نوع روش داشت. با استفاده از ثابت‌های معادله کوستیاکف به دست آمده در هر چهار روش و با به کارگیری مدل موج کینماتیکی، مرحله پیشروی در جویچه‌ها تخمین زده شد. نتایج نشان داد که برای جویچه‌های عریض، روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۹) و برای جویچه‌های باریک روش پیشروی بهترین عملکرد را داشته است. بدترین نتایج برای پیش‌بینی مرحله پیشروی با استفاده از ثابت‌های نفوذ بدست آمده از روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹) حاصل شده است (۱۱).

خاطری و اسمیت<sup>۲</sup> به ارزیابی شش روش نفوذپذیری برای تخمین پارامترهای نفوذ در آبیاری جویچه‌ای پرداختند. روش‌های مذکور شامل روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۹)، روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹)، استفاده از مدل رایانه‌ای INFILT (۱۵)، روش یوپادیا و راقووانشی<sup>۳</sup> (۲۲)، روش یک نقطه‌ای والیانتراس و همکاران (۲۴) و روش تابع خطی نفوذ (۵) بودند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل INFILT برای همه داده‌های صحرائی بیشترین دقت را داشت. همچنین به صورت کلی روش‌های دو نقطه‌ای الیوت و واکر و روش تابع خطی نفوذ نیز عملکرد خوبی داشتند (۱۳).

استریلکف و همکاران و باتیستا و همکاران<sup>۴</sup> روش‌های موجود در تخمین پارامترهای نفوذ و ضریب زبری مانینگ را به دو بخش کلی تقسیم نمودند. بخش اول دارای حل مستقیم بوده و از معادله بیلان حجم و با فرضیاتی ساده کننده استفاده می‌شود. در بخش دوم نیز از مدل‌سازی معکوس استفاده و با سعی و خطا و مقایسه نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، پارامترهای معادلات نفوذ و ضریب زبری مانینگ تخمین زده می‌شود. کاربرد هر کدام از این

- 1- Holzapfel et al.
- 2- Khatri and Smith
- 3- Upadhyaya and Raghuvanshi
- 4- Bautista et al.

از شبکه عصبی مصنوعی به منظور به حداقل رساندن اختلاف مرحله پیشروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده استفاده می‌کند. ورودی‌های این مدل شامل هیدروگراف جریان ورودی، فاز پیشروی، شیب کف مزرعه، پارامترهای هیدرولیکی و هندسی  $(\rho_1, \rho_2, \sigma_1, \sigma_2)$  و عمق جریان در هر ایستگاه در زمان‌های مختلف است. این مدل توانایی انجام آنالیز حساسیت و عدم قطعیت نتایج خروجی را نیز دارا است.

### روش ارزیابی نتایج مدل‌ها

به منظور ارزیابی مدل‌ها در تخمین پارامترهای نفوذ، حجم آب نفوذیافته در طول جویچه با استفاده از روش‌های مذکور برآورد و با حجم آب نفوذیافته با استفاده از هیدروگراف جریان ورودی-خروجی محاسبه شد، مقایسه گردید.

شاخص‌های آماری برای بررسی نتایج مدل‌ها عبارتند از:

- درصد خطای نسبی (RE)

$$RE = \frac{(P_i - Q_i)}{Q_i} * 100 \quad (3)$$

- حداکثر خطا (ME)

$$ME = \max |P_i - Q_i|_{i=1}^n \quad (4)$$

- ریشه دوم میانگین مجذور خطا (RMSE)

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (5)$$

کارایی مدل‌سازی (EF)

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (6)$$

که در آن‌ها،  $P_i$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $Q_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)،  $n$  تعداد نمونه‌ها و  $\bar{Q}$  مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده می‌باشد. حداقل مقدار ME، RE و RMSE صفر و حداکثر مقدار EF برابر با یک می‌باشد. EF می‌تواند مقادیری منفی داشته باشد. مقدار زیاد ME نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است. شاخص EF، مقادیر پیش‌بینی شده را با میانگین اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF بیانگر آن است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، برآوردی بهتر از مقادیر پیش‌بینی شده دارد. چنانچه تمامی مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی شاخص‌های ME، RE و RMSE برابر با صفر و مقدار EF برابر با یک خواهد بود [۱۲].

### مدل INFILT

INFILT مدلی تحت ویندوز و برای تخمین ضرایب نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس (معادله ۲) در آبیاری جویچه‌ای است (۱۵):

$$z = k\tau^a + f_0\tau \quad (2)$$

که در این رابطه،  $z$  نفوذ تجمعی (mm)،  $\tau$  زمان نفوذ (min) و  $k$  (بدون بعد) و  $f_0$  (mm/min) ثابت‌های تجربی هستند. البته این مدل نیز قابلیت ساده نمودن معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس را به معادله نفوذ کوستیاکف دارد. این مدل برای تخمین ضرایب نفوذ از معادله بیلان حجم و روش حل معکوس به منظور به حداقل رساندن اختلاف فاز پیشروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده استفاده می‌کند. برای این مدل نیز محدودیتی از نظر باز یا بسته بودن انتهای مزرعه وجود ندارد. ورودی‌های این مدل ساده‌تر و محدودتر از دو مدل قبل بوده و تنها شامل داده‌های مرحله پیشروی و متوسط جریان ورودی می‌شود.

### آزمایش‌های مزرعه‌ای

در این تحقیق از سه سری اطلاعات مزرعه‌ای عباسی و همکاران (۲، ۳ و ۴) استفاده گردید. سری اول آزمایش‌ها شامل جویچه‌های ۱، ۲ و ۳ در مرکز تحقیقات کشاورزی ماری‌کوپا در فینیکس ایالت آریزونا (۴)، سری دوم آزمایش‌ها شامل جویچه‌های ۴، ۵ و ۶ در مزرعه ۴۰۰ هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج (۳) و سری سوم آزمایش‌ها شامل جویچه‌های ۷ تا ۱۲ در ایستگاه تحقیقات توتون ارومیه انجام شده است (۲). در جویچه‌های ۱ تا ۳ بافت خاک لوم شنی، در جویچه‌های ۴ تا ۶ بافت خاک لومی و در جویچه‌های ۷ تا ۱۲ بافت خاک لومی سیلتی رسی است. جویچه‌های ۱ تا ۶ انتها بسته بوده و لذا امکان استفاده از اطلاعات آن‌ها در هر سه مدل وجود دارد ولی جویچه‌های ۷ تا ۱۲ انتها باز بوده و فقط قابل استفاده در دو مدل

جدول ۱- برخی از اطلاعات جویچه‌های آزمایشی مورد مطالعه

جویچه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
طول جویچه (m)	۱۱۵	۱۱۵	۱۱۵	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۵	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
فاصله جویچه‌ها (m)	۱	۱	۱	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
شیب کف (%)	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۶۷	۰/۵۹	۰/۶۴	۱/۷۷	۱/۷۵	۱/۷۳	۱/۷۱	۱/۷۴	۱/۷۵
زمان کاهش جریان (min)	-	-	-	۴۱	۵۵	۲۹	۳۴	۵۹	۳۲	۵۷	۸۷	-
زمان قطع جریان (min)	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۹۹	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۲	۱۲۲	۱۲۱
متوسط دبی ورودی (lit/s)	۱/۲۹	۱/۳۲	۱/۲۸	۰/۶۷	۰/۹۸	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۸۱	۰/۷۲	۰/۹۶	۰/۹۸	۱/۳۱
نوبت آبیاری	۱	۱	۱	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۲
پارامترهای هیدرولیکی جریان												
$\rho_1$	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۴۶	۰/۴۰	۰/۱۷	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۳۹	۰/۴۲
$\rho_2$	۲/۷۶	۲/۷۶	۲/۷۶	۲/۸۲	۲/۸۳	۲/۶۱	۲/۷۷	۲/۷۹	۲/۷۷	۲/۷۸	۲/۷۹	۲/۷۹
پارامترهای هندسی جویچه												
$\sigma_1$	۱/۳۱	۱/۳۱	۱/۳۱	۰/۷۳	۱/۰۹	۱/۰/۳۲۶۰	۰/۴۷	۰/۴۰	۰/۴۳	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۳۹
$\sigma_2$	۱/۶۵	۱/۶۵	۱/۶۵	۱/۵۰	۱/۵۳	۱/۷۱	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۶۰

## نتایج و بحث

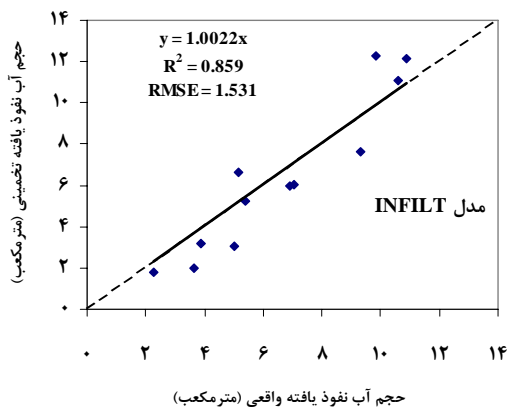
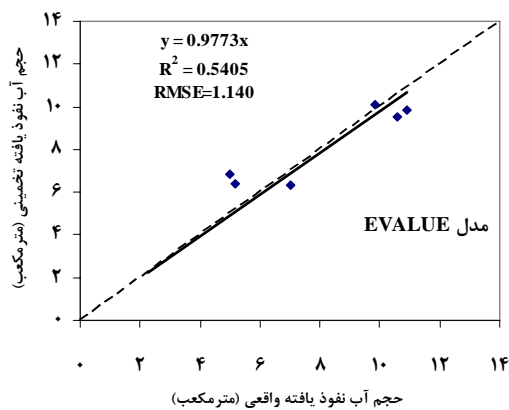
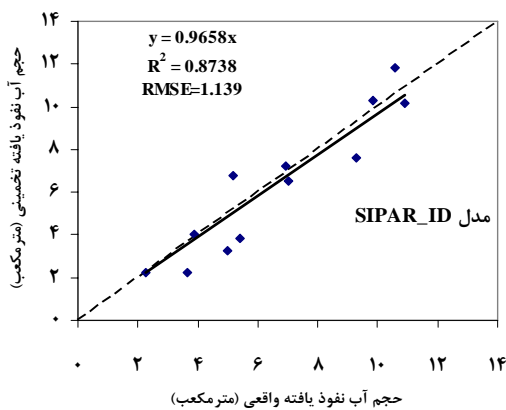
همان‌طور که اشاره گردید، مدل EVALUE فقط در جویچه‌های انتها بسته کاربرد دارد. پس برای جویچه‌های ۱ تا ۶ هر سه مدل و برای جویچه‌های ۷ تا ۱۲ تنها دو مدل SIPAR\_ID و INFILTR اجرا شد. نتایج حاصل از اجرای این مدل‌ها برای جویچه‌های مختلف در جدول (۲) آمده است. نتایج بررسی حجم آب نفوذ یافته در طول جویچه برای داده‌های مختلف در شکل (۱) ارائه شده است. ملاحظه می‌شود هر سه مدل با دقت خوبی حجم آب نفوذ یافته را برآورد کرده‌اند. البته با توجه به مقادیر RMSE، دو مدل EVALUE و SIPAR\_ID دقت یکسانی در برآورد حجم نفوذ داشته و از مدل INFILTR برآورد بهتری دارند. البته به علت تعداد کمتر جویچه‌های استفاده شده در مدل EVALUE پایین بودن  $R^2$  قابل توجیه است. برای بررسی نتایج مدل‌ها، از شاخص‌های آماری استفاده شد. همچنین مقایسه نتایج، برای حالت انتها بسته (جویچه‌های ۱ تا

۶) و انتها باز (جویچه‌های ۷ تا ۱۲) به صورت مجزا انجام تا کارایی مدل‌ها در شرایط مختلف بررسی شود. نتایج شاخص‌های آماری برای جویچه‌های انتها بسته و باز به ترتیب در جدول‌های (۳) و (۴) آمده است.

در جویچه‌های انتها بسته با توجه به میانگین قدرمطلق خطاهای نسبی، ریشه دوم میانگین مجذور خطا و کارایی مدل‌سازی، مدل EVALUE و SIPAR\_ID دقت نسبتاً یکسانی در تخمین حجم آب نفوذ یافته و در نتیجه ضرایب نفوذ داشته‌اند. مدل INFILTR دقت کمتری نسبت به دو مدل دیگر در برآورد حجم آب نفوذ یافته دارد. البته با توجه به داده‌های ورودی آسان‌تر و تحت ویندوز بودن مدل SIPAR\_ID، استفاده از این مدل مناسب‌تر است. در حالتی که عمق جریان در نقاط مختلف طول جویچه اندازه‌گیری نشده باشد، مدل SIPAR\_ID به خوبی می‌تواند ضرایب نفوذ را پیش‌بینی نماید.

جدول ۲- نتایج حاصل از اجرای مدل‌ها برای جویچه‌های مورد مطالعه

جویچه‌ها	EVALUE			SIPAR_ID			INFILT	
	a	k (m <sup>3</sup> /min <sup>a</sup> /m)	n	a	k (m <sup>3</sup> /min <sup>a</sup> /m)	n	A	k (m <sup>3</sup> /min <sup>a</sup> /m)
۱	۰/۸۵	۰/۰۰۱۲۳	۰/۰۹۲	۰/۶۹	۰/۰۰۲۸۷	۰/۰۷۰	۰/۸۷	۰/۰۰۱۳۵
۲	۰/۷۵	۰/۰۰۲۰۹	۰/۰۷۳	۰/۷۱	۰/۰۰۲۶۵	۰/۰۸۳	۰/۷۶	۰/۰۰۲۳۸
۳	۰/۸۰	۰/۰۰۲۰۸	۰/۱۰۲	۰/۷۵	۰/۰۰۳۳۴	۰/۱۱۸	۰/۸۲	۰/۰۰۲۱۹
۴	۰/۵۶	۰/۰۰۲۷۳	۰/۰۴۴	۰/۴۴	۰/۰۰۲۳۰	۰/۰۸۱	۰/۵۹	۰/۰۰۱۰۸
۵	۰/۵۰	۰/۰۰۳۴۹	۰/۰۳۸	۰/۶۵	۰/۰۰۱۷۹	۰/۱۰۳	۰/۵۹	۰/۰۰۲۱۸
۶	۰/۵۵	۰/۰۰۲۶۳	۰/۰۲۰	۰/۲۰	۰/۰۰۰۵۰	۰/۱۲۳	۰/۴۸	۰/۰۰۰۴۱
۷	-	-	-	۰/۶۴	۰/۰۰۰۵۲	۰/۱۳۷	۰/۱۱	۰/۰۰۵۱۹
۸	-	-	-	۰/۴۴	۰/۰۰۲۵۱	۰/۰۸۲	۰/۶۳	۰/۰۰۰۸۱
۹	-	-	-	۰/۶۶	۰/۰۰۰۵۲	۰/۱۵۲	۰/۱۳	۰/۰۰۵۴۴
۱۰	-	-	-	۰/۶۶	۰/۰۰۰۸۹	۰/۱۷۲	۰/۸۲	۰/۰۰۰۵۶
۱۱	-	-	-	۰/۳۳	۰/۰۰۸۱۷	۰/۰۴۲	۰/۶۲	۰/۰۰۱۷۸
۱۲	-	-	-	۰/۷۰	۰/۰۰۱۵۷	۰/۱۷۸	۰/۸۶	۰/۰۰۰۷۸



شکل ۱- مقایسه مقادیر حجم آب نفوذ یافته واقعی و تخمین زده شده با نتایج ضرایب نفوذ مدل‌های مختلف

جدول ۳- میزان خطای نسبی و شاخص‌های آماری در برآورد حجم آب نفوذ یافته در جویچه‌های انتها بسته

EVALUE	SIPAR_ID	INFILT	جویچه‌ها
درصد خطای نسبی (RE%)	درصد خطای نسبی (RE%)	درصد خطای نسبی (RE%)	
-۹/۵	-۶/۵	۱۱/۶	۱
۲/۵	۴/۵	۲۴/۹	۲
-۱۰/۴	۱۱/۵	۴/۹	۳
۳۷/۲	-۳۵/۵	-۳۸/۷	۴
-۹/۹	-۷/۶	-۱۴/۰	۵
۲۳/۷	۳۱/۳	۲۸/۳	۶
۱۵/۵	۱۶/۱	۲۰/۴	میانگین قدرمطلق خطاهای نسبی (%)
۱/۸۶	۱/۷۸	۲/۴۵	حداکثر خطا (ME) بر حسب متر مکعب
۱/۱۴	۱/۱۷	۱/۵۷	ریشه دوم میانگین مجذور خطاها (RMSE) بر حسب متر مکعب
۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۸۰	کارایی مدل‌سازی (EF)

جدول ۴- میزان خطای نسبی و شاخص‌های آماری در برآورد حجم آب نفوذ یافته در جویچه‌های انتها باز

SIPAR_ID	INFILT	جویچه‌ها
درصد خطای نسبی (RE%)	درصد خطای نسبی (RE%)	
-۳/۲	-۲۱/۶	۷
۴/۲	-۱۸/۲	۸
-۳۷/۷	-۴۵/۳	۹
-۲۸/۸	-۳/۲	۱۰
۴/۵	-۱۳/۵	۱۱
-۱۸/۳	-۱۸/۱	۱۲
۱۶/۱	۲۰/۰	میانگین قدرمطلق خطاهای نسبی (%)
۱/۶۸	۱/۷۱	حداکثر خطا (ME) بر حسب متر مکعب
۱/۱۱	۱/۰۹	ریشه دوم میانگین مجذور خطاها (RMSE) بر حسب متر مکعب
۰/۷۴	۰/۷۴	کارایی مدل‌سازی (EF)

میانگین دبی ورودی استفاده می‌نماید. اهمیت تأثیر دبی ثابت و دبی متغیر بر مقادیر معادله نفوذ و مرحله پیشروی توسط رودری-گوئر<sup>۱</sup> بررسی شده است (۱۷). همچنین مشخصات هندسی و هیدرولیکی سطح مقطع جویچه که یکی از پارامترهای ورودی مدل‌های آبیاری جویچه‌ای است را نمی‌توان در مدل INFILT تعریف کرد.

برای بررسی اثر رژیم جریان بر عملکرد مدل‌ها، شاخص‌های آماری به صورت مجزا برای دو رژیم جریان ثابت و کاهش جریان محاسبه گردید. همان‌طور که ذکر شد، جویچه‌های ۴ تا

با توجه به مقادیر کارایی مدل‌سازی، عملکرد مدل‌های SIPAR\_ID و INFILT در حالت انتها بسته بهتر از حالت انتها باز می‌باشد. کارایی این دو مدل در حالت انتها باز بسیار به هم نزدیک و در حالت انتها بسته تفاوت بیشتری دارند. به طور کلی، با توجه به شاخص‌های آماری، مدل SIPAR\_ID بهتر از مدل INFILT در تخمین ضرایب نفوذ عمل کرده است. دقت کمتر مدل INFILT نسبت به دو مدل دیگر به نوع ورودی‌های این مدل مربوط می‌باشد. همان‌طور که تشریح شد، این مدل به ورودی‌های کمتری نیاز داشته و ورودی‌های آن بسیار ساده نیز شده است. مثلاً به جای هیدروگراف جریان ورودی، تنها از

1- Rodriguez

جدول ۵- میزان شاخص‌های آماری در برآورد حجم آب نفوذ یافته به تفکیک نوع رژیم جریان

جویچه‌ها	EVALUE		SIPAR_ID		INFILT	
	جریان ثابت	کاهش جریان	جریان ثابت	کاهش جریان	جریان ثابت	کاهش جریان
میانگین قدرمطلق خطاهای نسبی (%)	۷/۵	۲۳/۶	۱۳/۶	۱۷/۶	۱۴/۹	۲۲/۸۵
حداکثر خطا (ME) بر حسب متر مکعب	۱/۱۰	۱/۸۶	۱/۷۱	۱/۷۸	۲/۴۵	۱/۹۴
ریشه دوم میانگین مجذور خطاها (RMSE) بر حسب متر مکعب	۰/۸۸	۱/۳۵	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۸	۱/۶۳
کارآیی مدل‌سازی (EF)	۰/۸۵	۰/۳۲	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۵۸	۰/۲۵

### نتیجه‌گیری

در ارزیابی مدل‌های مختلف تخمین ضرایب نفوذ، نتایج به دست آمده نشان داد که در برآورد میزان آب نفوذ یافته در خاک، دو مدل EVALUE و SIPAR\_ID دارای خطای کمتری می‌باشند. با توجه به سادگی و تحت ویندوز بودن مدل SIPAR\_ID، استفاده از این مدل توصیه می‌شود. در حالتی که عمق جریان در نقاط مختلف طول جویچه اندازه‌گیری نشده باشد، مدل SIPAR\_ID به خوبی می‌تواند ضرایب نفوذ را پیش‌بینی نماید. در حالی که هیدروگراف عمق جریان یکی از داده‌های ورودی مورد نیاز مدل EVALUE است. عملکرد دو مدل SIPAR\_ID و INFILT در جویچه‌های انتها بسته بهتر از جویچه‌های انتهایی باز بوده است. نتایج نشان داد هر سه مدل (به خصوص مدل INFILT) در رژیم کاهش جریان دقت کمتری نسبت به رژیم جریان ثابت دارند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که مدل EVALUE برای تخمین ضرایب نفوذ در مزارعی که دارای شیب کمی بوده و رواناب سطحی ندارند، ابزاری مناسب بوده و می‌تواند با دقت خوبی ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف را به خصوص در مواردی که جریان ورودی به جویچه ثابت باشد، برآورد نماید. در نهایت، تفاوت عملکرد مدل‌ها نسبت بهم به دلیل تعداد و نوع داده‌های ورودی، فرضیات و روش تخمین پارامترها بوده است.

۱۱ دارای رژیم کاهش جریان و بقیه جویچه‌ها دارای رژیم جریان ثابت هستند. نتایج در جدول (۵) آمده است. نتایج نشان می‌دهد هر سه مدل در رژیم کاهش جریان، دقت کمتری نسبت به رژیم جریان ثابت دارند. عملکرد نامناسب مدل INFILT در رژیم کاهش جریان، به دلیل استفاده از میانگین جریان ورودی به جای هیدروگراف جریان ورودی در این مدل می‌باشد. اختلاف کمتر در کارآیی مدل SIPAR\_ID در دو رژیم جریان ثابت و کاهش جریان نیز به علت استفاده هیدروگراف جریان ورودی در این مدل است. با وجود استفاده از هیدروگراف جریان ورودی در مدل EVALUE، اختلاف قابل توجهی بین عملکرد این مدل در دو رژیم جریان ثابت و کاهش جریان مشاهده می‌شود. کارآیی پایین‌تر این مدل در رژیم کاهش جریان به علت شیب بیشتر جویچه‌های ۴ تا ۶ می‌باشد. همان‌طور که اشاره شد دقت مدل EVALUE در شیب‌های کم بیشتر است. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که مدل‌های با اساس روش مستقیم (مانند مدل EVALUE) دقت بالاتری نسبت به مدل‌های با اساس مدل‌سازی معکوس (مانند مدل SIPAR\_ID و INFILT) در تخمین ضرایب نفوذ دارند. استریلکف و همکاران و باتیستا و همکاران نیز قابل اعتماد و منحصر به فرد بودن نتایج حاصل از روش مستقیم را نسبت به روش معکوس گزارش نموده‌اند (۶ و ۲۰).

### منابع

۱. رضائی اعتدالی، ه.، لیاقت، ع. م. و ف. عباسی. ۱۳۸۸. ارزیابی مدل EVALUE برای تخمین ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، جلد ۱۰، شماره ۳، صفحات ۹۴-۸۳.
۲. عباسی، ف.، طایفه رضایی، ح. و م. جلیلی. ۱۳۸۷. بررسی امکان کود آبیاری در رژیم‌های آبیاری جویچه‌ای. گزارش پژوهشی نهایی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

۳. عباسی، ف.، لیاقت، ع. م. و ا. گنجه. ارزیابی یکنواختی کودآبیاری در آبیاری جوپچه‌ای. ۱۳۸۸. مجله تحقیقات آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، جلد ۳۹، شماره ۱، صفحات ۱۲۷-۱۱۷.
4. Abbasi, F., Simunek, J., van Genuchten, M. T., Feyen, J., Adamsen, F. J., Hunsaker, D. J., Strelkoff, T. S. and P. Shouse, P. 2003. Overland water flow and solute transport: Model development and field-data analysis. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 129(2): 71-81.
  5. Austin, N. R. and J. B. Prendergast. 1997. Use of kinematic wave theory to model irrigation on a cracking soil. *Irrig. Sci.*, 18: 1-10.
  6. Bautista, E., Clemmens, A. J. and T. S. Strelkoff. 2009. Structured application of the two-point method for the estimation of infiltration parameters in surface irrigation. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 135(5):566-578.
  7. Benami, A. and A. Ofen. 1984. Irrigation engineering: Sprinkler, trickle, surface irrigation. Principles, design and agricultural practices. Irrigation Engineering Scientific Publication, IIC Bet Dagan, Israel.
  8. Clemmens, A. J., Eisenhauer, D. E. and B. L. Maheshwari. 2001. Infiltration and roughness equations for surface irrigation: How form influences estimation. ASAE Paper Number 01-2255. for presentation at the 2001 ASAE Annual International Meeting, Sacramento Convention Center, Sacramento, California, USA.
  9. Elliott, R. L. and W. R. Walker. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Trans. ASAE.*, 25: 396-400.
  10. Harun-ur-Rashid, M. 1990. Estimation of Maning's roughness coefficient for basin and border irrigation. *Agric. Water Manage.*, 18: 29-33.
  11. Holzapfel, E. A., Jara, J., Zuñiga, C., Mariño, M. A., Paredes, J. and M. Billib. 2004. Infiltration parameters for furrow irrigation. *Agric. Water Manag.*, 68: 19-32.
  12. Homae, M., Dirksen, C. and R. A. Feddes. 2002. Simulation of root water uptake. I. Nonuniform transient salinity stress using different macroscopic reduction functions. *Agric. Water Manage.*, 57(2):89-109.
  13. Khatri, K. L. and R. J. Smith. 2005. Evaluation of methods for determining infiltration parameters from irrigation advance data. *Irrig. Drain.*, 54: 467-482.
  14. Mailapalli, D. R., Raghuvanshia, N. S., Singh, R., Schmitz, G. H. and F. Lennartz. 2008. Spatial and temporal variation of Manning's roughness coefficient in furrow irrigation. *J. Irrig. Drain. Eng.* 134(2): 185-192.
  15. Mc Clymont, D. J. and R. J. Smith. 1996. Infiltration parameters from optimisation on furrow irrigation advance data. *Irrig. Sci.*, 17(1): 15-22.
  16. Rasoulzadeh, A. and A. R. Sepaskhah. 2003. Scaled infiltration equations for furrow irrigation. *Biosys. Eng.*, 86 (3): 375-383.
  17. Rodriguez, J. A. 2003. Estimation of advance and infiltration equations in furrow irrigation for untested discharges. *Agric. Water Manage.*, 60: 227-239.
  18. Rodriguez, J. A. and J. C. Martos. 2008. SIPAR\_ID: Freeware for surface irrigation parameter identification. *J. Environmental Modelling and Software*: 2 p. (In press).
  19. Shepard, J. S., Wallender, W. W. and J. W. Hopmans. 1993. One method for estimating furrow infiltration. *Trans. ASAE.*, 36 (2): 395-404.
  20. Strelkoff, T. S., Clemmens, A. J. and E. Bautista. 2009. Estimation of soil and crop hydraulic properties. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 135(5): 537-555.



21. Strelkoff, T. S., Clemmens, A. J., El-Ansary, M. and M. Awad. 1999. Surface irrigation evaluation models: Application to level basin in Egypt. *Trans. ASAE.*, 42(4): 1027–1036.
22. Upadhyaya, S. K. and N. S. Raghuvanshi. 1999. Semiempirical infiltration equations for furrow irrigation systems. *Irrig. Drain.*, 125(4): 173–178.
23. Valiantzas, J. D. 1994. Simple method for identification of border infiltration and roughness characteristics. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 120: 233–249.
24. Valiantzas, J. D., Aggelides, S. and, A. Sassalou. 2001. Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. *Agric. Water Manag.*, 52: 17-32.
25. Walker, W. R. 2003. SIRMOD III: Surface irrigation simulation, evaluation and design. Guide and technical documentation. Dept. of Biological and Irrigation Engineering. Utah State Univ., Logan, Utah.
26. Walker, W. R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 131(2): 129-136.