

## ارائه روش دو نقطه‌ای جدید به منظور برآورد پارامترهای نفوذپذیری در آبیاری جویچه‌ای و نواری و مقایسه آن با سایر روش‌ها

حامد ابراهیمیان<sup>۱\*</sup> - بهزاد قنبریان علویچه<sup>۲</sup> - فریبرز عباسی<sup>۳</sup> - عبدالحسین هورفر<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۱

تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۳۰

### چکیده

نفوذ، مهم‌ترین ترین و مشکل‌ترین پارامتر ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی است. اهمیت دانستن معادله نفوذ جهت تشریح هیدرولیک آبیاری سطحی، همراه با مشکلات تخمین قابل اطمینان پارامترهای آن، موجب صرف وقت و هزینه زیادی برای طراحی یک سامانه آبیاری می‌شود. هدف از این مطالعه، ارزیابی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذپذیری و ارائه روش دو نقطه‌ای جدیدی براساس معادله نفوذ فیلیپ است. در این راستا از هفت سری داده صحرائی با شرایط مختلف مزرعه‌ای از جمله طول، شیب و دبی ورودی استفاده گردید. همچنین با استفاده از مدل هیدرودینامیک نرم افزار SIRMOD و با تخمین پارامترهای معادله نفوذ به روش پیشنهادی و روش‌های دو نقطه‌ای ایوت و واکر، پیشروی بنامی و افین، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران و یک نقطه‌ای والیانتراس و همکاران، مراحل پیشروی و پسروی آبیاری شبیه‌سازی شدند تا دقت روش‌های مختلف تخمین پارامترهای معادله نفوذ مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان داد که در برآورد میزان آب نفوذیافته به خاک در آبیاری نواری روش پیشنهادی (۴/۸ درصد) و در آبیاری جویچه‌ای روش شپارد و همکاران (۱۳/۹ درصد) و روش پیشنهادی (۱۴/۲ درصد) دارای کمترین خطای نسبی می‌باشند. در پیش‌بینی مرحله پیشروی در آبیاری جویچه‌ای و نواری به ترتیب روش پیشروی بنامی و افین (۱۹/۵ درصد) و روش پیشنهادی (۶/۶ درصد) و در پیش‌بینی مرحله پسروی در آبیاری جویچه‌ای و نواری به ترتیب روش شپارد و همکاران (۱/۳ درصد) و روش پیشنهادی (۲/۲ درصد) دارای کمترین خطای استاندارد بودند.

**واژه‌های کلیدی:** روش دو نقطه‌ای، تخمین پارامترهای نفوذ، آبیاری جویچه‌ای، آبیاری نواری

### مقدمه

روش آبیاری متفاوت است. در آبیاری جویچه‌ای سطح خاک که در معرض نفوذ قرار دارد، تقریباً سهمی شکل است و نفوذ به صورت دو بعدی در اطراف جویچه صورت می‌گیرد. در واقع هر کدام از روش‌های اندازه‌گیری سرعت نفوذ که استفاده می‌شوند باید شرایط آبیاری را شبیه‌سازی کند (۱). روش‌هایی نظیر استوانه مضاعف شرایط دینامیکی مزرعه را در نظر نگرفته و برای تخمین بهتر پارامترهای نفوذ در آبیاری جویچه‌ای و نواری، روش‌های مختلفی ارائه شده‌اند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش حوضچه‌ای، جویچه مسدود، ورودی و خروجی، نفوذ سنج گردشی، دو نقطه‌ای ایوت و واکر (۹)، پیشروی بنامی و افین (۶)، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۴)، یک نقطه‌ای والیانتراس و همکاران (۱۶) و بهینه‌سازی چند سطحی واکر (۱۹) اشاره نمود.

بنهام و همکاران (۷) عملکرد دو معادله نفوذ کوستیاکف و کوستیاکف-لوئیس را برای سه حالت مختلف در سامانه آبیاری موجی مورد ارزیابی قرار دادند. در حالت اول از معادله کوستیاکف و در حالت های دوم و سوم از معادله کوستیاکف-لوئیس استفاده شد با این

از آنجا که سرعت نفوذ آب در خاک، تعیین کننده زمان تداوم آبیاری برای ذخیره نمودن مقدار مشخصی آب در داخل خاک بوده، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. در حقیقت نفوذ آب در خاک یکی از حساسترین پارامترهای هیدرولیکی مؤثر بر آبیاری سطحی و یکی 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. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری نفوذ وجود دارد و بسته به

۲۰۱- دانشجویان دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

\*- نویسنده مسئول: (Email: ebrahimian@ut.ac.ir)

۳- دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

۴- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

(۱۴) حاصل شده است.

خطری و اسمیت (۱۱) به ارزیابی شش روش نفوذپذیری برای تعیین پارامترهای نفوذ در آبیاری جویچه‌ای پرداختند. روش‌های مذکور شامل روش دو نقطه‌ای ایوت و واکر (۹)، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۴)، استفاده از مدل رایانه‌ای INFILT (۱۲)، یوپادایا و راقو وانسی (۱۷)، یک نقطه‌ای والیانتراس و همکاران (۱۶) و 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 ایوت و واکر (۹) و تابع خطی نفوذ نیز عملکرد خوبی داشتند.

در این مقاله، روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۴) اصلاح و روش پیشنهادی جدیدی که در واقع یک روش دو نقطه‌ای است معرفی گردیده است. دقت روش پیشنهادی با روش‌های دو نقطه‌ای ایوت و واکر، پیشروی بنامی و افن، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران و یک نقطه‌ای والیانتراس و همکاران در تخمین حجم آب نفوذ یافته به داخل خاک و مراحل پیشروی و پسروی در آبیاری جویچه‌ای و نواری مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### معادلات نفوذ

روش دو نقطه‌ای ایوت و واکر

اساس این روش بر پایه معادله پیوستگی و شکل نمایی مرحله 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 مرحله پیشروی برای تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس استفاده می‌شود. معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس به شکل زیر می‌باشد:

$$I = kt^a + f_0t \quad (1)$$

که در آن،  $I$  نفوذ تجمعی،  $t$  زمان و  $a$  ضرایب معادله نفوذ و  $f_0$  نفوذپذیری نهایی می‌باشند.

با در نظر گرفتن رابطه توانی زیر و لگاریتم‌گیری از طرفین رابطه و با استفاده از دو نقطه از منحنی پیشروی، ضرایب ثابت  $p$  و  $r$  قابل محاسبه می‌باشند.

$$x = pt^r \quad (2)$$

و نهایتاً پارامترهای معادله کوستیاکف-لوئیس از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$a = \frac{\log\left[\frac{Q_1t_1}{x_1} - \bar{A}_1 - \frac{f_0t_1}{1+r}\right] - \log\left[\frac{Q_2t_2}{x_2} - \bar{A}_2 - \frac{f_0t_2}{1+r}\right]}{\log(t_1/t_2)} \quad (3)$$

تفاوت که در حالت دوم مقدار سرعت نفوذ پایه بر اساس هیدروگراف دبی ورودی و خروجی در کل زمان آبیاری تعیین گردید ولی در حالت سوم با استفاده از داده‌های پیشروی اولین موج مقدار آن تخمین زده شد. در هر سه حالت مدل CRTM که توسط بلایر و اسمردون (۸) برای سامانه آبیاری موجی ارائه شده بود، اجرا شد و مقدار نفوذ برای هر سه حالت مشخص گردید. نتایج نشان داد که معادله کوستیاکف-لوئیس از دقت بالاتری نسبت به معادله کوستیاکف برخوردار بوده و همچنین در حالت دوم مقدار خطای کمتری نسبت به حالت سوم وجود داشته است.

رسول زاده و سپاسخواه (۱۳) اظهار نمودند که تغییرات مکانی سرعت نفوذ، مدیریت آبیاری جویچه‌ای را پیچیده‌تر می‌کند. زیرا که خصوصیات نفوذ آب به داخل خاک ممکن است در مقادیر متفاوت سرعت جریان آب به داخل جویچه، شکل هندسی مقطع و حجم جریان ورودی تغییر نماید. بنابراین ارائه یک معادله عمومی برای نفوذ بسیار مشکل می‌باشد. برای یافتن یک معادله عمومی نفوذ، هشت معادله مختلف نفوذ برای شش سری نمونه خاک استفاده شد. با آنالیز ابعادی، بهترین معادله برای فاکتور مقیاس (scaling factor) به دست آمد که تابعی از محیط خیس شده و حجم ورودی آب به داخل خاک بود. بنابراین با استفاده از این فاکتور مقیاسه، معادلات نفوذ متفاوت ارائه شد. ارزیابی معادلات نفوذ مقیاس شده (scaled) نشان داد که این معادلات برای سایر جویچه‌ها با بافت و شرایط هیدرولیکی متفاوت قابل استفاده می‌باشند و مقدار نفوذ را با دقت بسیار مناسبی تخمین می‌زنند.

هولزافل و همکاران (۱۰) 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 ایوت و واکر (۹)، نفوذسنج جویچه (روش ورودی و خروجی)، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۴) و پیشروی بنامی و افن (۶) 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 بوده است و مستقل از نوع روش به کار رفته بود. در حالی که منحنی نفوذ تجمعی برای جویچه‌های عریض بستگی به نوع روش داشته است. با استفاده از ثابت‌های معادله کوستیاکف به دست آمده در هر چهار روش و با بکارگیری مدل موج سینماتیک، مرحله پیشروی در جویچه‌ها تخمین زده شد. نتایج نشان داد که برای جویچه‌های عریض، روش دو نقطه‌ای ایوت 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

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. عیب اصلی این روش آن است که مقدار  $r$  به ندرت  $0/5$  می‌باشد.

معادله نفوذ فیلیپ که در این روش استفاده شده، به شکل زیر است:

$$I = St^{0.5} + At \quad (11)$$

که در آن،  $A$  و  $S$  ضرایب ثابت معادله بوده و از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$A = \frac{3\bar{A}_2}{t_2} \quad (12)$$

$$S = \frac{Q_2 t_2 - 3\bar{A}_2 x_2}{\frac{\pi}{4} t_2^{0.5} x_2} \quad (13)$$

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

### روش یک نقطه‌ای والیانتراس و همکاران

این روش براساس بیان حجمی آب استوار بوده و فقط از نقطه انتهایی مرحله پیشروی به منظور تخمین پارامترهای معادله نفوذ  $SCS$  استفاده می‌نماید. مزیت این روش آن است که برخلاف روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۴) معادله پیشروی را محدود به فرم  $x = pt^{0.5}$  نمی‌کند و همان فرم واقعی آن ( $x=pt'$ ) را در نظر می‌گیرد. به همین خاطر این روش قدری دقیق‌تر از روش شپارد و همکاران (۱۴) می‌باشد (۱۶).

معادله نفوذ  $SCS$  در آبیاری جویچه‌ای عبارتست از (۱۵):

$$I = (kt^a + c) \frac{P}{W} \quad (14)$$

که در آن،  $I$  مقدار نفوذ تجمعی،  $k$  و  $a$  ضرایب ثابت،  $c$  برابر با  $7$  میلیمتر،  $W$  عرض جویچه یا نوار و  $P$  محیط خیس شده می‌باشد که از رابطه تجربی زیر که توسط  $SCS$  ارائه شده است، محاسبه می‌شود:

$$P = 0.265 \left[ \frac{60Q_0 n}{1000\sqrt{S_0}} \right]^{0.425} + 0.227 \quad (15)$$

در رابطه فوق،  $n$  ضریب مانینگ،  $S_0$  شیب کف مزرعه و  $Q_0$  دبی ورودی ( $m^3/min$ ) است.

والیانتراس و همکاران (۱۶) رابطه زیر را برای تخمین پارامتر  $k$  به صورت تابعی از  $a$  با استفاده از روش حداقل مربعات ارائه و ادعا نمودند که خطای آن کمتر از  $5$  درصد می‌باشد:

$$k = \frac{\left[ \frac{Q_1 t_1}{x_1} - \bar{A}_1 - \frac{f_0 t_1}{1+r} \right]}{\sigma_z t_1^a} \quad (4)$$

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

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

### روش پیشروی بنامی و اُفن

روش پیشروی بنامی و اُفن (۶) برای تخمین ثابت‌های معادله کوستیاکف ارائه شد. 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. مزیت روش مذکور این است که فرایند نفوذ را ممکن است به طور دقیق بیان کند ولی از معایب این روش، نیاز به داده‌برداری زیاد است. چون باید چندین اندازه‌گیری در گام‌های زمانی مختلف برای ثبت پیشروی آب در طول جویچه انجام داد. معادله نفوذ کوستیاکوف به شکل زیر می‌باشد:

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

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

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

که در آن،  $w$  و  $z$  ضرایب ثابت می‌باشند.

با برازش داده‌های دبی ورودی جریان، زمان پیشروی در فاصله  $x$  و متوسط سطح مقطع جریان، ضرایب  $m$  و  $u$  طبق رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشند:

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

نهایتاً پارامترهای معادله کوستیاکف ( $a, k$ ) از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$u = z(a+1) + 1 \quad (9)$$

$$m = \frac{kw^{a+1}}{(a+1)[z(a+1)+1]} \quad (10)$$

### روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران

این روش مشابه روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۹) 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

$$Qt = \bar{A}x + \int_0^x I ds \quad (22)$$

با ترکیب روابط (۲۱) و (۲۲) داریم:

$$Qt = \bar{A}x + \int_0^x S \left( \left[ \frac{x}{p} \right]^{1/r} - \left[ \frac{s}{p} \right]^{1/r} \right)^{0.5} ds + \int_0^x A \left( \left[ \frac{x}{p} \right]^{1/r} - \left[ \frac{s}{p} \right]^{1/r} \right) ds \quad (23)$$

با انتگرال‌گیری از رابطه فوق و با اندازه‌گیری دو نقطه از مرحله پیشروی  $x_1$  و  $x_2$  پارامترهای معادله فیلیپ  $A$  و  $S$  از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$A = \frac{[(Q_0 t_2 - \bar{A}_2 x_2) x_1^{1+1/2r} - (Q_0 t_1 - \bar{A}_1 x_1) x_2^{1+1/2r}] (1+r) p^{1/r}}{x_2^{1+1/r} x_1^{1+1/2r} - x_2^{1+1/2r} x_1^{1+1/r}} \quad (24)$$

$$S = \frac{2\Gamma(r+3/2) [Q_0 t_2 - \bar{A}_2 x_2 - (A x_2^{1+1/r} / ((1+r) p^{1/r}))]}{\sqrt{\pi} \Gamma(r+1) x_2 (x_2/p)^{1/2r}} \quad (25)$$

### داده‌های مورد استفاده

در این مقاله، از هفت سری داده آبیاری جویچه‌ای و نواری شامل اطلاعات مراحل پیشروی و پسروی و هیدروگراف جریان ورودی و خروجی به منظور بررسی دقت روش‌های مختلف برآورد پارامترهای نفوذ در آبیاری نواری و جویچه‌ای استفاده گردید. مشخصات داده‌های صحرائی برای آبیاری جویچه‌ای و نواری به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. داده‌های سری ۱، ۲ و ۳ آبیاری جویچه‌ای به ترتیب از عباسی و همکاران (۴)، واکر و اسکوگرو (۲۰) و عباسی و همکاران (۳) و داده‌های سری ۱، ۲ و ۳ آبیاری نواری از عباسی و همکاران (۳) و داده سری ۴ از عباسی (۲) گرفته شده است.

### نتایج و بحث

به منظور ارزیابی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ، حجم آب نفوذیافته در طول جویچه یا نوار با استفاده از روش‌های پیشنهادی، دو نقطه‌ای البوت و واکر، پیشروی بنامی و افن، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران و یک نقطه‌ای والیانتراس و همکاران برآورد و با حجم آب نفوذیافته که با استفاده از هیدروگراف جریان ورودی - خروجی محاسبه شد، مقایسه گردید. برای ارزیابی روش‌ها در تخمین حجم آب نفوذیافته از معیار خطای نسبی ( $RE$ ) بر حسب درصد استفاده گردید (معادله (۲۶)).

$$RE = \frac{V_p - V_m}{V_m} \times 100 \quad (26)$$

که در آن،  $V_p$  و  $V_m$  به ترتیب حجم آب نفوذ یافته تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده می‌باشد.

همچنین با استفاده از مدل هیدرودینامیک نرم‌افزار *SIRMOD* (۱۸) و پارامترهای تخمینی معادله نفوذ به پنج روش ارائه شده در این مقاله، مرحله پیشروی و پسروی برای داده‌های مورد استفاده شبیه‌سازی شدند تا دقت این روش‌ها بررسی شود. به منظور مقایسه

$$k(a) = \frac{14088a^{45} + 0.148(-\ln a)^{-1.652}}{1000} \quad (16)$$

در روش پیشنهادی والیانتراس و همکاران (۱۶) برای تخمین پارامترهای  $k$  و  $a$  از معادلات زیر استفاده می‌شود:

$$\begin{cases} Q_0 t_2 - \sigma_y A_0 x_2 - c P x_2 = \sigma_z k P t_2^a x_2 \\ Q_0 t_1 - \sigma_y A_0 x_1 - c P x_1 = \sigma_z k P t_1^a x_1 \end{cases} \quad (17)$$

که در آن،  $\sigma_y$  فاکتور ذخیره سطحی است.

از معادلات (۱۷) خواهیم داشت:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{Q_0 t_1}{\left[ (1/2)^a (Q_0 t_2 - \sigma_y A_0 x_2 - c P x_2) + \sigma_y A_0 x_2 - c P x_2 \right]} \quad (18)$$

و براساس معادله پیشروی داریم:

$$r = \frac{\log(x_1/x_2)}{\log(t_1/t_2)} = \frac{\log \left( \frac{(0.5 Q_0 t_2)}{\left[ 0.5^a (Q_0 t_2 - \sigma_y A_0 x_2 - c P x_2) + \sigma_y A_0 x_2 + c P x_2 \right]} \right)}{\log(1/2)} \quad (19)$$

با توجه به معادلات ۱۷، ۱۸ و ۱۹ و با سعی خطا می‌توان

پارامترهای  $k$  و  $a$  را بدست آورد.

### روش دو نقطه‌ای پیشنهادی

در این مقاله، روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۴) اصلاح و روش دو نقطه‌ای جدیدی برای تخمین پارامترهای نفوذ ارائه شده است. در این روش همانند روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۴) از معادله فیلیپ و بیلان حجمی آب به منظور پیش‌بینی میزان نفوذ به داخل خاک در طول جویچه استفاده می‌شود. با این تفاوت که به جای فرض  $r=0.5$  مقدار آن مانند روش البوت و واکر (۹) با استفاده از دو نقطه میانی و انتهای داده‌های مرحله پیشروی تعیین می‌گردد. مزیت این روش نسبت به روش دو نقطه‌ای البوت و واکر در کم بودن تعداد پارامترهای معادله فیلیپ نسبت به معادله کوستیاکوف - لوئیس است. برای تخمین پارامترهای معادله کوستیاکوف - لوئیس ابتدا باید نفوذپذیری نهایی ( $f_0$ ) اندازه‌گیری شود. معمولاً  $f_0$  به روش ورودی - خروجی تعیین می‌گردد که نیازمند وقت و هزینه است. در حالیکه روش پیشنهادی نیازی به اندازه‌گیری این پارامتر ندارد.

در این روش معادله توانی مرحله پیشروی به شکل زیر می‌باشد:

$$x = p t^r \quad (20)$$

با جایگزین کردن پارامتر زمان از رابطه (۲۰) در معادله نفوذ

فیلیپ در بازه زمانی  $t$  و  $t_s$  خواهیم داشت:

$$I = S \left( \left[ \frac{x}{p} \right]^{1/r} - \left[ \frac{s}{p} \right]^{1/r} \right)^{0.5} + A \left( \left[ \frac{x}{p} \right]^{1/r} - \left[ \frac{s}{p} \right]^{1/r} \right) \quad (21)$$

که در آن،  $t_s$  مدت لازم برای رسیدن آب به فاصله  $s$  از ابتدای

جویچه یا نوار می‌باشد.

معادله بیلان حجم مطابق رابطه زیر است:

یا نوار در جدول ۳ ارائه شده‌اند. این نتایج نشان می‌دهند که روش شپارد و همکاران (۱۴) و روش ارائه شده در این مقاله با متوسط خطای نسبی (RE) ۱۳/۹ درصد و ۴/۸ درصد به ترتیب برای آبیاری جویچه‌ای و نواری دارای دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها در تخمین حجم آب نفوذیافته به خاک می‌باشند. این در حالی است که متوسط خطای نسبی در برآورد حجم آب نفوذ یافته در آبیاری جویچه‌ای برای روش پیشنهادی برابر ۱۴/۲ درصد بدست آمده است که در مقایسه با متوسط خطای نسبی روش شپارد و همکاران (۱۴) اختلاف ناچیزی دارد.

روش‌ها در تخمین زمان‌های پیشروی و پسروی از شاخص خطای استاندارد (SE) بر حسب درصد استفاده شد که با توجه به رابطه زیر محاسبه گردید:

$$SE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [O_i - P_i]^2}}{\bar{P}} \quad (27)$$

در رابطه فوق،  $n$  تعداد اندازه‌گیری‌ها،  $O_i$  مقدار اندازه‌گیری شده،  $P_i$  مقدار تخمین زده شده و  $\bar{P}$  متوسط مقادیر تخمین زده شده می‌باشد.

نتایج به دست آمده از بررسی حجم آب نفوذیافته در طول جویچه

جدول ۱- مشخصات داده‌های صحرائی مورد استفاده برای آبیاری جویچه‌ای

داده‌ها			پارامتر		
نام	علامت	واحد	سری ۱*	سری ۲**	سری ۳***
دبی ورودی	$q_0$	lit/s	۱/۵۹	۲/۹۰	۱/۳۰۶
شیب جویچه	$S_0$	m/m	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۲۵	۰/۰۱۷۵
ضریب مانینگ	$n$	-	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳
طول جویچه	$L$	m	۱۶۰	۳۵۰	۲۰۰
زمان قطع جریان	$T_{co}$	min	۱۵۰	۱۷۰	۱۲۱
عرض جویچه	$W$	m	۰/۷۵	۱/۵	۰/۷۵
پارامترهای هیدرولیکی	$\rho_1$	-	۰/۳۹	۰/۵۴۰	۰/۴۲۲
مقطع	$\rho_2$	-	۲/۸۰	۲/۹۰۲	۲/۷۹۱
بافت خاک	-	-	لوم	شن لومی	لوم سیلتی رسی
نوبت آبیاری	-	-	۱	۸	۲

\* عباسی و همکاران (۳)، \*\* واکر و اسکوگربو (۲۰)، \*\*\* عباسی و همکاران (۴)

جدول ۲- مشخصات داده‌های صحرائی مورد استفاده برای آبیاری نواری

داده‌ها				پارامتر		
نام	علامت	واحد	سری ۱*	سری ۲**	سری ۳*	سری ۴**
دبی ورودی	$q_0$	lit/s/m	۱/۱۱	۱/۶۶	۱/۳۷	۰/۹۸
شیب نوار	$S_0$	m/m	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۱۵۶
ضریب مانینگ	$n$	-	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴۹
طول نوار	$L$	m	۱۸۰	۱۸۰	۱۷۰	۱۴۷
زمان قطع جریان	$T_{co}$	min	۳۲۰	۲۷۰	۲۶۰	۲۰۵
عرض نوار	$W$	m	۸	۸	۸	۷/۲
پارامترهای هیدرولیکی	$\rho_1$	-	۱	۱	۱	۱
مقطع	$\rho_2$	-	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳	۳/۳۳
بافت خاک	-	-	لوم رسی سیلتی	لوم رسی سیلتی	لوم رسی سیلتی	لوم رسی سیلتی
نوبت آبیاری	-	-	۱	۱	۱	۱

\* عباسی و همکاران (۳)، \*\* عباسی (۲)

جدول ۳- میزان خطای نسبی در برآورد حجم آب نفوذ یافته در طول جویچه یا نوار به پنج روش مختلف

نام روش	خطای نسبی (درصد)									
	آبیاری جویچه‌ای					آبیاری نواری				
	سری ۱	سری ۲	سری ۳	سری ۴	میانگین	سری ۱	سری ۲	سری ۳	سری ۴	میانگین
روش پیشنهادی	۲۷/۴	-۶/۹	-۸/۴	۱۴/۲	۷/۲	-۱/۶	-۲/۱	۸/۲	۴/۸	۴/۸
بنامی و افن	-۱۲/۴	-۵۹/۰	-۳۱/۸	۳۴/۴	۲۴/۶	-۲۷/۷	-۱۰/۹	۲۳/۳	۲۱/۶	۲۱/۶
والیانتراس و همکاران	۳۴/۵	-۲۰/۱	۲۹/۳	۲۷/۹	۴/۲	۱/۳	-۰/۶	۶۳/۹	۱۷/۵	۱۷/۵
شپارد و همکاران	۳۸/۱	۲/۲	۱/۴	۱۳/۹	۶/۴	۰/۰	-۱/۱	۳۶/۸	۱۱/۱	۱۱/۱
الیوت و واکر	۴۸/۵	۱۹/۴	۱/۹	۲۳/۳	۲۲/۹	۶/۳	۷/۰	۸/۶	۱۱/۱	۱۱/۱

میزان خطای استاندارد ( $SE$ ) در پیش‌بینی مراحل پیشروی و پسروی در جدول ۴ آورده شده است. همچنین به طور نمونه نتایج بدست آمده از پیش‌بینی مرحله پیشروی برای سری دوم داده‌های آبیاری جویچه‌ای و نواری در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. همانطور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود برای آبیاری جویچه‌ای روش بنامی و افن با متوسط خطای استاندارد ۱۹/۵ درصد از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بوده در حالی که در آبیاری نواری روش پیشنهادی این مقاله با متوسط خطای استاندارد ۶/۶ درصد با اختلاف قابل توجهی نسبت به سایر روش‌ها، مرحله پیشروی را با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌نماید. از آنجا که روش پیشروی بنامی و افن (۶) برای آبیاری جویچه‌ای ارائه شده است و در این روش هم نیاز به داده‌برداری زیاد در ایستگاه‌های مختلف در طول جویچه می‌باشد، این روش قادر است تا مرحله پیشروی را در آبیاری جویچه‌ای نسبت به

سایر روش‌ها با دقت بالاتری پیش‌بینی نماید.

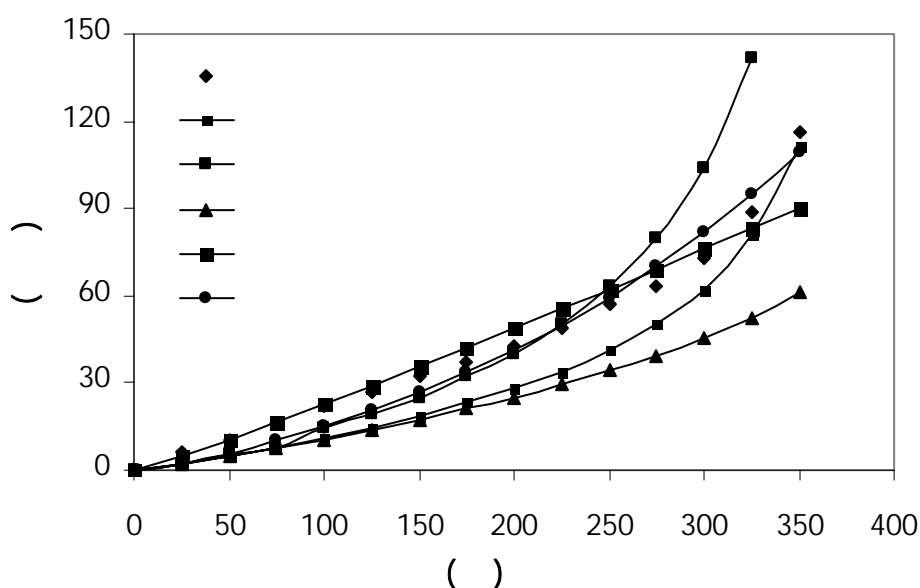
همانگونه که ملاحظه می‌شود میزان خطای استاندارد در پیش‌بینی مرحله پسروی (جدول ۴) به مقدار قابل توجهی کمتر از میزان خطای استاندارد در پیش‌بینی مرحله پیشروی بوده که حاکی از حساسیت مرحله پیشروی به پارامترهای معادله نفوذ می‌باشد. این در حالی است که متوسط خطای استاندارد در پیش‌بینی مرحله پسروی در تمامی روش‌ها کمتر از ۴ درصد می‌باشد. واکر (۱۹) نیز با آنالیز حساسیت نشان داد که پارامترهای نفوذ و ضریب مانینگ به ترتیب بیشترین تاثیر را بر منحنی پیشروی و منحنی پسروی داشتند. در تخمین مرحله پسروی آبیاری جویچه‌ای، روش شپارد و همکاران (۱۴) با خطای ۱/۳ درصد و در آبیاری نواری، روش پیشنهادی با متوسط خطای ۲/۲ درصد دارای بیشترین دقت بودند.

جدول ۴- میزان خطای استاندارد (درصد) در پیش‌بینی مراحل پیشروی و پسروی در آبیاری جویچه‌ای و نواری به پنج روش مختلف با استفاده از

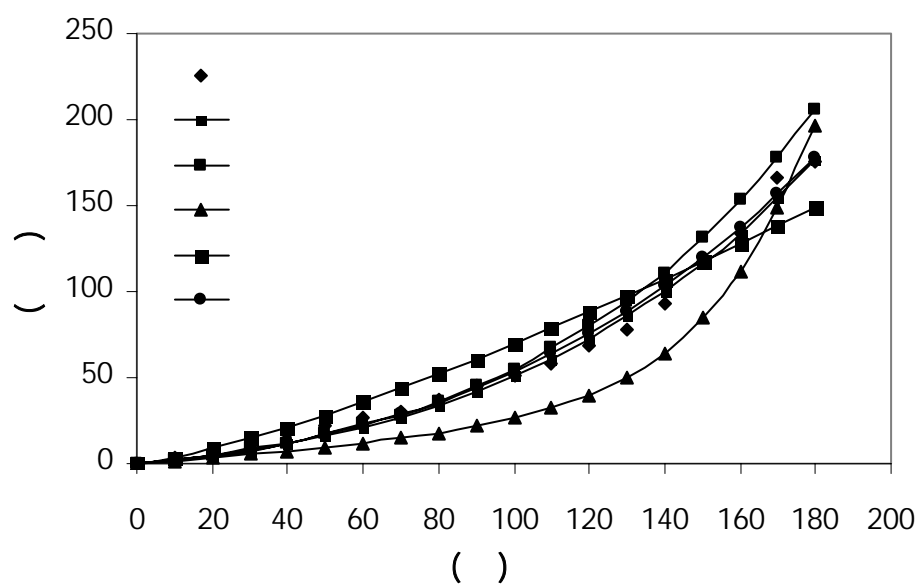
مدل هیدرودینامیک بسته SIRMOLD

روش آبیاری	داده‌ها	روش پیشنهادی	بنامی و افن	والیانتراس و همکاران	شپارد و همکاران	الیوت و واکر
جویچه‌ای	سری ۱	۱۳۵/۲	۱۵/۹	۵۹/۷	۲۴/۷	۳۸/۴
		(۳/۳)*	(۲/۳)	(۱/۶)	(۱/۰)	(۲/۵)
	سری ۲	۱۲/۸	۱۷/۹	۹۳/۴	۳۴/۰	۴۲/۳
		(۳/۳)	(۲/۳)	(۱/۵)	(۱/۶)	(۲/۰)
	سری ۳	۱۹/۰	۲۴/۷	۳۷/۷	۱۴/۲	۱۵/۶
		(۰/۹)	(۲/۳)	(۱/۴)	(۱/۳)	(۰/۹)
نواری	میانگین	۵۵/۷	۱۹/۵	۶۳/۶	۲۴/۳	۳۲/۱
		(۳/۷)	(۲/۳)	(۱/۵)	(۱/۳)	(۱/۸)
	سری ۱	۶/۷	۴۳/۷	۵۶/۶	۵/۰	۴۳/۷
		(۲/۱)	(۲/۶)	(۱/۷)	(۲/۷)	(۷/۲)
	سری ۲	۸/۹	۲۲/۴	۴۵/۳	۸/۳	۱۷/۵
		(۱/۹)	(۵/۱)	(۱/۲)	(۱/۸)	(۱/۹)
سری ۳	۴/۷	۲۱/۳	۴۵/۰	۵/۱	۲۲/۴	
	(۳/۱)	(۴/۷)	(۲/۳)	(۲/۹)	(۲/۳)	
سری ۴	۶/۲	۲۲/۵	۵۳/۷	۴۴/۲	۸/۹	
	(۱/۶)	(۲/۴)	(۷/۵)	(۷/۷)	(۲/۷)	
میانگین	۶/۶	۲۷/۵	۵۰/۲	۱۵/۶	۲۳/۱	
	(۲/۲)	(۳/۷)	(۳/۲)	(۳/۸)	(۳/۵)	

\* اعداد داخل پرانتز مربوط به مرحله پسروی می‌باشد.



شکل ۱- مقایسه مرحله پیشروی اندازه گیری و پیش بینی شده با استفاده از مدل هیدرودینامیک بسته SIRMOD به پنج روش مختلف برای آبیاری جویچه‌ای (داده سری دوم)



شکل ۲- مقایسه مرحله پیشروی اندازه گیری و پیش بینی شده با استفاده از مدل هیدرودینامیک بسته SIRMOD به پنج روش مختلف برای آبیاری نواری (داده سری دوم)

### نتیجه گیری

نفوذ یافته به خاک در آبیاری نواری روش پیشنهادی در این مقاله (۴/۸ درصد) و در آبیاری جویچه‌ای روش شپارد و همکاران (۱۳/۹ درصد) و روش پیشنهادی (۱۴/۲ درصد) دارای کمترین خطای نسبی می‌باشند. در پیش بینی مرحله پیشروی با استفاده از مدل

در ارزیابی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ پذیری خاک در آبیاری سطحی، نتایج بدست آمده نشان داد که در برآورد میزان آب

پسروی تخمین زده شده به پارامترهای معادله نفوذ چندان حساس نبوده و روش‌های مختلف متوسط خطای استاندارد کمی کمتر از ۴ درصد را داشتند. می‌توان اذعان داشت که روش پیشنهادی این مقاله برای تخمین پارامترهای نفوذ در آبیاری نواری مناسب می‌باشد.

هیدرودینامیک نرم‌افزار SIRMOD و پارامترهای معادله نفوذ تخمین زده شده به روش‌های مختلف در آبیاری جویچه‌ای و نواری به ترتیب روش پیشروی بنامی و افن (۱۹/۵ درصد) و روش پیشنهادی (۶/۶ درصد) دارای کمترین خطای استاندارد بوده در حالیکه مرحله

## منابع

- ۱- سهرابی ت. و پایدار ز. ۱۳۸۴. طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۶ صفحه.
- ۲- عباسی ف. ۱۳۷۴. استفاده از مدل‌های ریاضی در طراحی آبیاری نواری. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳- عباسی ف.، جلیلی م.، طایفه رضایی ح. و شوشتری م.م. ۱۳۷۸. توسعه یک مدل ریاضی برای ارزیابی و طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. گزارش فنی، شماره ۱۲۲، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
- ۴- عباسی ف.، طایفه رضایی ح. و جلیلی م. ۱۳۸۷. بررسی امکان کود آبیاری در رژیم‌های آبیاری جویچه‌ای. گزارش پژوهشی نهایی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
- 5- Austin N.R., and Prendergast J.B. 1997. Use of kinematic wave theory to model irrigation on a cracking soil. *Irrigation Science*, 18:1-10.
- 6- Benami A., and Ofen A. 1984. *Irrigation Engineering: Sprinkler, Trickle, Surface Irrigation. Principles, Design and Agricultural Practices*. Irrigation Engineering Scientific Publication, IIC Bet Dagan, Israel.
- 7- Benham B.L., Reddel D.L., and Marek T.H. 2000. Performance of three infiltration model under surge irrigation. *Irrigation Science*, 20:37-43.
- 8- Blair A., and Smerdon E.T. 1985. Effect of wetted perimeters on infiltration in furrow. In: *Proceeding of the 1985 ASCE Irrigation and Drainage Specialty Conference on Development and Management Aspects of Irrigation and Drainage Systems*, pp. 162-169.
- 9- Elliott R.L., and Walker W.R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Transaction ASAE*, 25:396-400.
- 10- Holzapfel E.A., Jara J., Zuñiga C., Mariño M.A., Paredes J., and Billib M. 2004. Infiltration parameters for furrow irrigation. *Agricultural Water Management*, 68:19-32.
- 11- 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
- 12- McClymont D.J., and Smith R.J. 1996. Infiltration parameters from optimisation on furrow irrigation advance data. *Irrigation Science*, 17(1):15-22.
- 13- Rasoulzadeh A., and Sepaskhah A.R. 2003. Scaled infiltration equations for furrow irrigation. *Biosystem Engineering*, 86(3):375-383.
- 14- Shepard J.S., Wallender W.W., and Hopmans J.W. 1993. One method for estimating furrow infiltration. *Transaction ASAE*, 36(2):395-404.
- 15- U.S. Department of Agriculture. 1984. *National engineering handbook*. Chap.5, Sec.15, National Technical Information Service, USDA, Washington, D.C.
- 16- Valiantzas J.D., Aggelides S., and Salsalou A. 2001. Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. *Agricultural Water Management*, 52:17-32.
- 17- Upadhyaya S.K., and Raghuvanshi N.S. 1999. Semiempirical infiltration equations for furrow irrigation systems. *Irrigation and Drainage*, 125(4):173-178.
- 18- Walker W.R. 2003. *SIRMOD III – Surface Irrigation Simulation, Evaluation and Design. User's Guide and Technical Documentation*. Utah State University, Logan, USA.
- 19- Walker W.R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. *Irrigation and Drainage Engineering*, 131(2):129-136.
- 20- Walker W.R., and Skogerboe G.V. 1987. *Surface Irrigation: Theory and Practice*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, USA.



## A New Two-Point Method for Estimating Infiltration Parameters in Furrow and Border Irrigation and Comparison with other Methods

H. Ebrahimian<sup>1\*</sup> - B. Ghanbarian-Alavijeh<sup>2</sup> - F. Abbasi<sup>3</sup> - A. H. Hoorfar<sup>4</sup>

### Abstract

Infiltration is the most important and difficult property in evaluation of surface irrigation systems. The importance of knowing infiltration equation for interpretation of surface irrigation hydraulic and difficulties of accurate estimation of infiltration parameters led to consuming time and cost in designing irrigation systems. In fact, the objective of this study was to present a new developed method for estimating Philip infiltration equation parameters by using two points of advance phase and compare this method with Elliott and Walker two-point method, Benami and Ofen advance method, Shepard et al. and Valiantzas et al. one-point methods. For this purpose, seven data sets measured in the field under different conditions e.g. length, slope and discharge flow were used. By using Hydrodynamic model (SIRMOD software) and estimated infiltration equation parameters by different 5 methods above, advance and recession phases were simulated in order to investigate the accuracy of estimated infiltration equation parameters. The results showed that developed method in this study had the lowest error (4.8%) for border irrigation and Shepard et al. (13.9%) and developed (14.2%) methods had the lowest error for furrow irrigation in estimating total infiltrated volume. Benami and Ofen (19.5%), and developed (6.6%) methods had the lowest standard error in prediction of advance phase for furrow and border irrigations, respectively. Whereas in prediction of recession phase, Shepard et al. and developed methods had the best accuracy for furrow and border irrigations, respectively.

**Keywords:** Two-point method, Infiltration parameters estimation, Furrow irrigation, Border Irrigation

---

1,2- PhD Student of Irrigation and Drainage, Dept. of Irrigation and Reclamation, University of Tehran

(\* - Corresponding Author Email: ebrahimian@ut.ac.ir)

3- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI)

4- Associate Professor, Dept. of Irrigation and Reclamation, University of Tehran