دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی
۲ خرداد ماه ۱۳۸۷

ارزیابی روش‌های مختلف تخمین ویژگی‌های نفوذپذیری در آبیاری جویچه‌ای و نواری

حامد ابراهیمیان[۱]، بهزاد قنبریان[۲]، فریبرز عباسی[۳]

چکیده

نفوذ، مهمترین‌ترین و مشکل‌ترین پارامتر برای ارزیابی در 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. از آنجایی که ویژگی‌های نفوذ تابعی از زمان و مکان بوده در نتیجه تعداد نسبتاً زیادی اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای نیاز است تا بیانی از متوسط شرایط مزرعه باشد. روش‌هایی نظیر استوانه مضاعف شرایط دینامیکی مزرعه را در نظر نگرفته و برای تخمین بهتر پارامترهای نفوذ در آبیاری جویچه‌ای و نواری، روش‌های مختلفی مانند دو نقطه‌ای الیوت و واکر، پیشروی بِنامی و اُفِن، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران و روش یک نقطه‌ای والیانتزاس و همکاران ارایه شده‌اند. بنابراین هدف از این مطالعه، ارزیابی روش‌های مذکور و روش دو نقطه‌ای جدیدی که بر مبنای تئوری شپارد و همکاران در این تحقیق توسعه داده شد، می‌باشد. در این راستا از ۵ سری داده صحرایی با شرایط مختلف مزرعه‌ای از جمله طول، شیب و دبی ورودی استفاده گردید. همچنین با استفاده از مدل هیدرودینامیک کامل و با تخمین پارامترهای معادله نفوذ به پنج روش مذکور، فاز پیشروی و پسروی آبیاری شبیه‌سازی شدند تا دقت پارامترهای معادله نفوذ تخمین زده شده مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان داد که در برآورد میزان آب نفوذیافته در آبیاری جویچه‌ای و نواری به ترتیب روش پیشنهادی این مقاله و روش والیانتزاس و همکاران دارای کمترین مقدار خطای نسبی می‌باشند. در پیش‌بینی فاز پیشروی در آبیاری جویچه‌ای و نواری به ترتیب روش پیشروی بنامی و افن و روش شپارد

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
۲- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
۳- عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

و همکاران و در پیش‌بینی فاز پسروی در آبیاری جویچه‌ای و نواری به ترتیب روش شپارد و همکاران و والیانتزاس و همکاران دارای بیشترین دقت بودند.

واژه‌های کلیدی: تخمین پارامترهای نفوذ، آبیاری جویچه‌ای، آبیاری نواری

۱- مقدمه

از آنجائیکه 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 موثر 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 داشته و بسته به نوع آبیاری متفاوت است. در آبیاری جویچه‌ای سطح خاک که در معرض نفوذ قرار داشته سهموی بوده و نفوذ به صورت افقی و عمودی در اطراف جویچه صورت می گیرد. در واقع هر کدام از روش‌های اندازه‌گیری سرعت نفوذ که استفاده می‌شوند باید شرایط آبیاری را شبیه‌سازی کند (سهرابی و پایدار، ۱۳۸۴). از جمله این روش‌ها می‌توان به روش حوضچه‌ای، روش جویچه مسدود، روش ورودی و خروجی، روش نفوذ سنج گردشی جویچه، روش دو نقطه‌ای (الیوت و واکر، ۱۹۸۲)، روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹۹۳)، روش یک نقطه‌ای والیانتزاس و همکاران (۲۰۰۱)، روش پیشروی (بِنامی و اُفِن، ۱۹۸۴) و روش بهینه‌سازی چند سطحی (واکر، ۲۰۰۵) اشاره نمود.

بنهام و همکاران (۲۰۰۰) 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 حالت‌های دوم و سوم از معادله کوستیاکف- لوئیس استفاده شد با این 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 (۱۹۸۷) برای سامانه آبیاری موجی ارایه 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 (۲۰۰۳) 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 بداخل جویچه، شکل هندسی مقطع، حجم جریان ورودی تغییر نماید. بنابراین ارایه 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) بدست آمد که تابعی از محیط خیس شده و حجم ورودی آب به داخل خاک بود. بعلاوه فاکتور دیگری ارایه شد که عرض جویچه را به عنوان یک پارامتر ساده و قابل استفاده در بر دارد. بنابراین با استفاده از این فاکتور، مقایسه معادله‌های نفوذ متفاوتی ارایه شد. ارزیابی معادله‌های 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. بنابراین عمومیت داشتن معادلات نفوذ مقیاس شده که در این تحقیق بدست آمده‌اند می‌تواند در محدوده بزرگی از شرایط خاک و مشخصه‌های هیدرولیکی جویچه استفاده شود. نتایج نشان داد که معادله‌های مقایسه‌ای برای تخمین نفوذ آب در آبیاری موجی نیز دارای دقت بالایی می‌باشند. همچنین معادلات نفوذ مقیاس شده که در این تحقیق ارایه شد، در خاک‌های سنگین رسی ترک‌دار که جریان نفوذ اولیه بیشتر از طریق ترک‌های سطحی وارد خاک می‌شود قابل استفاده نمی‌باشند.

هولزافل و همکاران (۲۰۰۴) به ارزیابی ۴ 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 (۱۹۸۲)، روش نفوذسنج جویچه (روش ورودی و خروجی)، روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹۹۳) و روش پیشروی بنامی و افن (۱۹۸۴) 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 ۴ روش تقریباً مشابه بوده است و مستقل از نوع روش به کار رفته بود. در حالیکه منحنی نفوذ تجمعی برای جویچه‌های عریض بستگی به نوع روش داشته است. با استفاده از ثابت‌های معادله کوستیاکف بدست آمده در هر ۴ روش و با بکارگیری مدل موج کینماتیکی، فاز پیشروی در جویچه‌ها تخمین زده شد. نتایج نشان داد که برای جویچه‌های عریض، روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲) و برای جویچه‌های باریک روش پیشروی بهترین عملکرد را داشته است. بدترین نتایج برای پیش‌بینی فاز پیشروی با استفاده از ثابت‌های نفوذ بدست آمده از روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹۹۳) حاصل شده است.

هدف اصلی از این تحقیق ارزیابی روش‌های مختلف ارایه شده در منابع برای تخمین پارامترهای نفوذ و میزان آب نفوذ یافته به داخل خاک و همچنین بررسی دقت این روش‌ها در پیش بینی فاز پیشروی و

پسروی در آبیاری جویچه‌ای و نواری می‌باشد. در این مقاله، روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹۹۳) اصلاح و روش پیشنهادی جدیدی معرفی و با سایر روش‌های موجود مقایسه گردیده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تئوری

۲-۱-۱ روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲)

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 کوستیاکف-لوئیس استفاده می‌شود. معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس به شکل زیر می‌باشد:

$$I = kt^a + f_0 t \qquad (۱)$$

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

$$x = pt^r \qquad (۲)$$

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

$$a = \frac{\log\left[\frac{Q_1 t_1}{x_1} - \overline{A}_1 - \frac{f_0 t_1}{1+r}\right] - \log\left[\frac{Q_2 t_2}{x_2} - \overline{A}_2 - \frac{f_0 t_2}{1+r}\right]}{\log(t_1/t_2)} \qquad (۳)$$

$$k = \frac{\left[\frac{Q_1 t_1}{x_1} - \overline{A}_1 - \frac{f_0 t_1}{1+r}\right]}{\sigma_z t_1 a} \qquad (۴)$$

که در آن $\overline{A}$ متوسط سطح مقطع جریان، t زمان پیشروی، Q دبی ورودی به جویچه و x طول پیشروی می‌باشد. اندیس‌های ۱ و ۲ در معادلات بالا به ترتیب مربوط به پیشروی تا نصف و تمام طول جویچه می‌باشد. σ_z فاکتور شکل زیرسطحی بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\sigma_z = \frac{a + r(1-a) + 1}{(1+a)(1+r)} \qquad (۵)$$

۲-۱-۲ روش پیشروی بِنامی و اُفِن (۱۹۸۴)

روش پیشروی توسط بِنامی و اُفِن (۱۹۸۴) برای تخمین ثابت‌های معادله کوستیاکف ارایه 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. حُسن روش مذکور این است که فرآیند نفوذ را ممکن است به طور دقیق بیان کند ولی از معایب این روش، نیاز به داده‌برداری زیاد بوده چون باید چندین اندازه‌گیری در گام‌های زمانی مختلف برای ثبت پیشروی آب در طول جویچه انجام داد. معادله نفوذ کوستیاکوف به شکل زیر می‌باشد:

$$I = kt^a \qquad (۶)$$

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

$$t = wx^z \qquad (۷)$$

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 به رابطه زیر، ضرایب m و u قابل محاسبه می‌باشند:

$$Qt - \overline{A}x = mx^u \qquad (۸)$$

نهایتاً پارامترهای معادله کوستیاکف (a, k) از روابط زیر بدست می آیند:

$$u = z(a+1) + 1 \qquad (۹)$$

$$m = \frac{kw^{a+1}}{(a+1)\left[z(a+1)+1\right]} \qquad (۱۰)$$

۲-۱-۳ روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹۹۳)

این روش مشابه روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۱۹۸۲) بوده با این تفاوت که مقدار نمای معادله پیشروی (r) ثابت و برابر ۰/۵ 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. عیب اصلی این روش آنست که مقدار r به ندرت برابر ۰/۵ می‌باشد.

معادله نفوذ فیلیپ به شکل زیر می باشد:

$$I = St^{0.5} + At \qquad (۱۱)$$

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

$$A = \frac{3\overline{A}_2}{t_2} \qquad (۱۲)$$

$$S = \frac{Q_2 t_2 - 3\overline{A}_2 x_2}{\frac{\pi}{4} t_2^{0.5} x_2} \qquad (۱۳)$$

۲-۱-۴ روش یک نقطه‌ای والیانتزاس و همکاران (۲۰۰۱)

این روش براساس بیلان حجمی آب استوار بوده و فقط از نقطه انتهایی فاز پیشروی به منظور تخمین پارامترهای معادله نفوذ SCS استفاده می‌نماید. حُسن این روش آنست که مانند روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹۹۳) معادله پیشروی را محدود به فرم $x = pt^{0.5}$ نمی‌کند و همان فرم واقعی آن ($x = pt^{r}$) را در نظر می‌گیرد. به همین خاطر این روش قدری دقیق‌تر از روش شپارد و همکاران (۱۹۹۳) می‌باشد (والیانتزاس و همکاران، ۲۰۰۱).

معادله نفوذ SCS عبارتست از (USDA, 1983):

$$I = \left(kt^{a} + c\right)\frac{P}{W} \qquad (۱۴)$$

که در آن، k و a ضرایب ثابت، c برابر با ۷ میلیمتر، W عرض جویچه یا نوار و P محیط خیس شده می‌باشد که از رابطه تجربی زیر که توسط SCS ارایه شده است، محاسبه می‌شود:

$$P = 0.265\left[\frac{60Q_0 n}{10001\sqrt{S_0}}\right]^{0.425} + 0.227 \qquad (۱۵)$$

در رابطه فوق n ضریب مانینگ، S_0 شیب کف مزرعه و Q_0 دبی ورودی (m^3/min) است.
والیانتزاس و همکاران (۲۰۰۱) رابطه زیر را برای تخمین پارامتر k به صورت تابعی از a با استفاده از روش حداقل مربعات ارایه و ادعا نمودند که خطای آن کمتر از ۵ درصد می‌باشد:

$$k(a) = \frac{14088a^{45} + 0.148(-\ln a)^{-1.652}}{1000} \qquad (۱۶)$$

در روش پیشنهادی والیانتزاس و همکاران (۲۰۰۱) برای تخمین پارامترهای k و a از معادلات زیر استفاده می‌شود:

$$\begin{cases} Q_0 t_2 - \sigma_y A_0 x_2 - cPx_2 = \sigma_z kPt_2^{\,a} x_2 \\ Q_0 t_1 - \sigma_y A_0 x_1 - cPx_1 = \sigma_z kPt_1^{\,a} x_1 \end{cases} \qquad (۱۷)$$

از معادله (۱۷) خواهیم داشت:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{Q_0 t_1}{\left[(1/2)^a\left(Q_0 t_2 - \sigma_y A_0 x_2 - cPx_2\right) + \sigma_y A_0 x_2 - cPx_2\right]} \qquad (۱۸)$$

و براساس معادله پیشروی داریم:

$$r = \frac{\log(x_1/x_2)}{\log(t_1/t_2)} = \frac{\log\left((0.5Q_0 t_2)/\left[0.5^a\left(Q_0 t_2 - \sigma_y A_0 x_2 - cPx_2\right) + \sigma_y A_0 x_2 + cPx_2\right]\right)}{\log(1/2)} \qquad (۱۹)$$

با توجه به معادلات ۱۷، ۱۸ و ۱۹ و با سعی خطا می‌توان پارامترهای k و a را بدست آورد.

۲-۱-۵ روش دو نقطه‌ای اصلاح شده شپارد

در این مقاله، روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹۹۳) اصلاح و روش دو نقطه‌ای جدیدی برای تخمین پارامترهای نفوذ ارایه شده است. در این روش همانند روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۱۹۹۳) 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 همانند فرض الیوت و واکر (۱۹۸۲) با استفاده از دو نقطه میانی و انتهایی داده‌های فاز پیشروی تعیین می‌گردد.

A و S پارامترهای معادله فیلیپ بوده و در این روش از روابط زیر بدست می‌آیند.

$$A=\frac{\left[\left(Q_2t_2-A_2x_2\right)x_1^{1+1/2r}-\left(Q_1t_1-A_1x_1\right)x_2^{1+1/2r}\right]\left(1+r\right)p^{1/r}}{x_2^{1+1/r}x_1^{1+1/2r}-x_2^{1+1/2r}x_1^{1+1/r}} \qquad (۲۰)$$

$$S=\frac{2\Gamma\left(r+3/2\right)\left[Qt_2-\overline{A}x_2-\left(Ax_2^{1+1/r}/\left(1+r\right)p^{1/r}\right)\right]}{\sqrt{\pi}\Gamma\left(r+1\right)x_2\left(x_2/p\right)^{1/2r}} \qquad (۲۱)$$

۲-۲ آزمون روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ

در این مقاله، از ۵ سری داده‌های آبیاری جویچه‌ای و نواری شامل اطلاعات فاز 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 هندسی و هیدرولیکی داده‌های صحرایی برای آبیاری جویچه‌ای و نواری در جداول ۱ و ۲ ارایه شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات هندسی و هیدرولیکی داده‌های صحرایی مورد مطالعه برای آبیاری جویچه‌ای

پارامترها			داده‌ها	
نام	علامت	واحد	سری ۱	سری ۲
دبی ورودی	q_o	lit/s	۱/۵۹	۲/۹
شیب جویچه	S_0	m/m	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۲۵
ضریب مانینگ	n	-	۰/۰۴	۰/۰۴
طول جویچه	L	m	۱۶۰	۳۵۰
زمان قطع جریان	T_{co}	min	۱۵۰	۱۷۰
عرض جویچه	W	m	۰/۷۵	۱/۵

جدول ۲- مشخصات هندسی و هیدرولیکی داده‌های صحرایی مورد مطالعه برای آبیاری نواری

پارامترها			داده‌ها		
نام	علامت	واحد	سری ۱	سری ۲	سری ۳
دبی ورودی	q_o	lit/s/m	۱/۱۱	۱/۶۶	۱/۳۷
شیب نوار	S_0	m/m	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۸۲
ضریب مانینگ	n	-	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
طول نوار	L	m	۱۸۰	۱۸۰	۱۷۰
زمان قطع جریان	T_{co}	min	۳۲۰	۲۷۰	۲۶۰
عرض نوار	W	m	۸	۸	۸

۳- نتایج و بحث

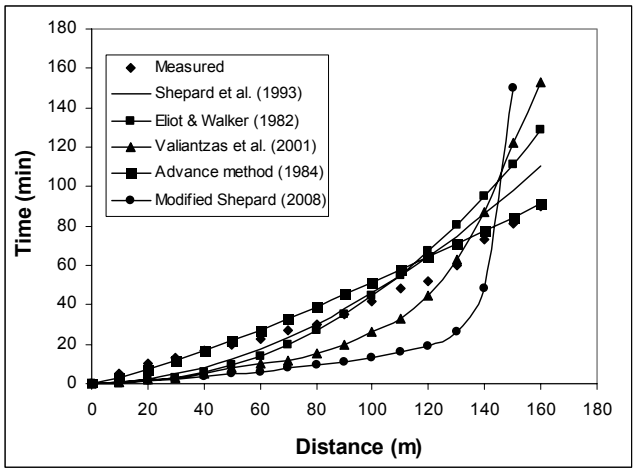
به منظور ارزیابی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ، حجم آب نفوذ یافته در طول جویچه یا نوار با استفاده از روشهای مذکور برآورد و با حجم آب نفوذ یافته که با استفاده از هیدروگراف جریان ورودی- خروجی محاسبه شد، مقایسه گردید. همچنین با استفاده از مدل هیدرودینامیک بسته نرم‌افزار NRCS_SURFACE و با استفاده از پارامترهای تخمینی معادله نفوذ به پنج روش ارایه شده در این مقاله، فاز پیشروی و پسروی برای داده‌های مورد استفاده شبیه‌سازی شدند تا دقت روش‌های مختلف تخمین پارامترهای معادله نفوذ مورد بررسی قرار گیرد. نتایج بدست آمده از بررسی حجم آب نفوذیافته در طول جویچه یا نوار برای داده‌های مختلف در جدول ۳ ارایه شده‌اند.

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

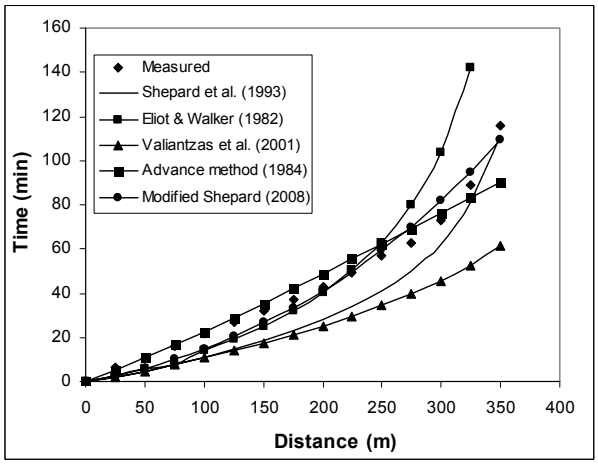
نام روش	آبیاری جویچه‌ای			آبیاری نواری			
	خطای نسبی (٪)			خطای نسبی (٪)			
	سری ۱	سری ۲	میانگین	سری ۱	سری ۲	سری ۳	میانگین
روش پیشنهادی	۲۷/۴	-۶/۹	۱۷/۲	۷/۲	-۱/۶	-½	۳/۶
پیشروی بنامی و افن (۱۹۸۴)	-۱۲/۴	-۵۹/۰	۳۵/۷	۲۴/۶	-۲۷/۷	-۱۰/۹	۲۱/۱
والیانتزاس و همکاران (۲۰۰۱)	۳۴/۵	-۲۰/۱	۲۷/۳	۴/۲	۱/۳	-۰/۶	۲/۰
شپارد و همکاران (۱۹۹۳)	۳۸/۱	۲/۲	۲۰/۲	۶/۴	۰/۰	-۱/۱	۲/۵
الیوت و واکر (۱۹۸۲)	۴۸/۵	۱۹/۴	۳۴/۰	۲۲/۹	۶/۳	۷/۰	۱۲/۱

این نتایج نشان می‌دهند که در آبیاری جویچه‌ای روش ارایه شده در این مقاله با متوسط خطای نسبی (RE) ۱۷/۲٪ از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بوده در حالیکه در آبیاری نواری بیشترین دقت در تخمین حجم آب نفوذیافته به خاک مربوط به روش والیانتزاس و همکاران (۲۰۰۱) با متوسط خطای نسبی ۲٪ می‌باشد.

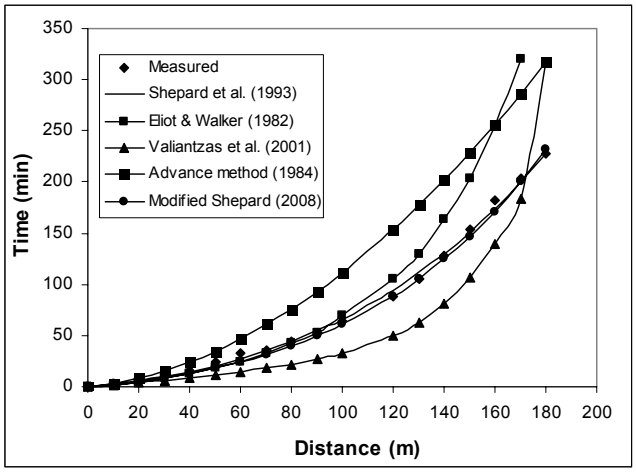
به منظور بررسی دقت پارامترهای معادله نفوذ در پیش‌بینی فاز پیشروی و پسروی از مدل هیدرودینامیک بسته نرم‌افزاری NRCS-SURFACE استفاده شد. نتایج بدست آمده از پیش‌بینی فاز پیشروی برای ۵ سری داده‌های آبیاری جویچه‌ای و نواری در شکل ۱ تا ۵ ارایه شده‌اند. همچنین میزان خطای استاندارد (SE) در پیش‌بینی فاز پیشروی و پسروی در جداول ۴ و ۵ آورده شده‌اند.



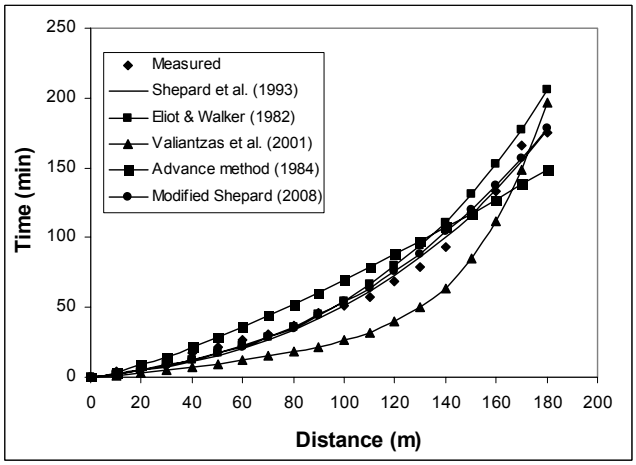
شکل۱- مقایسه فاز پیشروی اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل هیدرودینامیک به پنج روش مختلف برای آبیاری جویچه‌ای سری اول



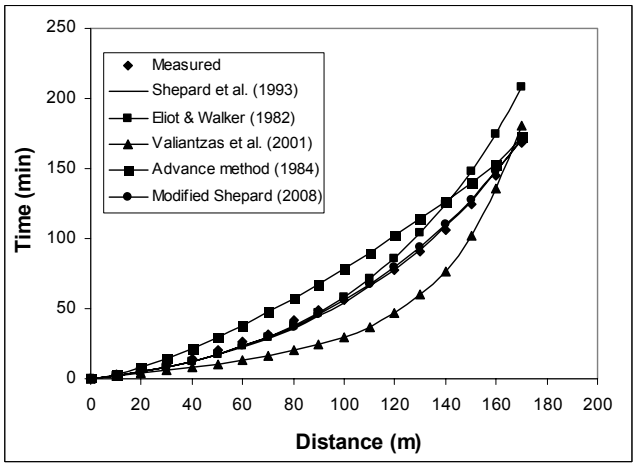
شکل ۲- مقایسه فاز پیشروی اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل هیدرودینامیک به پنج روش مختلف برای آبیاری جویچه‌ای سری دوم



شکل ۳- مقایسه فاز پیشروی اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل هیدرودینامیک به پنج روش مختلف برای آبیاری نواری سری اول



شکل ۴- مقایسه فاز پیشروی اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل هیدرودینامیک به پنج روش مختلف برای آبیاری نواری سری دوم



شکل ۵- مقایسه فاز پیشروی اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل هیدرودینامیک به پنج روش مختلف برای آبیاری نواری سری سوم

جدول ۴- میزان خطای استاندارد (٪) در پیش‌بینی فاز پیشروی در آبیاری جویچه‌ای و نواری به پنج روش مختلف با استفاده از مدل هیدرودینامیک

روش آبیاری	داده‌ها	روش پیشنهادی	پیشروی بنامی و افن (۱۹۸۴)	والیانتزاس و همکاران (۲۰۰۱)	شپارد و همکاران (۱۹۹۳)	الیوت و واکر (۱۹۸۲)
جویچه‌ای	سری ۱	۱۳۵/۲	۱۵/۹	۵۹/۷	۲۴/۷	۳۸/۴
	سری ۲	۱۲/۸	۱۷/۹	۹۳/۴	۳۴/۰	۴۲/۳
	میانگین	۷۴/۰	**۱۶/۹**	۷۶/۵	۲۹/۳	۴۰/۴
نواری	سری ۱	۶/۷	۴۳/۷	۵۶/۶	۵/۰	۴۳/۷
	سری ۲	۸/۹	۲۲/۴	۴۵/۳	۸/۳	۱۷/۵
	سری ۳	۴/۷	۲۱/۳	۴۵/۰	۵/۱	۲۲/۴
	میانگین	۶/۸	۲۹/۱	۴۹/۰	**۶/۱**	۲۷/۹

جدول ۵- میزان خطای استاندارد (٪) در پیش‌بینی فاز پسروی در آبیاری جویچه‌ای و نواری به پنج روش مختلف با استفاده از مدل هیدرودینامیک

روش آبیاری	داده‌ها	روش پیشنهادی	پیشروی بنامی و افن (۱۹۸۴)	والیانتزاس و همکاران (۲۰۰۱)	شپارد و همکاران (۱۹۹۳)	الیوت و واکر (۱۹۸۲)
جویچه‌ای	سری ۱	۳/۳	۲/۳	۱/۶	۱/۰	۲/۵
	سری ۲	۳/۳	۲/۳	۱/۵	۱/۶	۲/۰
	میانگین	۳/۳	۲/۳	۱/۶	**۱/۳**	۲/۳
نواری	سری ۱	۲/۱	۲/۶	۱/۷	۲/۷	۷/۲
	سری ۲	۱/۹	۵/۱	۱/۲	۱/۸	۱/۹
	سری ۳	۳/۱	۴/۷	۲/۳	۲/۹	۲/۳
	میانگین	۲/۴	۴/۱	**۱/۸**	۲/۵	۳/۸

همانطور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود برای آبیاری جویچه‌ای روش پیشروی با متوسط خطای استاندارد ۱۶/۹٪ از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بوده در حالیکه در آبیاری نواری روش شپارد و همکاران (۱۹۹۳) و روش پیشنهادی این مقاله با متوسط خطای استاندارد ۶/۱٪ و ۶/۸٪ با اختلاف قابل توجهی نسبت به سایر روش‌ها، فاز پیشروی را با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌نمایند. از آنجائیکه روش پیشروی بنامی و افن (۱۹۸۴) برای آبیاری جویچه‌ای ارایه شده و در این روش هم نیاز به داده برداری زیاد در ایستگاه‌های مختلف در طول جویچه می‌باشد، این روش قادر است تا فاز پیشروی را

در آبیاری جویچه‌ای نسبت به سایر روش‌ها با دقت بالاتری پیش‌بینی نماید. این در حالیست که بیشترین خطای استاندارد در پیش‌بینی فاز پسروی در آبیاری نواری مربوط به همین روش بوده و برابر با ۴/۱٪ بدست آورده شد.

همانگونه که ملاحظه می‌شود میزان خطای استاندارد در پیش‌بینی فاز پسروی (جدول ۵) به مقدار قابل توجهی کمتر از میزان خطای استاندارد در پیش‌بینی فاز پیشروی (جدول ۴) بوده که حاکی از حساسیت فاز پیشروی به پارامترهای معادله نفوذ می‌باشد. این در حالی است که متوسط خطای استاندارد در پیش‌بینی فاز پسروی در تمامی روش‌ها کمتر از ۵٪ می‌باشد. واکر (۲۰۰۵) نیز با آنالیز حساسیت نشان داد که پارامترهای نفوذ و ضریب مانینگ به ترتیب بیشترین تاثیر را بر منحنی پیشروی و منحنی پسروی داشتند.

۴- نتیجه‌گیری

در ارزیابی روش‌های مختلف تخمین ویژگی‌های نفوذپذیری خاک در آبیاری سطحی، نتایج بدست آمده نشان داد که در برآورد میزان آب نفوذیافته به خاک در آبیاری جویچه‌ای و نواری به ترتیب روش پیشنهادی در این مقاله و روش والیانتزاس و همکاران (۲۰۰۱) دارای کمترین خطای نسبی می‌باشند. در پیش‌بینی فاز پیشروی با استفاده از مدل هیدرودینامیک و پارامترهای معادله نفوذ تخمین زده شده به روش‌های مختلف در آبیاری جویچه‌ای و نواری به ترتیب روش پیشروی بنامی و افن (۱۹۸۴) و روش شپارد و همکاران (۱۹۹۳) دارای دقت بیشتری بوده در حالیکه فاز پسروی تخمین زده شده به پارامترهای معادله نفوذ چندان حساس نبوده و روش‌های مختلف متوسط خطای استانداردی کمتر از ۵٪ را داشتند.

منابع

۱. سهرابی، ت. و پایدار، ز. ۱۳۸۴. طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات دانشگاه تهران.

2. Benami, A., and A. Ofen, 1984. Irrigation Engineering: Sprinkler, Trickle, Surface Irrigation. Principles, Design and Agricultural Practices. Irrigation Engineering Scientific Publication, IIIC Bet Dagan, Israel.
3. Benham, B. L., D. L. Reddel and T. H. Marek. 2000. Performance of three infiltration model under surge irrigation. Irrig. Sci., 20: 37-43.
4. Blair, A., and E. T. Smerdon, 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.
5. Elliot, R.L. and W. R. Walker, 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions, Trans. ASAE, 25: 396-400.

6. Holzapfel, E.A., J. Jara, C. Zuñiga, M.A. Mariño, J. Paredes, and M. Billib . 2004. Infiltration parameters for furrow irrigation. Agricultural Water Management, 68: 19-32.
7. Rasoulzadeh, A. and A. R. Sepaskhah. 2003. Scaled infiltration equations for furrow irrigation. Biosystems Engineering, 86 (3): 375-383.
8. Shepard, J. S., W. W. Wallender and, J. W. Hopmans. 1993. One method for estimating furrow infiltration. Trans. ASAE, 36 (2): 395-404.
9. Valiantzas, J.D., S. Aggelides and, A. Sassalou. 2001. Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. Agricultural Water Management, 52: 17-32.
10. Walker, W. R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. J. Irrig.Drain. Eng., 131 (2): 129-136**.**
11. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, 1983.