نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۴، ص. ۱۰۶۹-۱۰۵۷

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 5, Nov.-Dec. 2015, p. 1057-1069

تعیین سازگارترین روش تخمین پارامترهای نفوذ در مدل‌های ریاضی آبیاری شیاری

سمیرا اخوان[۱*] – عاطفه مهدوی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۱۳

چکیده

نفوذ، فرآیندی مهم و پیچیده در ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی است که روش‌های مختلفی برای برآورد آن در مراجع ارائه شده است. هدف از این مقاله ارزیابی پنج روش مختلف تخمین پارامترهای نفوذپذیری (دو نقطه‌ای الیوت و واکر، نفوذسنج چرخشی، سینگ و یو، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران و دو نقطه‌ای اصلاح شده شپارد و همکاران) و تعیین سازگارترین روش در هر یک از مدل‌های طراحی و ارزیابی آبیاری شیاری (هیدرودینامیک، موج جنبشی و اینرسی صفر)، با استفاده از نرم افزار SIRMOD است. در این راستا از سه سری داده صحرایی استفاده شد. سپس حجم آب نفوذ یافته و زمان پیشروی آب در طول شیار، بر اساس هر یک از روش‌های نفوذ و مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری، برآورد شد. نتایج نشان داد که در تخمین حجم آب نفوذ یافته به شیار، روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر و روش نفوذسنج چرخشی دارای کمترین خطای نسبی (به ترتیب ۲/۹ و ۲۱/۴ درصد) بودند. در پیش‌بینی مرحله پیشروی آب، مدل موج جنبشی با روش نفوذسنج چرخشی، مدل اینرسی صفر با روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر و مدل هیدرودینامیک با روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر دارای کمترین خطای استاندارد (به ترتیب ۱۰/۰۴، ۱۲/۸۱ و ۱۲/۸۶ درصد) بودند. به‌طورکلی در هر پنج روش تعیین ضرایب نفوذ، مدل موج جنبشی نسبت به هیدرودینامیک و اینرسی صفر دارای دقت بیشتری در شبیه‌سازی پیشروی آب بود. این در حالی است که دو مدل هیدرودینامیک و اینرسی صفر تفاوت تقریبا ناچیزی داشتند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری سطحی، مدل‌های آبیاری سطحی، معادله نفوذ، SIRMOD

مقدمه

آبیاری سطحی، هنوز هم بیشترین کاربرد را در میان روش‌های مختلف آبیاری دارد. بازده پایین در آبیاری سطحی مربوط به نوع روش نیست، بلکه مربوط به ضعف در طراحی، اجرا و مدیریت می‌باشد (۲۵). دسترسی به راندمان بالا در مصرف آب در مزرعه نیازمند طراحی دقیق و اجرای صحیح سیستم آبیاری است و هر چه پارامترهای مؤثر در آبیاری هنگام طراحی بیشتر و دقیق‌تر لحاظ شده و مدل آبیاری نیز دقیق‌تر شبیه‌سازی شود، طبیعتا راندمان مصرف آب نیز بالاتر خواهد رفت (۵). بر اساس ترکیب پارامترهای مختلف مؤثر در آبیاری سطحی، مدل‌های ریاضی متعددی ایجاد شده‌اند که در آن با توجه به دقت ورودی‌ها، خروجی مناسب تخمین زده می‌شود. ورودی این مدل‌ها باید شامل پارامترهای طراحی مثل شیب، طول، ضریب زبری، مشخصات نفوذ، هیدروگراف‌های ورودی و خروجی باشد (۱۱).

طراحی و ارزیابی سیستم آبیاری سطحی، مستلزم مشخص نمودن منحنی‌های پیشروی، پسروی و مقدار نفوذ آب می‌باشد. برداشت اطلاعات لازم جهت پیش‌بینی و محاسبه این پارامترها، مستلزم یکسری اندازه‌گیری‌های دقیق در داخل مزرعه است، که این کار باعث صرف هزینه و وقت زیادی می‌گردد. از طرفی به دلیل وجود پدیده‌های نفوذ و ذخیره در آبیاری سطحی، جریان از نوع غیرماندگار و غیریکنواخت با دبی کاهنده است. لذا استفاده از روش‌های ارزانتر و صرف زمان کمتر مانند روش‌های عددی، ضروری به نظر می‌رسد (۳ و ۲۵). امروزه در دنیا تحقیقات زیادی پیرامون کاربرد مدل‌های ریاضی به منظور حل معادلات حاکم بر جریان آب در آبیاری سطحی صورت گرفته است. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان سیستم‌های آبیاری سطحی را به منظور حصول راندمان بیشتر، بدون صرف وقت و هزینه زیاد برای شرایط مختلف آبیاری، ارزیابی نمود (۱۰). با کاربرد این مدل‌ها می‌توان بسیاری از محاسبات پیچیده مربوط به موقعیت جبهه پیشروی و پسروی آب، یکنواختی توزیع و راندمان آبیاری را به سرعت انجام داده و تأثیر هرگونه تغییر در پارامترهای طراحی را به سهولت ارزیابی و مدیریت نمود (۱۲). نفوذ، مهمترین و مشکل‌ترین پارامتر ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی است. از آنجا که سرعت نفوذ آب در خاک، تعیین کننده زمان تداوم آبیاری برای ذخیره نمودن

۱ و ۲- استادیار و دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا
(*- نویسنده مسئول: Email: Akhavan_samira@yahoo.com)

مقدار مشخصی آب در داخل خاک بوده، از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. 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 (۶). هولزاپفل و همکاران (۱۳) 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، روش ورودی و خروجی، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران و پیشروی بنامی و افن 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 تقریبا مشابه بوده 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 به‌کارگیری مدل موج سینماتیک، مرحله پیشروی در جویچه‌ها تخمین زده شد. نتایج نشان داد که برای جویچه‌های عریض، روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر و برای جویچه‌های باریک روش پیشروی بهترین عملکرد را داشته است. رسول زاده و سپاسخواه (۲۰) 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 به دست آمد که تابعی از محیط خیس شده و حجم ورودی آب به داخل خاک بود. بنابراین با استفاده از این فاکتور مقیاس، معادلات نفوذ متفاوت ارائه شد. ارزیابی معادلات نفوذ مقیاس شده 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 می زنند. خاطری و اسمیت (۱۴) 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، استفاده از مدل رایانه‌ای INFILT، یوپادیایا و راقو وانشی، یک نقطه‌ای والیانتزاس و همکاران و تابع خطی نفوذ بودند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل INFILT برای همه داده‌های صحرایی بیشترین دقت را داشت. همچنین به صورت کلی روش‌های دو نقطه‌ای الیوت و واکر و تابع خطی نفوذ نیز عملکرد خوبی داشتند. بر اساس تحقیقی که اسفندیاری و ماهشواری (۹) در مزارع استرالیا بر روی دو نوع خاک در شرایط آبیاری نشتی انجام دادند، این نتیجه حاصل شد که مدل هیدرودینامیک و اینرسی صفر ارائه شده توسط واکر (۲۴) مدل مناسبی در شرایط آبیاری شیاری است. همچنین آنها اعلام داشتند که مدل موج سینماتیک واکر برای شیب‌های کمتر از ۰/۱ درصد قابل استفاده نمی‌باشد. ماهشواری و مک ماهان (۱۵) در مقایسه‌ای که بین مدل SIRMOD با سایر مدل‌ها انجام دادند، اعلام داشتند که با وجود اینکه این مدل‌ها بسیار دقیق نیستند، اما حل هیدرودینامیکی و اینرسی صفر مدل SIRMOD برآورد دقیق‌تری از زمان پیشروی و عملکرد کل سیستم ارائه می‌دهد. مک کلایموت و همکاران (۱۶) به منظور بررسی اعتبار مدل مزبور، نتایج پیشروی، رواناب و نفوذ برآورد شده را در مقابل ۷۰ سری اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای مورد بررسی قرار داده و اعلام داشتند که مدل، حجم نفوذ را کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند. بهبهانی و بابازاده (۴) در تحقیقی عملکرد نرم افزار SIRMOD را در مزرعه‌ای با خاک رس، واقع در مزارع تحقیقاتی دانشگاه تهران و در مورد آبیاری شیاری مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعاتشان حاکی از آن بود که سرعت پیشروی و مقدار نفوذ در هر سه مدل هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج سینماتیک کمتر از مقدار واقعیت برآورد شده است. آنها درصد خطای مدل‌ها را پایین و قابل قبول دانستند. طبق بررسی‌های انجام شده، مدل SIRMOD بیشترین حساسیت را به شدت جریان ورودی و ضرایب تابع نفوذ نسبت به سایر پارامترهای ورودی از خود نشان می‌دهد (۲، ۸ و ۱۷). واکر (۲۴) نیز با آنالیز حساسیت نشان داد که پارامترهای نفوذ و ضریب مانینگ به ترتیب بیشترین تأثیر را بر منحنی پیشروی و منحنی پسروی داشتند. ابراهیمیان و لیاقت (۶) نیز عملکرد سه مدل ریاضی در SIRMOD را برای روش‌های آبیاری جویچه‌ای و نواری مورد بررسی قرار دادند. تفاوت زیادی بین مدل‌های هیدرودینامیک و اینرسی صفر در هر دو روش آبیاری وجود نداشت. لازم به ذکر است که در این تحقیق از معادله نفوذ کوستیاکف–لوئیس استفاده شده و ضرایب آن نیز از روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر محاسبه شده است.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، نفوذ، مهمترین و پیچیده‌ترین فرآیند ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی است (۵). 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. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری نفوذ وجود دارد و بسته به روش آبیاری و مدل استفاده شده برای شبیه سازی، متفاوت است. بنابراین هدف از این تحقیق ارزیابی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ و تعیین مناسب‌ترین روش محاسبه ضرایب معادلات نفوذ، در هر یک از مدل‌های ارزیابی و طراحی آبیاری شامل روش هیدرودینامیک، موج جنبشی و اینرسی صفر، در تخمین حجم آب نفوذیافته به خاک و مرحله پیشروی در آبیاری شیاری، با استفاده از نرم افزار SIRMOD

می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مدل‌های آبیاری سطحی

جریان در آبیاری سطحی، غیرماندگار و غیریکنواخت می‌باشد، که با توجه به نفوذ آب در خاک، دبی در طول کرت یا نوار یا جویچه کاهش می‌یابد. برای شبیه‌سازی این جریان از معادلات پیوستگی (بر اساس قانون بقای ماده) (رابطه ۱) و مومنتم (بر اساس قانون بقای اندازه حرکت) (رابطه ۲) استفاده می‌شود. با فرض منشوری بودن جریان و شیب کم کف کانال، این معادلات ساده شده و به صورت معادلات سنت- ونانت در می‌آیند:

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}+I=0 \qquad (۱)$$

$$\frac{I}{g}\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{V}{g}\frac{\partial V}{\partial x}+\frac{\partial y}{\partial x}=S_0-S_f+\frac{DVI}{gA} \qquad (۲)$$

این معادلات یک جفت معادله مشتقات جزئی غیرخطی بوده که حل تحلیلی آنها بدون فرضیات ساده کننده، امکان پذیر نبوده و لذا تاکنون حل تحلیلی کاملی برای آنها ارائه نشده است (۵). در این معادلات، y عمق جریان (متر)، A سطح مقطع جریان (متر مربع)، Q دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)، S_0 شیب کف (متر در متر)، S_f شیب خط انرژی (متر در متر)، V سرعت جریان (متر بر ثانیه)، I شدت نفوذ در واحد طول (متر بر ثانیه بر متر مربع)، t زمان (ثانیه)، x فاصله (متر) بوده و D ثابت عددی که مقدار آن بستگی به رابطه‌ای دارد که معادله مومنتوم از آن مشتق گرفته می‌شود.

مدل شبیه‌سازی SIRMOD که توسط واکر (۲۴) در دانشگاه ایالتی یوتای آمریکا توسعه داده شد، یکی از مدل‌هایی است که برای مدیریت و طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی به کار می‌رود. در این بسته نرم‌افزاری سه مدل هیدرولیکی هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج جنبشی قرار داده شده است. لازم به ذکر است که در هر سه روش، معادله پیوستگی (رابطه ۱) استفاده می‌شود. تنها تفاوت آنها در شکل معادله مومنتوم (رابطه ۲) است. روابط هر سه روش در زیر شرح داده شده است (۲):

مدل هیدرودینامیک: این مدل بر مبنای حل کامل معادلات سنت-ونانت (رابطه ۱ و ۲) پایه‌گذاری شده است و به همین دلیل از پیچیدگی بیشتری برخوردار است.

مدل اینرسی صفر: با توجه به کم بودن سرعت آب در آبیاری سطحی، از عوامل اینرسی صرف نظر شده و معادله حرکت به شکل زیر ساده می‌شود:

$$\frac{\partial y}{\partial x}=S_0-S_f \qquad (۳)$$

مدل موج جنبشی: با در نظر گرفتن جریان یکنواخت در آبیاری سطحی و صرف نظر کردن از تغییرات عمق جریان و فاکتور اینرسی، معادله مومنتوم (رابطه ۲) به شکل زیر در می‌آید:

$$S_0=S_f \qquad (۴)$$

در هر یک از مدل‌های فوق‌الذکر، پیش‌بینی مدل به طور قابل توجهی تحت تأثیر پارامترهای معادله نفوذ قرار دارد که به عنوان ورودی به مدل داده می‌شود. هر اندازه پارامترهای نفوذ دقیق‌تر تعیین گردند، این مدل‌ها قادر خواهند بود شرایط مزرعه‌ای را دقیق‌تر پیش-بینی نمایند (۱۸).

روش‌های تخمین ضرایب معادلات نفوذ آب در خاک

معادله نفوذ آب نقش مهمی در ارزیابی، طراحی و یا شبیه‌سازی سیستم‌های آبیاری سطحی ایفا می‌کند به همین خاطر همیشه تعیین این معادله مورد توجه متخصصین بوده است. هر قدر این معادله دقیق‌تر ارزیابی گردد، بهتر می‌توان یک سیستم آبیاری را طراحی، ارزیابی و شبیه‌سازی کرد (۱۸). روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری نفوذ وجود دارد که بسته به روش آبیاری متفاوت است. به عنوان نمونه، در آبیاری جویچه‌ای سطح خاک که در معرض نفوذ قرار دارد، تقریبا 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 می شوند باید شرایط آبیاری را شبیه‌سازی کند (۲۳). در این پژوهش از روش‌های دو نقطه‌ای الیوت و واکر (۷)، نفوذسنج چرخشی، سینگ و یو (۲۲) (برای محاسبه ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس)، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران (۲۱) و دو نقطه‌ای اصلاح شده (۵) (برای محاسبه ضرایب معادله نفوذ فیلیپ) برای آبیاری شیاری استفاده شده است.

روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر: در این روش معادله پیشروی آب به شکل توانی (رابطه ۵) در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از دو نقطه پیشروی (میانی و انتهایی) ضرایب آن محاسبه می‌شوند. با استفاده از این معادله و معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس (رابطه ۶)، معادله موازنه حجم در هر زمان نوشته می‌شود (رابطه ۷). مقدار f_0 (نفوذپذیری نهایی) با استفاده از روش ورودی- خروجی تعیین می‌گردد (رابطه ۸). سپس با نوشتن معادله بیلان حجم برای دو نقطه پیشروی (اندیس ۱ و ۲) و حل هم‌زمان آنها، ضرایب a و k به دست می‌آیند (رابطه ۹ و ۱۰).

$$x=pt^r \qquad (۵)$$

$$Z = kt^a + f_0 t \quad (۶)$$

$$Q_0 t = \sigma_y A_0 x + \sigma_z k t^a x + \frac{f_0 t x}{1+r} \quad (۷)$$

$$f_0 = \frac{Q_0 - Q_{out}}{L} \quad (۸)$$

$$a = \frac{\log\left[\frac{Q_0 t_1}{x_1} - \sigma_y A_0 - \frac{f_0 t_1}{1+r}\right] - \log\left[\frac{Q_0 t_2}{x_2} - \sigma_y A_0 - \frac{f_0 t_2}{1+r}\right]}{\log(t_1 / t_2)} \quad (۹)$$

$$k = \frac{\left[\frac{Q_0 t_1}{x_1} - \sigma_y A_0 - \frac{f_0 t_1}{1+r}\right]}{\sigma_z t_1^a} \quad (۱۰)$$

$$\sigma_z = \frac{a + (1-a) + 1}{(1+a)(1+r)} \quad (۱۱)$$

در این معادلات p و r ضرایب ثابت، x طول پیشروی، t زمان، I نفوذ تجمعی، a و f_0 ضرایب معادله نفوذ، A_0 متوسط سطح مقطع جریان، Q دبی ورودی به جویچه، و σ_y فاکتور ذخیره سطحی (ثابت و برابر ۰/۷ تا ۰/۸) هستند. اندیس‌های ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به پیشروی تا نصف و تمام طول جویچه می‌باشد. σ_z فاکتور شکل زیرسطحی است که از رابطه ۱۱ محاسبه می شود.

روش نفوذسنج چرخشی (برگشت آب): یکی از روش‌های تعیین معادله نفوذ آب به خاک است که در شیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت این وسیله در این است که شرایط هندسی و هیدرولیکی شیارها، شبیه‌سازی می‌شود. بنابراین حد فاصل خاک و آب، واقع‌گرایانه‌تر شبیه‌سازی می‌گردد. در این روش گودالی در دو انتهای شیار کنده می‌شود. با بازکردن شیر، آب از مخزن رها شده و پمپ سانتریفیوژ از طریق شیلنگی آب را به گودال ورودی شیار می‌رساند. آب در طول شیار پیشروی کرده و در گودال پایاب جمع‌آوری می‌شود. پمپ گودال نیز پایاب را دوباره به مخزن آب برمی‌گرداند (۱۹).

روش سینگ و یو: در این روش بر اساس پارامترهای فیزیکی خاک نظیر رطوبت حجمی اولیه خاک، تخلخل خاک، عمق خاک و وزن مخصوص خاک می‌باشد و شرایطی نظیر دبی جریان شیار، شکل هندسی شیار و محیط خیس شده شیار را در اندازه‌گیری دخالت نمی‌دهد (۱۹). خصوصیت این مدل آنست که با در نظر گرفتن حالت کلی نفوذ آب به خاک، می‌توان به معادلات معروف نفوذ نظیر مدل کوستیاکف، کوستیاکف- لوئیس، هورتون، گرین- آمپت، فیلیپ و هولتان دست یافت. در این مدل ستونی از خاک با سطح مقطع واحد در نظر گرفته می‌شود که آب با سرعت f(t) به آن نفوذ کرده و با سرعت $f_s(t)$ از آن خارج می‌شود. S(t) نیز مقدار ذخیره رطوبت در خاک در مدت زمان t است. معادله عمومی نفوذ طبق رابطه ۱۲ بیان می‌شود. در این معادله a، m و n ضرایب ثابت مثبت می‌باشند. اگر m = 0 ، n = -1 و f_c سرعت نفوذ نهایی باشد، رابطه ۱۲ به شکل معادله ۱۳ که همان فرم معادله کوستیاکف- لوئیس است، در می‌آید (۱۰).

$$f(t) - f_s(t) = \frac{a[s(t)]^n}{[s_0 - s(t)]^m} \quad (۱۲)$$

$$f(t) = \frac{a}{s(t)} + f_c \quad (۱۳)$$

به منظور استفاده از این مدل، از مقادیر پارامترهای رطوبت حجمی اولیه خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک و تخلخل خاک برای تعیین سرعت نفوذ نهایی (f_c) و پتانسیل فضای قابل دسترس جهت نگهداری رطوبت در ستون خاک (S_0) استفاده می‌گردد و با استفاده از یک زبان برنامه‌نویسی، پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف- لوئیس از طریق برازش تعیین شدند (۱۸).

روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران: این روش مشابه روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر بوده با این تفاوت که مقدار نمای معادله پیشروی (r) ثابت و ۰/۵ فرض شده است. در این روش، اندازه‌گیری پیشروی آب، فقط در یک نقطه و آن هم در انتهای جویچه صورت می‌گیرد (اندیس ۲). روش مذکور متوسط نفوذ در طول جویچه را با استفاده از داده‌های زمان پیشروی، دبی ورودی، سطح مقطع جریان و معادله فیلیپ محاسبه می‌نماید. محدودیت اصلی این روش آن است که مقدار r به ندرت ۰/۵ می‌باشد. معادله نفوذ فیلیپ در رابطه ۱۴ نشان داده شده است. ضرایب A و S از روابط ۱۵ و ۱۶ محاسبه می‌شوند (۵)، که t_2 زمان رسیدن جبهه آب به انتهای شیار و x_2 مسافت طی شده از ابتدا تا انتهای شیار است.

$$Z = St^{0.5} + At \quad (۱۴)$$

$$A = \frac{3\sigma_y A_0}{t_2} \quad (۱۵)$$

$$S = \frac{Q_0 t_2 - 3\sigma_y A_0 x_2}{\frac{\pi}{4} t_2^{0.5} x_2} \quad (۱۶)$$

روش دو نقطه‌ای اصلاح شده: در این تحقیق از روش دو نقطه‌ای جدیدی که توسط ابراهیمیان و همکاران (۵) ارائه شده و در واقع اصلاح شده روش یک نقطه‌ای شپارد و همکاران است، برای تخمین پارامترهای نفوذ استفاده شده است. در این روش همانند روش

یک نقطه‌ای شپارد و همکاران از معادله فیلیپ و بیلان حجمی آب به منظور پیش بینی میزان نفوذ به داخل خاک در طول جویچه استفاده می‌شود. با این تفاوت که به جای فرض r = 0.5 مقدار آن مانند روش الیوت و واکر با استفاده از دونقطه میانی و انتهایی داده‌های مرحله پیشروی تعیین می‌گردد. مزیت این روش نسبت به روش دو نقطه‌ای الیوت 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. معمولا 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 نهایت ضرایب معادله فیلیپ طبق روابط ۱۷ و ۱۸ محاسبه می‌شوند (۵).

$$A=\frac{[(Q_0t_2-\sigma_yA_0x_2)x_1^{1+1/2r}-(Q_0t_1-\sigma_yA_0x_1)x_2^{1+1/2r}}{x_2^{1+1/r}x_1^{1+1/2r}-x_2^{1+1/2r}x_1^{1+1/r}} \quad (۱۷)$$

$$S=\frac{2\Gamma(r+3/2)[Q_0t_2-\sigma_yA_0x_2-(Ax_2^{1+1/r}/((1+r)p^{1/r}))]}{\sqrt{\pi}\Gamma(r+1)x_2(x_2/p)^{1/2r}} \quad (۱۸)$$

که در آن پارامتر Γ تابع گاما می‌باشد.

جهت ارزیابی و تعیین پارامترهای نفوذ در آبیاری شیاری از داده‌های مزرعه‌ای فتاحی (۱۰) استفاده شد. مشخصات داده‌های صحرایی مورد استفاده، در جدول ۱ ذکر شده است. لازم به ذکر است که این جویچه‌ها در حالت انتهای باز (free draining) می‌باشند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور مقایسه و ارزیابی روش‌ها، از معیار خطای نسبی (RE) بر حسب درصد استفاده گردید:

$$RE=\frac{V_p-V_m}{V_m}\times 100 \quad (۱۹)$$

که در آن V_p و V_m به ترتیب حجم آب نفوذیافته تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده می باشد.

بر اساس سه مدل موجود در نرم افزار SIRMOD مقادیر پیشروی آب در طول جویچه‌ها شبیه‌سازی و با مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده آنها در هر شیار، مقایسه شدند. بررسی و مقایسه روش‌های مختلف در تخمین زمان پیشروی، بر اساس شاخص خطای استاندارد (SE) می‌باشد (رابطه ۲۰). در این رابطه n تعداد اندازه‌گیری، O_i مقدار اندازه‌گیری شده، $\overline{P}$ متوسط مقادیر تخمین زده شده و P_i مقدار تخمین زده شده می‌باشد.

داده‌های مورد استفاده

جدول ۱- مشخصات و پارامترهای مورد استفاده در آبیاری شیاری (۱۰)

Table 1- Characteristics and used parameters in furrow irrigation (10)

پارامتر Parameter	نماد Symbol	داده‌های سری ۱ Series data 1	داده‌های سری ۲ Series data 2	داده‌های سری ۳ Series data 3
دبی (Lit/s) Inflow discharge	q_0	2.1	2.1	1.9
زمان قطع جریان (min) Cutoff time (min)	T_{co}	115	110	100
شیب زمین (٪) Slope (%)	S_0	0.25	0.72	0.66
ضریب زبری مانینگ Manning roughness coefficient	n	0.035	0.035	0.03
طول جویچه (m) Furrow length	L	110	115	115
عرض جویچه(m) Furrow width	W	0.6	0.65	0.65
پارامترهای مقطع جریان Furrow cross-section parameters	ρ_1	0.136	0.136	0.11
	ρ_2	2.798	2.798	2.804
	σ_1	0.359	0.351	0.315
	σ_2	0.622	0.622	0.621
بافت خاک Soil texture	----	لوم رسی Clay Loam	لوم رسی Clay Loam	لوم رسی شنی Sandy Clay Loam

$$SE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[O_i - P_i]^2}}{\overline{p}} \quad (۲۰)$$

نتایج و بحث

بر اساس پنج روش مختلف (دو نقطه‌ای الیوت و واکر، نفوذسنج چرخشی، سینگ و یو، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران و دو نقطه‌ای اصلاح شده شپارد و همکاران)، ضرایب معادلات کوستیاکف- لوئیس و فیلیپ تعیین شدند (جدول ۲). به منظور ارزیابی روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ، حجم آب نفوذیافته در طول جویچه یا نوار با استفاده از روش‌های دو نقطه‌ای الیوت و واکر، نفوذسنج چرخشی، سینگ و یو، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران و یک نقطه‌ای جدید پیشنهادی، برآورد و با حجم آب نفوذیافته واقعی در شیارها، که با استفاده از هیدروگراف جریان ورودی- خروجی محاسبه شد، مقایسه گردید.

مقادیر خطای نسبی در تخمین حجم آب نفوذیافته در شیارها در جدول ۳ ذکر شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که روش دونقطه‌ای الیوت و واکر با مقدار ۲/۹ درصد، دارای کمترین خطا نسبت به سایر روش‌ها و بعد از آن روش نفوذسنج چرخشی (برگشت آب) با ۲۱/۴ درصد خطا، قرار دارند.

میزان خطای استاندارد در شبیه‌سازی و پیش‌بینی مرحله پیشروی جبهه آب در طول شیارها بر اساس پارامترهای نفوذ تخمینی مختلف، در هر یک از مدل‌های هیدرودینامیک، موج جنبشی و اینرسی صفر در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. اگر مقدار میانگین خطای استاندارد در هر سه شیار مورد آزمایش، محاسبه شود (جدول ۵)، مشخص می‌شود که مدل هیدرودینامیک در تلفیق با روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر جهت محاسبه ضرایب معادله نفوذ، از میان پنج روش به کار برده شده، بهترین نتیجه را خواهد داد (با ۱۲/۸۶ درصد خطای استاندارد).

همچنین برای مدل موج جنبشی، روش برگشت آب دارای کمترین خطای استاندارد (۱۰/۰۴ درصد) می‌باشد و ترکیب مدل اینرسی صفر و روش دونقطه‌ای الیوت و واکر با کمترین خطای استاندارد (۱۲/۸۱ درصد) می‌تواند به کار برده شود. نمودارهای پیش‌بینی پیشروی آب در طول شیارهای مربوط به داده‌های سری ۱، بر اساس پنج روش نفوذپذیری و برای مدل هیدرودینامیک، موج جنبشی و اینرسی صفر در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ به عنوان نمونه و انجام مقایسه بیشتر و بهتر، نمایش داده شده‌اند.

بر اساس شکل‌های ۱، ۲ و ۳ در دو مدل هیدرودینامیک و اینرسی صفر، روش‌های نفوذسنج چرخشی، دونقطه‌ای الیوت و واکر و سینگ و یو مقادیر پیشروی را در طول شیار کمتر از مقادیر واقعی آن برآورد کرده‌اند، روش یک نقطه ای شپارد تا حدود ۱۰۰ متر از طول شیار را کمتر و از این نقطه تا انتهای شیار را بیشتر برآورد کرده و روش دو نقطه‌ای اصلاح شده به طور کلی بیش برآورد داشته است.

همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است، در مدل موج جنبشی، روش‌های دونقطه‌ای الیوت و واکر و نفوذسنج چرخشی اعداد پیشروی را تا مسافتی حدود ۴۰ متر از طول شیار منطبق با اعداد مشاهده‌ای و از آنجا تا انتهای نوار، کمتر برآورد شده‌اند.

جدول ۲- پارامترهای معادله نفوذ به دست آمده از روش‌های مختلف برای آبیاری شیاری

Table 2- Infiltration equation parameters obtained via different methods in furrow irrigation

روش	داده‌های سری۱ Series data 1			داده‌های سری۲ Series data 2			داده‌های سری۳ Series data 3		
Method	a	K	f_0	a	K	f_0	a	K	f_0
دونقطه‌ای الیوت و واکر Elliott and Walker two-point	0.195	0.00757	0.195	0.152	0.0125	0.00079	0.152	0.0076	0.000547
برگشت آب* Recycling furrow infiltrometer*	0.155	0.0063	0.155	0.135	0.0097	0.000918	0.132	0.0096	0.000174
سینگ و یو* Singh and Yu*	0.606	0.00012	0.606	0.609	0.00066	0.000225	0.342	0.0001	0.00063
یک نقطه‌ای شپارد Shepard one-point	0.5	0.00044	0.5	0.5	0.004698	0.00048	0.5	0.000984	0.000843
دونقطه‌ای اصلاح شده شپارد Modified Shepard two-point	0.817	0.008573	0.817	0.842	0.005648	0.000516	0.927	0.01145	0.001513

*مصطفی زاده و همکاران (۱۸)

*Mostafazadeh et al. (18)

جدول ۳- مقدار خطای نسبی (درصد) در برآورد حجم کل آب نفوذی در طول شیار

Table 3- Relative error (percent) for estimating total infiltrated volume in furrow length

روش Method	داده‌های سری ۱ Series data 1	داده‌های سری ۲ Series data 2	داده‌های سری ۳ Series data 3	میانگین Average
دونقطه‌ای الیوت و واکر Elliott and Walker two-point	2.02	4.46	2.41	2.9
برگشت آب* Recycling furrow infiltrometer*	-6.01	11.64	-47.47	21.4
سینگ و یو* *Singh and Yu**	-42.8	-62.52	-2.1	35.8
یک نقطه‌ای شپارد Shepard one-point	45.6	-1.7	40.5	29.2
دونقطه‌ای اصلاح شده شپارد Modified Shepard two-point	45.4	4.5	48.4	32.7

*مصطفی زاده و همکاران (۱۸)

*Mostafazadeh et al. (18)

جدول ۴- مقدار خطای استاندارد (درصد) در تخمین پیشروی آب در طول هر شیار

Table 4- Standard error (percent) for estimating water advancing through each furrow

روش Method	داده‌های سری۱ Series data 1			داده‌های سری۲ Series data 2			داده‌های سری۳ Series data 3		
	اینرسی صفر Zero-inertia	موج جنبشی Kinematic wave	هیدرودینامیک Hydrodynamic	اینرسی صفر Zero-inertia	موج جنبشی Kinematic wave	هیدرودینامیک Hydrodynamic	اینرسی صفر Zero-inertia	موج جنبشی Kinematic wave	هیدرودینامیک Hydrodynamic
دونقطه‌ای الیوت و واکر Elliott and Walker two-point	13.2	10.2	13.3	8.12	8.8	8.13	17.13	15.19	17.17
برگشت آب* Recycling furrow infiltrometer*	24	19.4	24.06	7.8	6.7	7.88	23.46	22.04	23.5
سینگ و یو* Singh and Yu*	58.76	47.5	58.8	73	72.2	73	70.2	69.3	70.2
یک نقطه‌ای شپارد Shepard one-point	40.62	38.9	40.7	14.1	12.9	14.2	37.45	36.6	37.5
دونقطه‌ای اصلاح شده شپارد Modified Shepard two-point	92.63	91.13	92.8	40	41.01	41.07	97.9	97.1	98

*مصطفی زاده و همکاران (۱۸)

*Mostafazadeh et al. (18)

روش سینگ و یو نیز کمتر پیش‌بینی کرده است و روش‌های یک نقطه‌ای شپارد و دونقطه‌ای اصلاح شده مانند دو مدل دیگر بوده‌اند. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می شود، به‌طورکلی در شبیه‌سازی مرحله پیشروی آب در طول شیار، مدل موج جنبشی نسبت به دو مدل هیدرودینامیک و اینرسی صفر دارای دقت بیشتری می‌باشد و این قاعده در هر پنج روش تعیین ضرایب نفوذ، قابل مشاهده است. این در حالی است که تفاوت خطای محاسبه شده بین دو مدل هیدرودینامیک و اینرسی صفر تقریبا ناچیز می‌باشد.

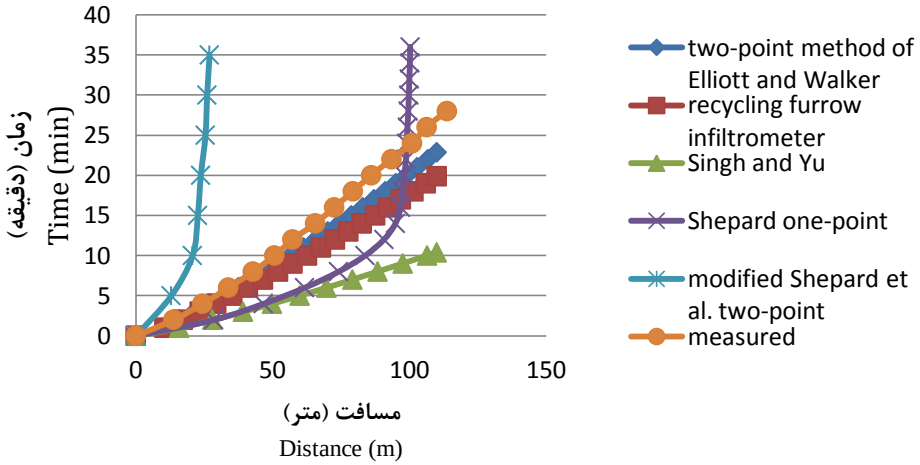
جدول ۵- میانگین خطای استاندارد (درصد) در تخمین پیشروی آب در طول شیارها

Table 5- Average standard error (percent) for estimating water advancing through each furrow

روش Method	اینرسی صفر Zero-inertia	موج جنبشی Kinematic wave	هیدرودینامیک Hydrodynamic
دونقطه‌ای الیوت و واکر Elliott and Walker two-point	12.81	11.39	12.86
برگشت آب* Recycling furrow infiltrometer*	18.42	10.04	18.48
سینگ و یو* Singh and Yu*	67.32	63	67.3
یک نقطه‌ای شپارد Shepard one-point	30.72	29.46	30.8
دونقطه‌ای اصلاح شده شپارد Modified Shepard two-point	76.84	76.41	77.29

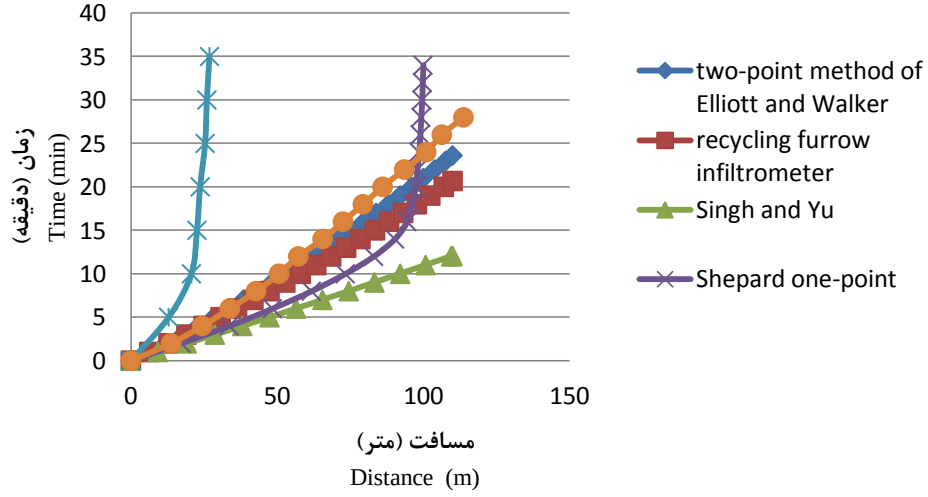
*مصطفی زاده و همکاران (۱۸)

*Mostafazadeh et al. (18)



شکل ۱- نمودارهای پیشروی آب بر اساس مدل هیدرودینامیک (داده‌های سری ۱)

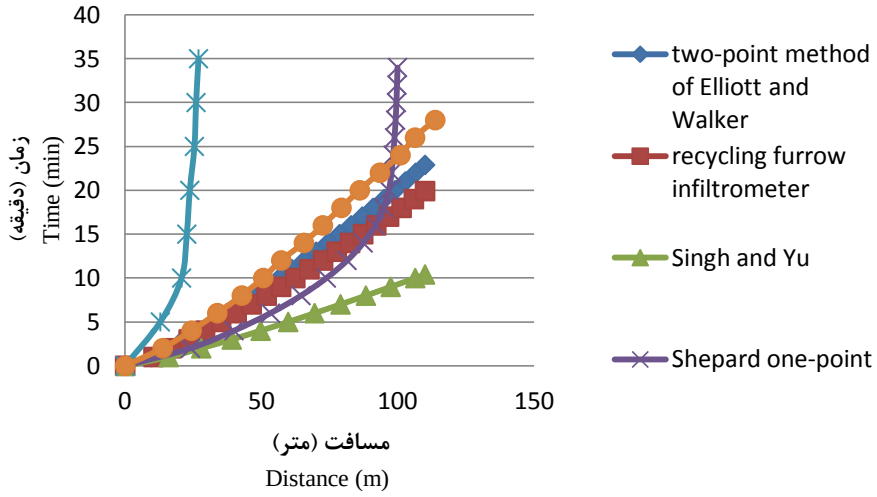
Figure 1- Water advance diagrams on basis of hydrodynamic model (Series data 1)



شکل ۲ - نمودارهای پیشروی آب بر اساس مدل موج جنبشی (داده‌های سری ۱)

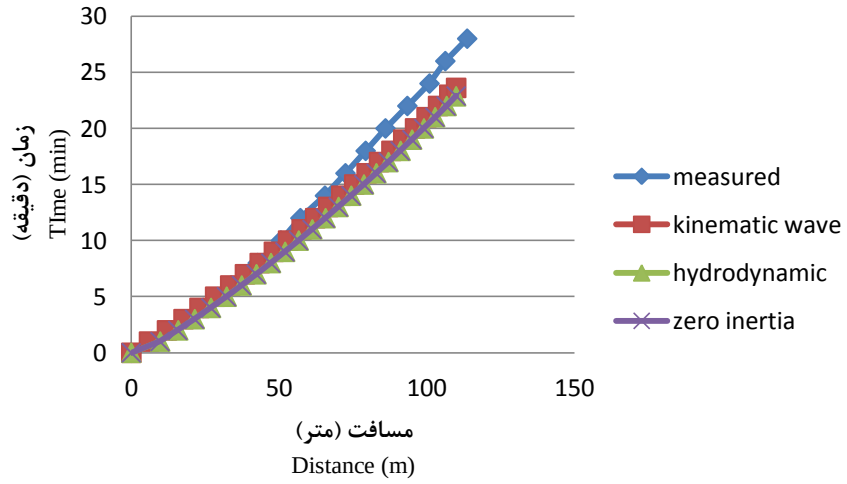
Figure 2- Water advance diagrams on basis of Kinematic wave model (Series data 1)

نمودارهای پیش‌بینی پیشروی در هر سه مدل هیدرودینامیک، موج جنبشی و اینرسی صفر، بر اساس روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر که کم‌خطاترین نتایج را تولید کرد، در کنار داده‌های اندازه‌گیری شده آنها در شکل ۴ رسم شده‌اند. با توجه به شکل ۴ مدل موج جنبشی مقادیر پیشروی را از ابتدای شیار تا حدود ۳۰ متری کمی بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد کرده، از ۳۰ تا ۴۳ متری منطبق با مقادیر واقعی و از آنجا تا انتهای طول شیار مقادیر را کم برآورد کرده است. این در حالی است که دو مدل اینرسی صفر و هیدرودینامیک در طول شیار، مقادیر را کمتر از داده‌های واقعی برآورد کرده‌اند.



شکل ۳– نمودارهای پیشروی آب بر اساس مدل اینرسی صفر (داده‌های سری ۱)

Figure 3- Water advance diagrams on basis of zero inertia model (Series data 1)



شکل ۴– نمودارهای پیشروی آب بر اساس روش دونقطه‌ای الیوت و اکر (داده‌های سری ۱)

Figure 4- Water advance diagrams on basis of Elliot and Walker two- point method (Series data 1)

نتیجه‌گیری کلی

جهت انتخاب مناسب‌ترین و سازگارترین روش تعیین پارامترهای معادلات نفوذ، در هر یک از مدل‌های ارزیابی و طراحی آبیاری شیاری، شامل روش هیدرودینامیک، موج جنبشی و اینرسی صفر، از پنج روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر، نفوذسنج چرخشی، سینگ و یو (برای محاسبه ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف– لوئیس)، یک نقطه‌ای شپارد و همکاران و دو نقطه‌ای اصلاح شده شپارد و همکاران (برای محاسبه ضرایب معادله نفوذ فیلیپ) برای آبیاری شیاری استفاده شده

است، که این عملیات با استفاده از مدل SIRMOD انجام گرفت.

به‌طور کلی روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر دارای کمترین خطا در محاسبه حجم کل آب نفوذ یافته در طول شیار، نسبت به سایر روش‌ها بوده و بعد از آن روش نفوذسنج چرخشی (برگشت آب) قرار گرفته است. شاید بتوان دلیل بهتر شدن جواب‌های حاصل از این دو روش، نسبت به سایر روش‌ها را مربوط به استفاده آنها از معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس دانست. چون در این مدل نفوذ سه پارامتر ورودی (a، k و f_0) مورد نیاز است در حالی که در معادله فیلیپ فقط اندازه‌گیری دو عامل (a و k) احتیاج است (۵). همچنین در روش دونقطه‌ای الیوت و واکر کل شیار به عنوان یک نفوذسنج در نظر گرفته می‌شود، در نتیجه شرایط کاملا مشابه شرایط انجام آبیاری است. لذا معادله نفوذ حاصله بیانگر خصوصیات نفوذ در طول شیار و در طول زمان آبیاری خواهد بود. در نفوذسنج چرخشی طول کوتاهتری از شیار مورد آزمایش قرار می‌گیرد، در نتیجه از دقت آن کاسته می‌شود؛ اما روش سینگ و یو با وجود اینکه از بر پایه معادله کوستیاکف- لوئیس است اما به دلیل استفاده از پارامترهای فیزیکی خاک به جای استفاده از پارامترهایی مثل دبی، شکل هندسی و محیط خیس شده شیار، قادر به تخمین دقیق ضرایب نفوذ در آبیاری شیاری نیست (۱۰).

در پیش بینی مرحله پیشروی آب در طول شیارها، مدل هیدرودینامیک در کنار روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر جهت تعیین پارامترهای نفوذ مورد نیاز، از میان پنج روش به کار برده شده، بهترین نتیجه را داده است. همچنین برای مدل موج جنبشی، روش برگشت آب و مدل اینرسی صفر، روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر دارای دقت بیشتری بودند. به‌طورکلی می‌توان گفت که دو روش نفوذسنج چرخشی و دو نقطه‌ای الیوت و واکر، مناسب‌ترین روش‌ها جهت تعیین پارامترهای نفوذ، نسبت به سایر شیوه‌های مورد بررسی می‌باشد و با به کارگیری آنها در هر سه مدل هیدرودینامیک، موج جنبشی و اینرسی صفر، نتایج حاصل از شبیه‌سازی مراحل آبیاری، کمترین خطا را ایجاد کرده‌اند. بهتر بودن تخمین‌ها در روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر دور از ذهن هم نیست. چون این شیوه برای بسیاری از خاک‌ها، شرایط و دوره‌های زمانی به اثبات رسیده است (۱۴).

به طور کلی مدل موج جنبشی نسبت به مدل‌های هیدرودینامیک و اینرسی صفر، ارقام پیشروی آب در طول شیار را با دقت بیشتری برآورد می‌کند و این روند در هر پنج روش تعیین ضرایب نفوذ، قابل مشاهده است. از طرفی خطاهای محاسبه شده در دو مدل هیدرودینامیک و اینرسی صفر در پیش‌بینی این مرحله از آبیاری تقریبا مساوی هستند. شاید مربوط به اثرات ناچیز عوامل اینرسی در معادله مومنتوم در این مطالعه باشد و بتوان از مدل اینرسی صفر به جای مدل پیچیده و کامل هیدرودینامیک استفاده کرد (۶). این نتیجه در راستای نتایج تحقیقات ابراهیمیان و لیاقت (۶)، ماهشواری و مک ماهان (۱۵) و عباسی و همکاران (۱) می‌باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از جناب آقای دکتر بهروز مصطفی‌زاده و جناب آقای دکتر روح الله فتاحی به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های مزرعه‌ای جهت انجام این پژوهش و همچنین از راهنمایی‌های ارزشمند جناب آقای دکتر سید فرهاد موسوی و جناب آقای دکتر حامد ابراهیمیان، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1- Abbasi F., Shooshtari M.M., and Feyen J. 2003. Evaluation of various surface irrigation numerical simulation models. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 129: 208–213.
2- Babazadeh H. 2003. Field evaluation of surface irrigation model (SIRMOD). Thesis for obtaining the degree of MSc. Tehran University. (in Persian with English abstract)
3- Bahrami M., Boroomand Nasab S. and Naseri A.A. 2009. Comparison of Muskingum-Cunge model with irrigation hydraulic models in estimation of furrow irrigation advance phase. Iranian Journal of lrrigation and drainage, 2(3): 40-49. (in Persian with English abstract)
4- Behbehani M.R., and Babazadeh H. 2005. Field evaluation of surface irrigation model (SIRMOD) (Case study in furrow irrigation). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 12(2): 11-25. (in Persian with English abstract)
5- Ebrahimian H., Liaghat A., Ghanbarian b., and Abbasi F. 2010. Evaluation of various quick methods for estimating furrow and border infiltration parameters. Irrig Sci 28:479–488.
6- Ebrahimian H,. and Liaghat A. 2011. Field evaluation of various mathematical models for furrow and border irrigation systems. Journal of Soil and Water Research, 6(2):91-101.
7- Elliot R.L, and Walker W.R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Transactions of the ASAE, 25(2): 396-400.
8- Esfandiari M., and Maheshwari B.L. 2000. Sensitivity of furrow irrigation model to input parameters. Agriculture Engineering Journal 9(3,4):117-128.
9- Esfandiari M., and Maheshwari B.L. 2001. Field evaluation of surface irrigation models. Journal of Agriculture

Engineering Reserch, 79 :459-479.
10- Fatahi R. 1993. Application of kinetic model in the design and evaluation of furrow irrigation. Thesis for obtaining the degree of MSc. Isfahan University of Technology. (in Persian with English abstract)
11- Golestani S., Tabatabaei S.H., and Shayannejad M. 2009. Improvement of the volume balance model by adjusting water surface storage term in furrow irrigation system. Journal of Water and Soil Science, 1(20): 47-60. (in Persian with English abstract)
12- Hassanli M., Shams M., Ebrahimian H., and Liaghat A. Field evaluation of SIRMOD model for alternate furrow irrigation. Proceedings of the 1th National Conference Meteorology and Agricultural water Management, 22-23 Nov. 2011. Tehran University, Karaj, Iran. (in Persian with English abstract)
13- 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.
14- 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.
15- Maheshwari B.L., and McMahan T.A. 1993. Performance evaluation of border irrigation model for southest Australia. Journal of Agriculture Engineering Reserch. 54:127-139.
16- McClymont D.J., Rain S.R., and Smith R.J. 1996. The prediction of furrow irrigation performance using the surface irrigation model (SIRMOD). P. 46-59. Proceedings of the 13th Annual Conference, Irrigation Association of Australia, 14-16 May, 1996, Adelide.
17- McClymont D.J., Smith R.J., and Rain S.R. 1999. An integrated numerical model for the design and management of surface irrigation. P.148-160. Proceedings of the Int. Conference on Multi-Objective Decision Support Systems, 1-6 August, 1999, Brisbane.
18- Mostafazadeh B., Fatahi R., and Mousavi S.F. 1996. Use of kinematic wave model in evaluating furrow irrigation system. Iranian Journal Agriculture science, 27(3): 45-54. (in Persian with English abstract)
19- Mostafazadeh B., and Mousavi S.F. 1996. Surface Irrigation. (Theory and Pracric). Farhang Game publications, Tehran.
20- Rasoulzadeh A., and Sepaskhah A.R. 2003. Scaled infiltration equations for furrow irrigation. Biosystem Engineering, 86(3):375-383.
21- Shepard J.S., Wallender W.W., and Hopmans J.W. 1993. One-point method for estimating furrow infiltration. Transactions of the ASAE, 36(2):395-404.
22- Singh V.P., and Yu F.X. 1990. Derivation of infiltration equation using system approach. Journal of Irrigation and Drainage, Div. ASCE, 116(6):837-857.
23- Sohrabi T., and Paydar Z. 2005. Irrigation Systems Designing. Tehran publisher, Tehran. (in Persian)
24- Walker W.R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. Irrigation and Drainage Engineering, 131(2):129-136.
25- Zare N., shir Afrous A., Yazdany M.R. and Rafiee M.R. Investigation of in SRFR3.1 and SIRMOD soft wares for the analysis and hydraulically simulation of the border irrigation under Sorghum Bicolor cultivation. Proceedings of the 1th National Conference Meteorology and Agricultural water Management, 22-23 Nov. 2011. Tehran University, Karaj, Iran. (in Persian with English abstract)

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 5, Nov.-Dec. 2015, p. 1057-1069

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۴، ص. ۱۰۶۹-۱۰۵۷

Determining the Most Compatible Method for Estimating Infiltration Parameters in Mathematical Furrow Irrigation Models

S. Akhavan[1*] - A. Mahdavi[2]

Received: 28-07-2013
Accepted: 05-10-2015

Introduction: Surface irrigation is still the most used method. For accessing to high efficiency, irrigation requires careful design and correct implementation. In addition, the design and evaluation of these systems require the identification of the advance, recession, and infiltration curves. Infiltration is the most important and difficult parameter to evaluate surface irrigation systems. The objective of this study was to evaluate five different methods to estimate infiltration parameters (two-point method of Elliott and Walker, recycling furrow infiltrometer, Singh and Yu method, Shepard one-point method and modified Shepard et al. two-point method) and to determine the most compatible method with design and evaluation models of furrow irrigation (hydrodynamic, kinematic wave and zero inertia) by applying SIRMOD software.

Materials and Methods: For the simulation of the surface irrigation, the continuity and momentum equations (Sant-Venant equations) used. SIRMOD simulation model is one of the models for the management and design of surface irrigation systems. The software package, hydraulic hydrodynamic models, zero inertia and kinetic wave have been placed. These models are resolvent of the Sant-Venant equations based on various assumptions. In this study, two-point method of Elliott and Walker, recycling furrow infiltrometer, Singh and Yu method (to calculate the coefficients of Kostiakov-Louis equation), Shepard one-point method and modified Shepard et al. two-point method (to calculate the coefficients of Philip equation), were used for estimating infiltration parameters. For this purpose, three field data sets were used. The total infiltrated water volume and advance time were predicted in each infiltration method and irrigation simulation model. In order to compare and evaluate the mentioned methods, the relative and standard errors were calculated.

Results and Discussion: According to the five methods (two-point method of Elliott and Walker, recycling furrow infiltrometer, Singh and Yu method, Shepard one-point method and modified Shepard et al. two-point method) Kostyakof- Louis and Philippe equations coefficients were determined. To evaluate the different methods for estimating infiltration parameters, the volume of water penetration in the furrow length was estimated using five named methods and the findings were compared with the actual volume of infiltrated water in the furrows (was estimated using the input-output hydrograph). Values of relative error in estimating the infiltrated volume in the furrows show the two-point Elliott and Walker method with 9.2 percent relative error is the lowest error than other methods. Then recycling furrow infiltrometer (back water) method is with 21.4 percent relative error. The standard error in the simulation and predict the advance stage in furrows based on different estimated parameters showed that hydrodynamic model by two-point Elliott and Walker method will give the best results (with 12.86 percent standard error). Also in Kinetic Wave model, recycling furrow infiltrometer method has the lowest standard error (10.04 percent) and zero inertia models with two-point Elliott and Walker method have lowest standard error (12.81 percent). In Hydrodynamic and zero inertia models, recycling furrow infiltrometer and two-point method of Elliott and Walker and Singh and Yu method have estimated advance figures in furrow less than its actual value. Shepard et al. one-point method underestimated about 100 meters of furrow length and overestimated from this point to the end of the furrow. Modified Shepard et al. two-point method is generally overestimated. In the kinetic wave model, two-point Elliott and Walker and recycling furrow infiltrometer methods numbers have been estimated to be completed in accordance with the numbers seen in a distance of about 40 meters along the furrow and the low estimate since the end of the furrow. Singh and Yu method overestimated. Shepard et al. one-point and Modified Shepard et al. two-point method were like the other two models.

Conclusions: Elliott and Walker two-point method is generally the least error in the calculation of the total volume of infiltrated water through the grooves, compared to other methods and then using rotating penetrometer (back water) is located. In general it can be said that both recycling furrow infiltrometer and two-point Elliott and Walker, the most appropriate methods to determine the infiltration equation parameters than

1, 2- Assistant Professor and PhD Candidate Department of Science and Water Engineering, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan
(*- Corresponding Author Email: akhavan_samira@yahoo.com)

other methods under study and using them in all three hydrodynamic, kinematic wave and zero inertia models, the results of the simulation irrigation, have created the smallest error. In general, the kinetic wave model than hydrodynamic and zero inertia models, was estimated more accurately the data in water advance stage and this trend can be seen in every five methods for estimating the infiltrated parameters. However, calculated errors in both hydrodynamic and zero inertia models in predicting this stage of irrigation are almost equal.

Keywords: Infiltration Equation, SIRMOD, Surface Irrigation, Surface Irrigation Models