نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره5، جلد9، آذر - دی 1394، ص. 760-750

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 9, Dec.-Jan. 2015, p. 750-760

بررسی صحت عملکردمدل‌های Sirmod، WinSRFR، Furdevو Pozal در تحلیل سیستم آبیاری جویچه‌ای

ساره سیاری[1*]، مجید رحیم‌پور[2] و محمد ذونعمت کرمانی[3]

تاریخ دریافت: 1394/2/29 تاریخ پذیرش: 1394/9/25

چکیده

آبیاری جویچه‌ای متداول‌ترین نوع آبیاری سطحی می‌باشد.تعیین زمان پیشروی و پسروی در مزرعه نیازمند اندازه‌گیری‌های دقیق می‌باشد و این خود باعث صرف وقت و هزینه زیاد می‌گردد. بدین منظور استفاده از یک مدل مناسب می‌تواند در این زمینه بسیار سودمند باشد. در این مطالعه از چهار مدل Sirmod، WinSRFR، FurdevوPozalبرای شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای استفاده شد و برای ارزیابی مدل‌های مذکور، از نتایج آزمایش‌های صحرایی در سه بافت خاک سبک، متوسط و سنگین استفاده شده است. آزمایشات تابستان 1393 در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنرکرمان و در بافت خاک سبک و در تابستان سال 1376در دو مزرعه تحقیقاتی گلمکان مشهد و مرکز تحقیقات صفی‌آبادزفول ودر دو بافت خاک متوسط و سنگینانجام شده است. با استفاده از مدل‌های ذکر شده، زمان پیشروی، زمان پسروی و متوسط عمق نفوذ یافته، محاسبه و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شد.نتایج نشان داد که مدل Pozalبیش‌ترین خطای محاسباتی را داراست ومدلSirmod بیش‌ترین دقت محاسبه زمان پیشروی و پسروی را در بافت خاک سبک، با خطای 0/34 و 0/53 درصد داراست. این مدل در بافت خاک سنگین نیز دارای بالاترین دقت می‌باشد. مدل Furdevدر محاسبه زمان پیشروی و پسروی برای خاک با بافت سبک دقت کم‌تری نسبت به سایر مدل‌ها داراست.بر اساس نتایج،مدل WinSRFRبا خطای 1/53 درصد دارای کم‌ترین خطا در محاسبه عمق آب نفوذ یافته در بافت خاک سبک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:آبیاری سطحی،زمان پیشروی،زمانپسروی،عمق نفوذ و مدل‌های ریاضی

مقدمه

آبیاری سطحی یکی از متداول‌ترین روش‌های آبیاری است که در آن آب به روش ثقلی در سطح زمین جریان یافته و سطح زمین به عنوان جذب کننده و انتقال دهنده آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. از محاسن عمده این روش نسبت به روش‌های آبیاری تحت فشار نظیر آبیاری بارانی و قطره‌ای را می‌توان پایین بودن هزینه سرمایه گذاری اولیه، پایین بودن هزینه تأمین انرژی و سهولت استفاده از سیستم، سهولت عملیات، تعمیر و نگهداری و هم‌چنین نیاز کم‌تر به آبیار متخصص عنوان نمود. اگرچه در سیستم‌های آبیاری تحت فشار راندمان آبیاری بالا می‌باشد ولی افزایش روزافزون هزینه انرژی سبب گردیده است که بسیاری از محققان مطالعات قابل توجهی را در زمینه افزایش راندمان آبیاری سطحی انجام دهند و این روش آبیاری را به عنوان جایگزین مناسبی برای روش‌های آبیاری تحت فشار پیشنهاد نمایند (رحیمی و سپاسخواه، 1383). در آبیاری سطحی جریان بر روی سطح خاک یک جریان ناپایدار متغیر مکانی است که به سرعت نفوذ آب در خاک، که خود با زمان و مکان تغییر می‌نماید، بستگی دارد.یکی از متداول‌ترین روش‌های آبیاری سطحی آبیاری از طریق جویچه‌ها می‌باشد. عدم طراحی صحیح این نوع آبیاری سبب به هدر رفتن مقدار قابل توجهی آب می‌شود. روش‌های مختلفی برای طراحی آبیاری سطحی ارائه گردیده است. این روش‌ها به دو گروه تجربی و هیدرولیکی تقسیم می‌شوند.در روش تجربی از یکسری جدول، گراف و فرمول که از طریق تجربه به دست آمده‌اند، استفاده می‌گردد. در روش هیدرولیکی و تحلیلی، معادلات پیچیده ریاضی حل می‌شوند. با استفاده از روش‌های هیدرولیکی امکان چندین ترکیب از اندازه دبی ورودی، زمان برقراری جریان، طول و شیب مزرعه را می‌توان مطالعه نمود. در روش هیدرولیکی به‌منظور حل معادلات حاکم بر جریان سطحی، بعضی از محققین به ساده‌گرایی متوسل شده‌اند. بر همین

1- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شهیدباهنر کرمان
2- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهیدباهنر کرمان
3- استادیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهیدباهنر کرمان
(* - نویسنده مسئول: (Email: sarehsayari@agr.uk.ac.ir

اساس علاوه بر مدل هیدرودینامیکی کامل، مدل‌های ریاضی دیگری نظیر مدل بیلان حجمی، مدل موج سینماتیک و مدل اینرسی صفر ارائه گردیده‌اند (Walker and Skogerboe., 1987).

مدل اینرسی صفر را اولین بار استرلکف و کاتاپودز (1977) پیشنهاد نمودند و اساس آن براین فرض استوار است که از عبارات اینرسی و شتاب در معادله مومنتم صرف نظر گردد. علت این امر ناچیز بودن سرعت آب روی سطح خاک است. آن‌ها معادلات اینرسی صفر را برای شبیه‌سازی مرحله پیشروی آبیاری نواری با استفاده از کمیت-های بدون بعد به صورت گراف‌هایی ارائه نمودند. این گراف‌ها برای مقادیر مختلف ضرایب معادله کوستیاکف ارائه شدهاست (Manning., 1993).

مدل موج سینماتیک برای شیب‌های تند ارائه شده است. در این مدل شیب سطح آب و شیب کف مساوی در نظر گرفته می‌شوند (Walker and Humphery., 1983).در مدل بیلان حجم از معادله مومنتم صرف‌نظر می‌گردد و معادله پیوستگی در نظر گرفته می‌شود (Walkerand Skogerboe., 1987).

کلارک و همکاران از مدل Sirmodبرای ارزیابی بهبود عملکرد آبیاری جویچه‌ای و نواری در ایالت کالیفرنیای جنوبی استفاده کردند. در این مطالعه 34 نوار و جویچه مورد بررسی قرار گرفت و هیدروگراف ورودی و رواناب خروجی اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که مدل Sirmod ابزاری مفید و کاربردی جهت ارزیابی آبیاری سطحی می‌باشد (Clark et al., 2010).

ژانگ و همکاران یک مدل عددی برای شبیه‌سازی جریان غیرماندگار و فرسایش و انتقال رسوب در آبیاری جویچه‌ای ارائه نمودند. این مدل شکل تصحیح شده معادلات سنت ونانت یک بعدی با کم شدن جرم و مومنتم به دلیل نفوذ و انتقال رسوب را حل می‌کند. فرمول انتقال رسوب لارسن تصحیح شده برای انتقال رس و شن ریز به کار گرفته شده است. نفوذ با استفاده از فرمول کوستیاکف شبیه-سازی شده و با داده‌های مزرعه مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج با داده‌های مزرعه مطابقت داشت. این مدل هم‌چنین با مدل WinSRFRنیز مقایسه گردیده است (Zhang et al., 2010).

ابراهیمیان و همکاران از سه معادله کامل، مدل اینرسی صفر و مدل موج سینماتیک در مدل Sirmodبرای شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای و نواری استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل Sirmod در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای بهتر از آبیاری نواری عمل کرده است (Ebrahimian et al., 2011) . گنزالس و همکاران با استفاده از حل معادله یک بعدی سنت ونانت و بی‌بعد کردن آن گراف‌های بی‌بعدی برای طراحی آبیاری کرتی ارائه کردند و معادلات را در دو فرم کامل هیدرودینامیکی و اینرسی صفر با روش اجزای محدود با دو WinSRFRو Pozalحل نمودند. نتیجه تحقیق ایشان ارائه گراف‌های سه‌بعدی بود که رابطه بین شیب مزرعه، یکنواختی توزیع و دیگر پارامترها مانند ضریب مانینگنرم‌افزار ، زمان قطع جریان، دبی ورودی، طول و عرض مزرعه را نشان می‌داد. این گراف‌ها برای تعیین شیب بهینه کرت، دبی ورودی، طول و عرض مزرعه استفاده می‌شوند (González et al., 2011).

قهرودی و همکاران (1392) با استفاده از مدل WinSRFR 3.1زمان پیشروی و پسروی، عمق نفوذ و بیلان حجمی را در آبیاری جویچه‌ای شبیه‌سازی نمودند. مقایسه نتایج مدل با داده‌های صحرایی نشان داد که مدل از دقت خوبی برخوردار است.

سروش و همکاران معادلات آبیاری جویچه‌ایراباستفادهازمدل SC/SF[1] مدل‌سازی کردند. این معادلات در حقیقت معادلات کاهش یافته سنت ونانت می‌باشند که تنها یک متغیر حجم آب در بالادست دارند. در پایین‌دست جریان تنها فرض کوچک بودن نرخ تغییرات می-باشد و محدودیتی برای عدد فرود وجود ندارد. بنابراین مدل را می-توان برای تمامی شیب‌ها به کاربرد. نفوذ با معادله کوستیاکف محاسبه گردیده است. معادلات با روش اولر و کرانک نیکلسون حل و از داده-های مزرعه برای ارزیابی مدل استفاده شده است. منحنی‌های پیشروی، پسروی و رواناب کاملاً با نتایج مزرعه مطابقت داشت. هم چنین نتایج مدل را با نرم‌افزار WinSRFRمقایسه کردند. نتایج مدل با خروجی نرم‌افزار مطابقت خوبی داشت (Soroush et al., 2013).

وارناک و همکاران یک مدل دوبعدی حجم محدود برای جریان-های سطحی ارائه دادند. آن‌ها در این مدل از معادلات کامل هیدرودینامیکی و معادله موج سینماتیک استفاده نمودند. چندین مطالعه موردی در این مطالعه انعطاف‌پذیری و دقت مدل موج سینماتیکی را نشان می‌دهد (Warnock et al., 2014).

اهداف این پژوهش عبارتند از: 1) ارزیابی عملکرد مدل‌های Sirmod، WinSRFR، Furdevو Pozalدرشبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای 2) ارزیابی دو روش موج سینماتیک و اینرسی صفر در برآورد پارامترهای پیشروی و پسروی در مدل‌های مختلف 3) تعیین متوسط عمق آب نفوذ یافته تحت مدل‌های ریاضی متفاوت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور جمع‌آوری آمار و ارقام مورد نیاز و هم‌چنین ارزیابی دقت مدل‌های مذکور، آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهیدباهنر کرمان انجام شد.هم‌چنین از آزمایش‌های صحرایی که در تابستان 1376 در ایستگاه‌های تحقیقاتی گلمکان مشهد، مرکز تحقیقات صفی‌آباد دزفول انجام شده‌بود، استفاده گردید (عباسی و همکاران 1378). بافت خاک و بعضی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع موردمطالعه در جدول 1 ارائه شده است.

1- slow flow/ slow change

جدول 1- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه	بافت خاک	اسیدیته (PH)	هدایت الکتریکی (EC, ds/m)
کرمان	لوم شنی (سبک)	8/7	3/8
مشهد	لومی (متوسط)	7/9	1/33
دزفول	لوم رسی سیلتی (سنگین)	0/7	1/4

با توجه به جدول 1 ملاحظه می‌شود که خاک مزارع موردمطالعه دارای طیف گسترده‌ای از نظر بافت خاک (سبک، متوسط و سنگین) می باشند. طول و فاصله جویچه‌ها بر اساس بافت خاک، توصیه‌های اداره حفاظت خاک آمریکا[1] و توپوگرافی محل انتخاب شد. آزمایش‌ها در دزفول با جویچه هایی با طول 200 متر، در مشهد با طول 130 متر و در کرمان با طول 72 متر انجام شد.

در شکل 1 نمایی از جویچه‌های مورد آزمایش در کرمان نشان داده شده است. دبی ورودی و خروجی در ایستگاه‌های مشهد و دزفول با فلوم W.S.C[2]نوع 2 اندازه‌گیری شده است. نمای کلی آزمایش‌ها در شکل 2 نشان داده شده‌است. در ایستگاه کرمان دبی ورودی با سرریز مثلثی و دبی خروجی با پارشال فلوم یک اینچی اندازه‌گیری گردید (شکل 3). مشخصات هیدرولیکی و هندسی جویچه‌های مورد آزمایش در مناطق موردمطالعه در جدول 2 آمده است. برای اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی در ایستگاه‌های مشهد و دزفول از رابطه 1 استفاده شده‌است.

$$Q = 0.000183h^{0.5} \quad (1)$$

که در آن Qدبی بر حسب متر مکعب بر دقیقه و h ارتفاع آب در فلوم بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

در ایستگاه کرمان معادله 2 برای محاسبه دبی ورودی به جویچه و معادله 3 برای محاسبه دبی خروجی به کار برده شده است.

$$Q = 1.36h^{2.5} \quad (2)$$

که در آن Qدبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه و h ارتفاع آب در روی سرریز بر حسب متر می‌باشد.

$$Q = 60.36h^{1.55} \quad (3)$$

که در آن Qدبی، لیتر بر ثانیه و h ارتفاع آب در بالادست پارشال فلوم بر حسب متر می‌باشد.

در ایستگاه کرمان طول جویچه‌ها به فواصل 3 متری تقسیم و زمان رسیدن به این نقاط اندازه‌گیری شده است و با خروج آب از فلوم زمان پیشروی به اتمام می‌رسد. تا زمانی که دبی خروجی از فلوم به میزان ثابتی برسد، جریان در جویچه ادامه می‌یابد. بعد از قطع جریان مرحله پیشروی آغاز و برای هر نقطه زمان ناپدید شدن آب اندازه-گیری گردیده است. در ایستگاه‌های مشهد و دزفول طول جویچه به فواصل 10 متری تقسیم شده است و زمان پیشروی و پسروی برای هر نقطه اندازه‌گیری شده است.

شکل 1- شمای کلی جویچه در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان.

در ایستگاه کرمان از نرم‌افزار Sipar_ID برای محاسبه پارامترهای معادله کوستیاکف و هم‌چنین ضریب زبری استفاده شده است. این نرم‌افزار از یک مدل هیبرید، شامل روش بیلان حجم و شبکه هوش مصنوعی استفاده می‌کند (Rodriguez and Martos, 2008)،میزان نفوذ نهایی از هیدروگراف‌های ورودی و خروجی استفاده شده است.

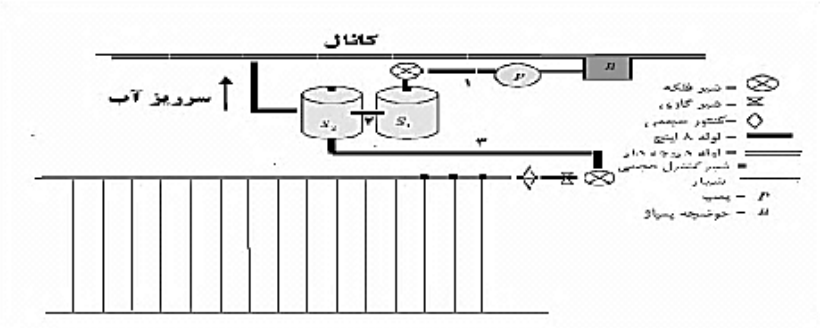
$$f_0 = (Q_{in} - Q_{out}) / L \quad (4)$$

که در آن f_0 نفوذ نهایی بر حسب متر مکعب بر دقیقه در هر متر، Q_{in} دبی ورودی و Q_{out} دبی خروجی بر حسب متر مکعب بر دقیقه و Lطول جویچه بر حسب متر می‌باشد. در ایستگاه‌های مشهد و دزفول از روش دو نقطه‌ای برای محاسبه پارامترهای نفوذ استفاده شده است.

مدلSirmod III

این مدل در سال 2003 توسط واکر و همکارنش در دانشگاه یوتا آمریکا ارائه گردید. در این مدل معادلات حاکم بر جریان با استفاده از روش مشخصه‌ها حل شده‌اند. با استفاده از این روش معادلات دیفرانسیل جزئی به معادلات دیفرانسیل معمولی تبدیل و سپس حل می‌شوند.

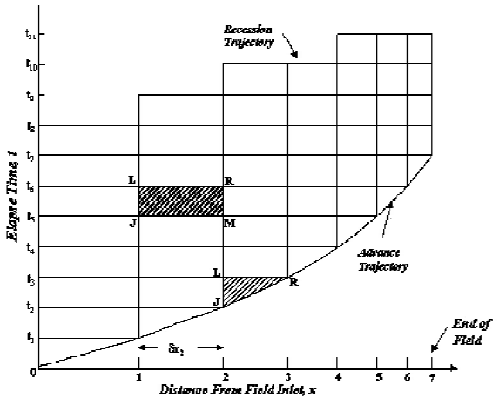
1- Soil Conversation Service (SCS)
2- Washington State College Flume



شکل 2- شمای کلی آبیاری انجام شده در ایستگاه‌های مشهد و دزفول.

شکل3- نحوه اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی در جویچه مزرعه تحقیقاتی دانشگاه باهنر کرمان.

برای حصول دقت کافی در این روش بایستی گام زمانی خیلی کوچک در نظر گرفته شود که این کار موجب کم شدن سرعت عملیات می‌گردد. به این منظور از روش حجم کنترل متغیر که در سال 1980 ارائه شده، استفاده گردیده است. اساس این روش در شکل 4 نشان داده شده است (Walker et al., 2003).



شکل 4- نمایی از شبکه‌بندی در حل عددی نرم‌افزار Sirmod(Walker, 2003).

یک قسمت کوچک از جریان و نفوذ آن در داخل خاک در نظر گرفته می‌شود و تغییرات این حجم کوچک در گام زمانی مشخص بررسی می‌گردد. در طول یک گام زمانی، جریان ورودی و خروجی از سلول تغییر می‌کند و نفوذ نیز افزایش می‌یابد. متغیرهای L و R در شکل 4 شرایط مرزی در انتهای گام زمانی و متغیرهای M و J شرایط مرزی در ابتدای گام زمانی را نشان می‌دهد. این روش، فاصله – زمان اویلری می‌باشد.

برای هر سلول معادلات پیوستگی و مومنتم حل می‌گردد. در طول هر گام زمانی در فاز پیشروی، پروفیل سطحی و زیرسطحی جریان با اضافه شدن یک سلول مثلثی توسعه می‌یابند. عرض هر سلول توسط فاصله نوک جبهه پیشروی در هر گام تعیین می‌گردد. زمانی که سلول مثلثی جدید شکل گرفت، سلول قبلی به یک سلول مستطیلی تبدیل می‌شود و بعد از رسیدن جریان به انتهای فارو تمامی سلول‌ها مستطیلی خواهند بود. زمانی که جریان قطع می‌گردد، از سلول‌ها به تدریج کاسته می‌شود تا سطح مقطع جریان به صفر برسد.

در این روش ابتدا پارامترهای معادلات پیوستگی و مومنتم به فرم اویلری و برای هر سلول نوشته می‌شوند (معادله 5).

$$\frac{\partial A}{\partial t}=\frac{[\phi(A_L-A_J)+(1-\phi)(A_R-A_M)]}{\delta t} \qquad (5)$$

که در آن A سطح مقطع در سلول (m^2)، φ ضریب متوسط مکانی و δt گام زمانی بر حسب دقیقه می‌باشد.

به طور مشابه برای سلول ذخیره زیر سطحی داریم (معادله 6).

$$\frac{\partial Z}{\partial t}=\frac{[\phi(Z_L-Z_J)+(1-\phi)(Z_R-Z_M)]}{\delta t} \quad (6)$$

که در آن Zحجم آب نفوذ یافته بر واحد عرض می‌باشد.

برای جریان ورودی به سلول در طول گام زمانی δt داریم (معادله 7).

$$\frac{\partial Q}{\partial x}=\frac{[\theta(Q_L-Q_J)+(1-\theta)(Q_R-Q_M)]}{\delta x} \quad (7)$$

که در آن θضریب متوسط زمانی می‌باشد.متغیرهای φو θدر نرم‌افزار Sirmod مقدار 0/6 در نظر گرفته شده‌اند.

در این مدل معادلات پیوستگی و مومنتم به فرم اویلری نوشته می‌شوند. این معادلات جبری و غیر خطی می‌باشند. زمانی که این معادلات برای هر سلول تا زمان مشخص نوشته شوند، یک سیستم معادلات را تشکیل می‌دهند که این معادلات به صورت هم‌زمان به صورت ضمنی حل می‌شوند. این مدل قابلیت انتخاب مدل‌های هیدرودینامیکی، اینرسی صفر و موج سینماتیک را داراست (Walker., 2003).

مدلWinSRFR 4.1.3

این مدل در سال 2004 توسط باتیستا و همکارانش ارائه گردید و آخرین بازنگری این مدل در سال 2012 انجام گرفتهاست. این مدل ترکیبی از سه مدل Border، Basinو SRFRتحت داس می‌باشد. WinSRFR شامل چهار بخش، آنالیز رویداد، شبیه‌سازی، طراحی و آنالیز عملکرد است. در بخش طراحی، ابعاد مزرعه (طول و عرض) با استفاده از داده‌های مزرعه برای رسیدن به یک عملکرد قابل قبول تعیین می‌گردد. در بخش آنالیز کاربرد، اجرای آبیاری با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. هم‌چنین از این بخش می‌توان برای محاسبه پارامترهای نفوذ استفاده کرد. این مدل از سه روش مریام-کلر، داده‌های نفوذ در مزرعه و روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر برای تخمین پارامترهای نفوذ استفاده می‌کند. در بخش عملکرد، عملکرد آبیاری را به صورت تابعی از شدت جریان و زمان قطع جریان مورد بررسی قرار می‌دهد. خروجی در این بخش به صورت منحنی-های عملکرد خواهد بود. در بخش شبیه‌سازی، حرکت آب روی سطح خاک و میزان نفوذ با استفاده از پارامترهای هیدرولیکی، پارامترهای نفوذ، دبی ورودی و شیب شبیه‌سازی می‌گردد (Bautista et al., 2012).در این مدل معادلات حاکم بر جریان با استفاده از روش حجم محدود ضمنی حل شده‌اند. شبیه‌سازی در این مدل با مدل‌های اینرسی صفر و موج سینماتیک انجام می‌گیرد(Bautista et al., 2010).

مدلSURDEV

این مدل با همکاری مرکز مدیریت آب و خاک (ILWM) دانشگاه لیون بلژیک و مرکز بین‌المللی احیا و بهبود اراضی (ILRI) هلند ارائه شده است. این بسته نرم‌افزاری شامل سه مدل BORDEV آبیاری نواری، BASDEV آبیاری کرتی و FURDEV آبیاری جویچه‌ای می‌باشد. هر سه مدل در محیط داس نوشته شده‌اند ولی قابلیت اجرا در محیط ویندوز را دارا می‌باشند. در این مدل از روش بیلان حجم برای شبیه‌سازی فاز پیشروی استفاده شده‌است. برای شبیه‌سازی فاز ذخیره، تخلیه و پسروی از روش ساده جبری که در سال 1977 توسط استرلکف ارائه شد، استفاده شده است (Jurriëns et al., 2001).

مدلPozal

این مدل توسط هولاکیا در سال 1998 ارائه شده است. در این مدل معادلات کامل هیدرودینامیکی با استفاده از روش تفاضل محدود و روش مک کورمک حل گردیده است. مشخصه‌ی اصلی این مدل تعیین مقدار بهینه زمان قطع جریان در کم‌ترین زمان می‌باشد (Dholakia et al., 1998).

در مدل‌های مذکور به جز مدل Pozal از معادله تجربی کوستیاکف – لوئیس برای محاسبه نفوذ استفاده شد (معادله 8).

$$I=akt^{a-1}+f_0 \quad (8)$$

که در آن Iسرعت نفوذ لحظه ای، tفرصت نفوذ، f_0 نفوذ نهایی،aوkپارامترهای تجربی هستند که برای خاک‌های مختلف متفاوتند. در مدل Pozal از معادله کوستیاکف استفاده شده است.

در محاسبه عمق نفوذ یافته در مزرعه از روش ورودی – خروجی استفاده شده است. در این روش حجم آب نفوذ یافته با استفاده از اختلاف حجم آب ورودی و خروجی محاسبه می‌گردد و سپس بر طول و فاصله بین جویچه‌ها تقسیم می‌گردد.میزان درصد خطا از معادله 9 محاسبه می‌شود.

$$E_{percent}=\frac{|T_c-T_m|}{T_m}\times 100 \quad (9)$$

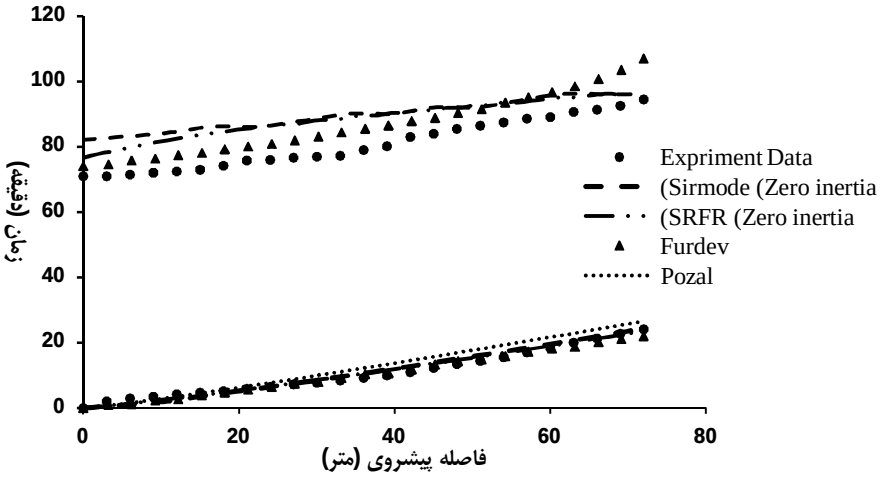
T_cزمان محاسبه شده و T_mزمان اندازه‌گیری شده در مزرعه می‌باشد.

نتایج و بحث

در شکل‌های 5 تا 7 منحنی‌های پیشروی و پسروی با مدل‌های گفته شده و داده‌های مزرعه‌ای مورد مقایسه قرار گرفته است. مدل Pozalقادر به شبیه‌سازی فاز پسروی نمی‌باشد و مدل دچار واگرایی می‌گردد.

جدول 2- مشخصات هندسی و هیدرولیکی جویچه‌های مورد مطالعه

	مشهد	دزفول	کرمان
دبی ورودی (l/s)	**0/59**	**0/85**	**1/24**
ضرایب معادله نفوذ			
a	0/156	0/507	0/157
$k\ (m3/min^a)$	0/0035	0/0018	0/0097
$f0\ (m3/min/m)$	0/0001515	0/000093	0/00013
طول جویچه (m)	130	200	72
شیب	0/0117	0/0064	0/002
فاصلهبین جویچه‌ها (m)	0/7	0/75	0/7
ضریب مانینگ n	0/03	0/04	0/048
زمان قطع جریان (min)	102	270	71



شکل 5- نمودار پیشروی و پسروی و مقایسه مدل‌های Sirmod،WinSRFR، Furdev و Pozal با داده‌های صحرایی در ایستگاه کرمان.

هم‌چنین با توجه به شکل‌های 5 تا 7 این مدل در پیش‌بینی زمان پیشروی دارای بیشترین خطا بین مدل‌های گفته شده می‌باشد.علت این امر را می‌توان به نوع روش حل معادلات در روش تفاضل محدود دانست که با گذشت زمان سبب افزایش و رشد خطا می‌گردد. در این شکل‌ها نمودار مربوط به روش اینرسی صفر در دو مدل Sirmodو WinSRFR بدست آمده است.

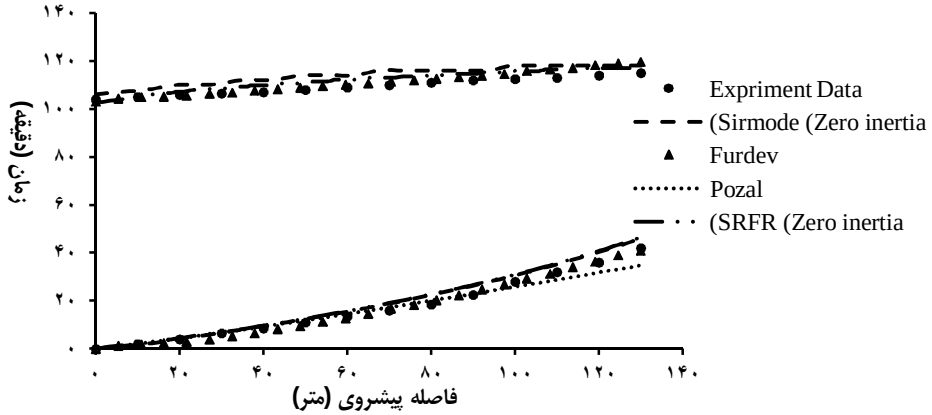
در جدول 3 میزان زمان کل پیشروی و پسروی در مدل‌های Sirmod، WinSRFR، Furdev، Pozalو هم‌چنین مقایسه آن‌ها با داده‌های صحرایی بهصورت درصد خطای نسبی نشان داده شده است. در این جدول علاوه بر روش اینرسی صفر، روش موج سینماتیک در دو مدل Sirmodو WinSRFRنیز مورد بررسی قرار گرفته است.

همان‌طور که در شکل 5 نشان داده شده است،کمترین خطای محاسبه زمان پیشروی در خاک بافت لوم شنی (کرمان) توسط مدل Sirmodبا روش اینرسی صفر 0/34 درصد و کم‌ترین خطای زمان پسروی توسط مدل WinSRFRبا روش اینرسی صفر 0/34 درصد برآورد شده است. بیش‌ترین خطای محاسبه شده زمان پسروی مربوط به مدل Furdevو برابر8/9 درصد می‌باشد.هر دو مدل WinSRFRو Sirmodبرای شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای در خاک با بافت سبک دارای دقت قابل قبول می‌باشند. این موضوع نشان دهنده انطباق بسیار خوب نتایجدر مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده می‌باشد.

همان‌طور که در شکل 6 نشان داده شده است، کم‌ترین خطای محاسبات زمان پیشروی در خاک بافت لوم (مشهد) توسط مدل Furdev و2/56درصد و کم‌ترین خطای محاسبات زمان پسروی توسط مدل WinSRFRبا روش اینرسی صفر 1/25درصد برآورد شده است.

جدول 3- مقایسه زمان پیشروی و پسروی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده

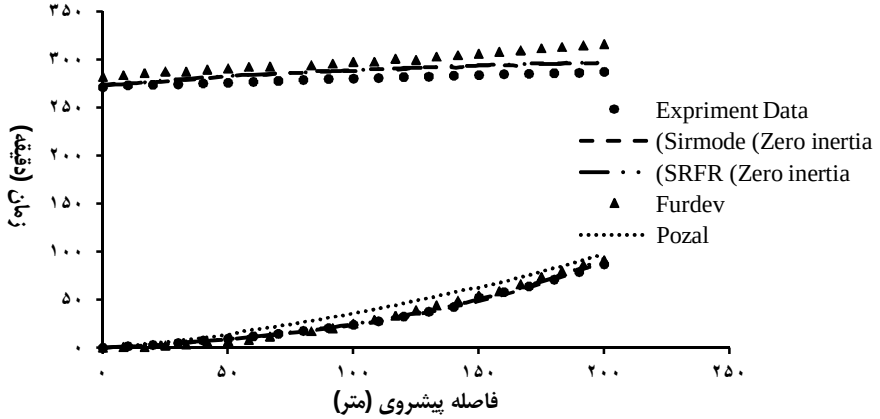
		کرمان	مشهد	دزفول	درصد خطا (کرمان)	درصد خطا (مشهد)	درصد خطا (دزفول)
داده‌های صحرایی	زمان پیشروی (min)	24	42	87	-	-	-
	زمان پسروی (min)	94/5	115	287/5	-	-	-
Sirmod (zero inertia)	زمان پیشروی (min)	24/25	46/02	90/42	0/344	9/57	3/93
	زمان پسروی (min)	94	118	296	0/53	2/6	2/95
Sirmod (Kinematic Wave)	زمان پیشروی (min)	25/7	46/5	90/84	6/3	10/71	4/41
	زمان پسروی (min)	96	120	298	1/587	4/34	3/65
WinSRFR (Kinematic Wave)	زمان پیشروی (min)	23/38	46/39	93/25	3/24	10/45	7/18
	زمان پسروی (min)	96/15	116/84	296/66	1/75	1/6	3/18
WinSRFR (zero inertia)	زمان پیشروی (min)	23/78	46/27	92/92	1/58	10/16	6/8
	زمان پسروی (min)	94/17	116/44	296	0/342	1/25	2/97
Furdev	زمان پیشروی (min)	22	40/92	91/27	8/9	2/56	4/9
	زمان پسروی (min)	107	119/64	316/16	13/24	4/03	9/97
Pozal	زمان پیشروی (min)	27/1	36/32	92/97	12/42	13/52	12/55
	زمان پسروی (min)	-	-	-	-	-	-



شکل 6- نمودار پیشروی و پسروی و مقایسه مدل‌های Sirmod،WinSRFR، Furdev و Pozal با داده‌های صحرایی در ایستگاه مشهد.

مدل Furdevدر بافت لوم نسبت به دو بافت دیگر دقت بالاتری داشته است. بیش‌ترین خطای محاسبه زمان پسروی در مدل Sirmodدر روش موج سینماتیک 4/34 درصد می‌باشد. بر اساس تحقیق ابراهیمیان و لیاقت نیز مدل Sirmodدر روش موج سینماتیکی بیش‌ترین خطا را داراست. علت این امر را می‌توان ساده‌سازی معادله سنت ونان در روش موج سینماتیکی دانست (Ebrahimian and Liaghat, 2011).

همان‌طور که در شکل 7 نشان داده شده است، کم‌ترین میزان درصد خطای زمان پیشروی و پسروی در خاک بافت لوم رسی سیلتی (دزفول) توسط مدل Sirmodبا روش اینرسی صفر به ترتیب 3/93 و 2/95 برآورد شده است. این مدل برای بافت سنگین بیش‌ترین دقت را داشته است و بیش‌ترین میزان خطای محاسبه شده به میزان 9/97 درصد در زمان پسروی مربوط به مدل Furdevمی‌باشد.با توجه به جدول 3، در هر سه بافت خاک و در دو مدل Sirmodو WinSRFRروش اینرسی صفر نسبت به روش موج سینماتیک دقت بالاتری دارد. علت این امر را می‌توان حذف تغییرات عمق نسبت به مکان در معادله موج سینماتیک بیان نمود.



شکل 7- نمودار پیشروی و پسروی و مقایسه مدل‌های Sirmod،WinSRFR، Furdevو Pozal با داده‌های صحرایی در ایستگاه دزفول.

در مدل Sirmod وWinSR دو روش اینرسی صفر و موج سینماتیک خطای محاسبه زمان پیشروی از خطای محاسبه زمان پسروی بیش‌تر است ولی در مدل Furdevخطای محاسبه زمان پسروی از خطای محاسبه زمان پیشروی بیش‌تر است واین نشان می‌دهد که دو مدل Sirmodو WinSRFRزمان پسروی را بهتر از زمان پیشروی تخمین می‌زنند. همین‌طور مدل Furdev در تخمین زمان پیشروی نسبت به زمان پسروی دقیق‌تر عمل می‌کند. اسفندیاری و ماهشواری نشان‌دادند که مدل‌های رز، واکر، استرلکف و الیوت در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای زمان پسروی را دقیق‌تر از زمان پیشروی شبیه‌سازی می‌کنند. در این تحقیق نتایج مدل‌های Sirmodو WinSRFRیافته‌های این محققان را تایید می‌کند (Esfandiari and Maheshwari., 2001). هم‌چنین ماهشواری و مک ماهون نشان دادند که مدل‌های آبیاری نواری زمان پیشروی را دقیق‌تر از زمان پسروی پیش‌بینی می‌کنند ولی در این تحقیق نتایج خلاف اینموضوع را نشان می‌دهند. علت این امر را می‌توان کمتر بودن عرض جویچه نسبت به عرض نوار عنوان کرد که موجب تعیین دقیق‌تر زمان پسروی می‌گردد (Maheshwari and McMahon., 1993).

در جدول 4 میزان عمق متوسط نفوذ یافته‌ی محاسبه شده بر حسب میلی‌متر و مقایسه آن با میزان اندازه‌گیری‌شده آمده است.

در بافت خاک سبک بالاترین دقت مربوط به مدل WinSRFRمی‌باشد و میزان درصد خطا در این حالت 1/53 می‌باشد.در بافت خاک متوسط دو مدل WinSRFRو Furdevدارای بالاترین دقت می‌باشد و میزان درصد خطای هر دو مدل 0/33 می‌باشد. در بافت خاک سنگین نیز مدل Furdevدقت بالاتری نسبت به مدل‌های دیگر داراست. پس می‌توان گفت مدل Sirmodبرای محاسبه عمق نفوذ نسبت به مدل‌های دیگر دارای دقت کم‌تری می‌باشد. هم‌چنین با توجه به جدول 4 می‌توان گفت که روش اینرسی صفر نسبت به موج سینماتیک در دو مدل Sirmodو WinSRFRدارای دقت بالاتری می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه از چهار مدلSirmod، WinSRFR، Furdevو Pozalدر شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای استفاده گردید. زمان پیشروی، زمان پسروی و متوسط عمق نفوذ یافته در هر مدل تعیین و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه گردید.

جدول 4- مقایسه عمق آب نفوذ یافته محاسبه شده و اندازه‌گیری شده

	کرمان	مشهد	دزفول	درصد خطا (کرمان)	درصد خطا (مشهد)	درصد خطا (دزفول)
داده‌های صحرایی	36/5	30/1	69/1	-	-	-
Sirmod (Kinematic Wave)	39/2	29/52	73/12	7/63	1/9	5/81
Sirmod (zero inertia)	37/5	29/63	73/12	2/72	1/53	5/82
WinSRFR (Kinematic Wave)	37/32	29/72	69/63	2/24	1/26	0/767
WinSRFR (zero inertia)	37	30	70/08	1/53	0/332	1/41
Furdev	35	30	69/5	4/1	0/332	0/578

آزمایش‌ها در سه بافت خاک سبک، متوسط و سنگین در سه شهر کرمان، مشهد و دزفول انجام گرفت. نتایج نشان داد کـه بـیش‌تـرین خطای محاسبه شده در زمان پیشروی و پسروی 8/9 و 13/24 درصد می‌باشد که مربوط به مدل Furdev است. بنابراین می‌توان گفت ایـن مدل در خاک سبک از دقـت کـافی برخـوردار نیسـت. ایـن مـدل در تخمین متوسط عمق نفوذ در خاک سـنگین بـا خطـای 0/57 درصـد بهترین عملکرد را داشته است. این مدل زمان پیشـروی را بـا خطـای کم‌تری نسبت به زمان پسروی شـبیه‌سـازی مـی‌کنـد.خطـای مـدل Sirmodدر محاسبه زمان پیشروی و پسروی در خاک سـبک 0/34 و 0/53 درصد می‌باشد که کمترین خطا بین خروجی‌های ایـن مـدل در سه بافت خاک می‌باشد. مدل Sirmodدر خاک سنگین نیز با خطـای محاسبه زمان پیشروی و پسروی 3/93 و 2/95 درصد بالاترین دقـت را داشته است. مدل WinSRFRدر تخمین متوسط عمق نفوذیافته در خاک سبک و متوسط دارای کم‌ترین خطا می‌باشـد.هـم‌چنـین مـدل SirmodوWinSRFRزمان پسروی را بهتر از زمان پیشروی تخمین می‌زنند و استفاده از یک روش عددی نوین و مقایسه نتـایج آن روش با نتایج این تحقیق می‌توانـد سـودمندی و دقـت روش عـددی را بـه خوبی نشان دهد.

منابع

رحیمی،م. و سپاسخواه، ع،ر. 1383. تعیین معادلات نفـوذ و پیشـروی آب در آبیاری جویچه‌ها در مـزارع نیشـکر هفـت تپـه، مجموعـه مقالات دومین کنفرانس ملی دانشـجویی، دانشـکده منـابع آب و خاک کشاورزی دانشگاه شیراز .ص 49-55.

عباسی،ف.، جلینی،م.، معیری،م.، طائفـه‌ی رضـایی،ح. 1378. تهیـه‌ی یک مـدل ریاضـی بـرای طراحـی و ارزیـابی روش‌هـای آبیـاری سطحی. نشریه 122. گزارش پژوهشی موسسه‌ی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. 85 ص.

مکاری قهرودی،ا.، لیاقت،ع.م.، نحـوی نیـا،م.ج. 1392. کـاربرد مـدل WinSRFR 3.1 در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای. نشریه آبیاری و زهکشی. 1. 7: 59-67.

Bautista,E., Schlegel,J.L., Strelkoff,T.S. 2012). WinSRFR 4.1 User Manual.Arid Land Agricultural Research Center.

Bautista,E., Strelkoff,T.S. Clemmens,A.J., Schlegel,J.L. 2010. WinSRFR: Current Advances in Software for Surface IrrigationSimulation and Analysis. 5 th National Decennial Irrigation Conference. ASABE and the Irrigation Association Phoenix Convention Center.

Clark,B. Hall,L. Davids,G. Walker,W. Eckhardt,J. 2009. Application of Sirmod to evaluate potential tailwater reduction from improved irrigation management.World Environmental and Water Resources Congress, ASCE.

Dholakia,M., Misra,R., Zaman,M.S. 1998.Simulation of border irrigation system using explicit MacCormack finite difference method. Agriculture. Water Manage. 36:181–200.

Ebrahimian,H. Liaghat,A. 2011. Field evaluation of various mathematical models for furrow and border irrigation systems. Soil and Water Research. 2:91-101.

Esfandiari,M. Maheshwari,B.L. 2001. Field evaluation of furrow irrigation models. Agricultural Engineering research. 79:459-479.

Gonzáleza,C. Cerveraa,L. Moret-Fernándezb,D. 2011. Basin irrigation design with longitudinal slope.Agricultural Water Management.98:1516– 1522.

Jurriëns,M., Zerihun,D., Boonstra,J., Feyen,J. 2001. SURDEV: Surface Irrigation SoftwareDesign, Operation, and Evaluation of Basin, Border and Furrow Irrigation. ILRI Publication 59.

Maheshwari,B.L. McMahon,T.A. 1993. Performance evaluation of border irrigation models for south-east Australia: I.Advance and recessioncharacteristics. Agricultural Engineering research. 54:67-87.

Manning,Ch.R. 1993. Infiltration parameters for mathematical models of furrow irrigation.A Thesis for the Degree of Master of Science in the Graduate College, the University of Arisona.

Rodriguez,J.A., Martos,J.C. 2008.SIPAR_ID USER GUIDE.Bergantín, España.

Soroush,F. Fentonb,J.D. Mostafazadeh-Farda,B. Mousavia,S.F. Abbasi,F. 2013.Simulation of furrow irrigation using the Slow-change/slow-flow equation.Agricultural Water Management.116:160– 174.

Walker,W.R. Skogerboe,G.V. 1987. Surface irrigation theory and practice. U.S.A. prentce hall.

Walker,W.R. 2003. SIRMOD IIISurface Irrigation Simulation, Evaluation and Design.Utah State University.

Walker,W.R., Humpherys,A.S. 1983. Kinematic-wave furrow irrigation model.Journal of Irrigation and Drainage Engineering.109.4: 377–392.

Warnock,A., Kim,J., Ivanov,V., Katopodes,N.D. 2014. Self-Adaptive Kinematic-Dynamic Model for Overland Flow.Journal of Irrigation and Drainage Engineerin. 140.2:169-181.

Zhang,Sh., Duan,J.G., Strelkoff,Th.S. 2010. Simulation of Unsteady Flow and Soil Erosion in Irrigation Furrows.World Environmental and Water Resources Congress, ASCE.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 9, Dec.-Jan. 2015, p. 750-760

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره5، جلد9، آذر - دی 1394، ص. 760-750

Verification and validation of Sirmod, WinSRFR, Furdev and Pozalmodels in Furrow Irrigation Systems Analysis

S.Sayari[1*], M.Rahimpour[2] and M.ZounematKermani[3]
Recived: May.19, 2015 Accepted: Dec.16, 2015

Abstract

Furrow irrigation is the most common type of surface irrigation. Determination of the advance and recession time in the field requires the accurate measurement and that could be costly and time consuming. For this purpose, using the appropriate model can be useful. In this study, Sirmod, WinSRFR, Furdev and Pozal models are used to simulate the furrow irrigation. To evaluate these models, the results of field experiments in light-textured, heavy-textured and medium-textured soils were utilized. The experiments have been performed in summer 1393 on Kerman University experimental farm in light-textured soil and in summer 1376on two experimental farms in Mashhad and Dezfoolin medium and heavy-textured soils. Using the mentioned models, advance time, recession time and infiltration depth were calculated and compared with the measured data. The results showed that Pozal model has the highest error. Also, Sirmod model has the highest accuracy in calculation of advance and recession time in light-textured soil. The errors are 0.344 and 0.53 percent for advance time and recession time, respectively. This model also has the highest precision in heavy-textured soil. Furdev model computations in advance and recession time at light-textured soil is less accurate than the other models. Based on the results, the WinSRFR model with 1.53 percent error has the lower error in the calculation of the infiltration depth in light-textured soils.

Keywords: Advance time,Infiltration depth, Mathematical models,Recession time,Surface irrigation

1-Ph.D Student, Department of Water Engineering Shahid Bahonar University of kerman, Iran
2-Associate Professor, Department of Water Engineering, Shahid Bahonar University of kerman,Iran
3-Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shahid Bahonar University of kerman,Iran
(*- Corresponding Author: sarehsayari@agr.uk.ac.ir)