



## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۴

صفحه‌های ۲۰۲-۱۹۱

# ارزیابی سیستم آبیاری جویچه‌ای با مقادیر مختلف دبی ورودی

ساره سیاری\*<sup>۱</sup>، مجید رحیم‌پور<sup>۲</sup>، محمد ذونعمت کرمانی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

۲. دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

۳. استادیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۸/۲۳

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۶/۲

### چکیده

آبیاری جویچه‌ای یکی از انواع متداول آبیاری سطحی است. تعیین زمان پیشروی و پسروی در مزرعه نیازمند اندازه‌گیری‌های دقیق است و این خود باعث صرف وقت و هزینه زیاد می‌شود. بدین منظور، استفاده از مدلی مناسب، در این زمینه بسیار سودمند خواهد بود. در این تحقیق از مدل WinSRFR در دو روش اینرسی صفر و موج سینماتیک برای شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای استفاده شده است. با استفاده از این مدل، زمان پیشروی، زمان پسروی، متوسط عمق نفوذیافته، رواناب و عملکرد محاسبه و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شد. همچنین حالت‌های مختلف دبی ورودی به جویچه مانند دبی ثابت، دبی افزایشی، دبی کاهش یافته و هیدروگراف در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام و بررسی شده است. بر اساس نتایج، روش موج سینماتیک به دلیل فرض یکنواخت بودن جریان در طول جویچه، دقت کمتری از روش اینرسی صفر دارد. همچنین نتایج نشان داد در حالتی که دبی ورودی تغییرات کمی دارد، دقت محاسبه زمان پیشروی افزایش می‌یابد. کمترین خطای محاسبه زمان پیشروی در دبی ثابت، ۱/۲ درصد و بیشترین خطای محاسبه زمان پیشروی در دبی افزایشی، ۱۱/۲ درصد است. بیشترین میزان بازده کاربرد آب و کمترین میزان رواناب مربوط به دبی کاهش یافته است که به ترتیب ۷۲ و ۲۸ درصد است.

**کلیدواژه‌ها:** بازده کاربرد، رواناب، زمان پسروی، زمان پیشروی، متوسط عمق نفوذ، مدل WinSRFR.

## مقدمه

آبیاری سطحی یکی از روش‌های متداول آبیاری است که در آن، آب به روش ثقیلی در سطح زمین جریان می‌یابد و از سطح زمین به‌عنوان جذب‌کننده و انتقال‌دهنده آب استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای طراحی آبیاری سطحی ارائه شده است. این روش‌ها به دو گروه تجربی و هیدرولیکی تقسیم می‌شوند. در روش هیدرولیکی، به‌منظور حل معادلات حاکم بر جریان سطحی، بعضی از محققان به ساده‌گرایی متوسل شده‌اند. بر همین اساس، علاوه بر مدل هیدرودینامیکی کامل، مدل‌های ریاضی دیگری نظیر مدل بیلان حجمی، مدل موج سینماتیک و مدل اینرسی صفر ارائه شده‌اند (۱۲).

مدل اینرسی صفر را استرلکف و کاتاپودز پیشنهاد کردند. اساس این مدل، بر این فرض استوار است که از عبارات اینرسی و شتاب در معادله مومنتم صرف‌نظر شود. علت این امر، ناچیزبودن سرعت آب روی سطح خاک است. آن‌ها معادلات اینرسی صفر را برای شبیه‌سازی مرحله پیشروی آبیاری نواری با استفاده از کمیت‌های بدون بعد به‌صورت گراف‌هایی ارائه کردند. این گراف‌ها برای مقادیر مختلف ضرایب معادله کوستیاکف ارائه شده است (۹). مدل موج سینماتیک برای شیب‌های تند ارائه شده است. در این مدل، شیب سطح آب و شیب کف مساوی در نظر گرفته می‌شوند (۱۳). در مدل بیلان حجم از معادله مومنتم صرف‌نظر می‌گردد و معادله پیوستگی در نظر گرفته می‌شود (۱۲).

در تحقیقی از مدل Sirmod برای ارزیابی بهبود عملکرد آبیاری جویچه‌ای و نواری در ایالت کالیفرنیا جنوبی استفاده شد. در این مطالعه، ۳۴ نوار و جویچه بررسی و هیدروگراف ورودی و رواناب خروجی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مدل Sirmod ابزاری مفید و کاربردی برای ارزیابی آبیاری سطحی است (۵). در

پژوهشی از سه معادله کامل، مدل اینرسی صفر و مدل موج سینماتیک در مدل Sirmod برای شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای و نواری استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل Sirmod در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای بهتر از آبیاری نواری عمل کرده است (۶). در پژوهش دیگری با استفاده از حل معادله یک‌بعدی سنت ونانت و بی‌بعدکردن آن، گراف‌های بی‌بعدی برای طراحی آبیاری کرتی ارائه شد. در این مطالعه، معادلات در دو فرم کامل هیدرودینامیکی و اینرسی صفر با روش اجزای محدود و دو نرم‌افزار winSRFR و Pozal حل شدند. نتیجه تحقیق، ارائه گراف‌های سه‌بعدی بود که رابطه بین شیب مزرعه، یکنواختی توزیع و دیگر پارامترها مانند ضریب مانینگ، زمان قطع جریان، دبی ورودی، طول و عرض مزرعه را نشان می‌داد (۸).

محققان معادلات آبیاری جویچه‌ای را با استفاده از معادلات فازی<sup>۱</sup> مدل‌سازی کردند. این معادلات، در حقیقت معادلات کاهش‌یافته سنت ونانت هستند که تنها یک متغیر حجم آب در بالادست دارند. تنها فرض در پایین دست جریان، کوچک‌بودن نرخ تغییرات است و محدودیتی برای عدد فرود وجود ندارد. بنابراین، مدل را می‌توان برای تمامی شیب‌ها به کار برد. نفوذ با معادله کوستیاکف محاسبه شده است. معادلات با روش اولر و کرانک نیکلسون حل و از داده‌های مزرعه برای ارزیابی مدل استفاده شده است. منحنی‌های پیشروی، پسروی و رواناب کاملاً با نتایج مزرعه مطابقت داشته است. همچنین نتایج مدل را با نرم‌افزار WinSRFR مقایسه کردند. نتایج مدل با خروجی نرم‌افزار مطابقت خوبی داشتند (۱۱). در مطالعه‌ای، یک مدل دوبعدی حجم محدود برای جریان‌های سطحی ارائه شد. در این مدل، هم از معادلات کامل

1. slow flow/ slow change

انتخاب شد و آزمایش‌ها در جویچه‌هایی با طول ۷۰ و ۷۲ متر انجام شد.

دبی ورودی با سرریز مثلثی و دبی خروجی با پارشال فلوم یک‌اینچی اندازه‌گیری شد (شکل ۱). مشخصات هندسی جویچه‌های آزمایش‌شده در منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است. برای اندازه‌گیری دبی ورودی به جویچه از معادله ۱ و برای محاسبه دبی خروجی از معادله ۲ استفاده شده است.

$$Q = 1/36h^{2/5} \quad (1)$$

در این رابطه،  $Q$  دبی برحسب مترمکعب بر ثانیه و  $h$  ارتفاع آب در روی سرریز برحسب متر است.

$$Q = 60/36h^{1/55} \quad (2)$$

در این رابطه،  $Q$  دبی برحسب لیتر بر ثانیه و  $h$  ارتفاع آب در بالادست پارشال فلوم برحسب متر است.

طول جویچه‌ها به فواصل مساوی تقسیم و زمان رسیدن آب 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 می‌رسد، جریان در جویچه ادامه می‌یابد. بعد از قطع جریان، مرحله پیشروی آغاز و برای هر نقطه زمان ناپدیدشدن آب اندازه‌گیری گردیده است.

هیدرودینامیکی و هم از معادله موج سینماتیک استفاده شد. چندین مطالعه موردی در این بررسی، انعطاف‌پذیری و دقت مدل موج سینماتیکی را نشان می‌دهد (۱۴).

اهداف این پژوهش عبارت‌اند از: ۱. ارزیابی روش دونقطه‌ای و خانواده نفوذ در برآورد پارامترهای نفوذ با مدل WinSRFR؛ ۲. ارزیابی دو روش موج سینماتیک و اینرسی صفر در برآورد پارامترهای پیشروی، پسروی و نفوذ در دبی‌های مختلف ورودی با مدل WinSRFR؛ ۳. تعیین درصد رواناب و عملکرد آبیاری جویچه‌ای تحت دبی‌های ورودی مختلف. برای این منظور و دستیابی به اهداف فوق، ارزیابی مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

به منظور جمع‌آوری آمار و ارقام مورد نیاز و ارزیابی دقت مدل‌های مذکور، آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان واقع در ۶ کیلومتری جنوب‌شرقی شهر کرمان، با طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۷۵۰ متر از سطح دریا انجام شد. بافت خاک محل آزمایش از نوع لوم‌شنی است. خصوصیات خاک آزمایش در جدول ۱ مشخص شده است. طول و فاصله جویچه‌ها بر اساس بافت خاک و توصیه‌های اداره حفاظت خاک آمریکا<sup>۱</sup>

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	اسیدیته (PH)	هدایت الکتریکی (EC, ds/m)
لوم شنی	۱۰	۲۲	۶۷	۷/۸	۳/۸



شکل ۱. الف) نحوه اندازه‌گیری دبی ورودی؛ ب) دبی خروجی در جویچه‌های مورد مطالعه

هر متر،  $Q_{in}$  دبی ورودی و  $Q_{out}$  دبی خروجی برحسب مترمکعب بر دقیقه و  $L$  طول جویچه برحسب متر است.

همچنین برای تعیین میزان نفوذ نهایی از هیدروگراف‌های ورودی و خروجی استفاده شد:

$$f = (Q_{in} - Q_{out}) / L \quad (3)$$

که در آن  $f_0$  نفوذ نهایی برحسب مترمکعب بر دقیقه در

### جدول ۲. مشخصات هندسی جویچه‌های آزمایش شده

عرض بالا (سانتی‌متر)	عرض میانی (سانتی‌متر)	عرض کف (سانتی‌متر)	حداکثر عمق (سانتی‌متر)
۸۰	۵۰	۲۰	۲۵

### جدول ۳. اطلاعات آزمایش‌های مربوط به جویچه‌های مزرعه تحقیقاتی

حالت	دبی ورودی	طول جویچه (متر)	زمان قطع جریان (دقیقه)	شیب	ضریب زبری	شرط مرزی پایین دست
الف	دبی کاهش یافته (شکل ۲)	۷۲	۶۵	۰/۰۰۲	۰/۰۵	باز
ب	هیدروگراف (شکل ۳)	۷۰	۸۶	۰/۰۰۲	۰/۰۴	باز
ج	دبی افزایشی (شکل ۴)	۷۰	۷۱	۰/۰۰۲	۰/۰۴	باز
د	۱/۲۵ لیتر بر ثانیه	۷۲	۷۱	۰/۰۰۲	۰/۰۴۸	باز
ه	۱/۲۵ لیتر بر ثانیه	۷۲	۷۵	۰/۰۰۲	۰/۰۵	بسته

این بخش می‌توان برای محاسبه پارامترهای نفوذ استفاده کرد. این مدل از سه روش مریام-کلر، داده‌های نفوذ در مزرعه و روش دونقطه‌ای 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 بررسی می‌کنند. خروجی در این بخش به صورت منحنی‌های 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 (۳).

در این مقاله از دو بخش آنالیز رویداد و شبیه‌سازی استفاده شده است. در مدل WinSRFR معادلات حاکم بر جریان با استفاده از روش حجم محدود ضمنی حل شده‌اند. پارامترهای زمان پیشروی، زمان پسروی، درصد رواناب و بازده کاربرد برای حالات مختلف دبی ورودی در جویچه شبیه‌سازی و نتایج با داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه شد. شبیه‌سازی در این مدل با مدل‌های اینرسی صفر و موج سینماتیک انجام می‌گیرد (۴).

مدل WinSRFR از روش‌های تجربی مانند معادله کوستیاکف، معادله کوستیاکف اصلاح شده، روش خانواده نفوذ NRCS، روش خانواده نفوذ-زمان، تابع شاخه‌ای و معادله گرین-امپ که تنها در آبیاری کرتی و نواری قابل استفاده است، برای محاسبه نفوذ در آبیاری سطحی استفاده می‌کند (۳). در به‌کاربردن معادلات تجربی باید نکاتی مانند استفاده از معادله مناسب، تخمین پارامترهای آن معادله و میزان خطای شبیه‌سازی را در نظر گرفت و بهترین معادله را انتخاب کرد.

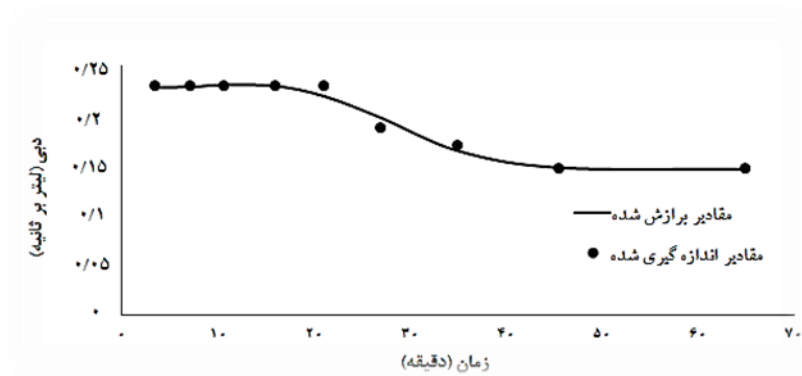
ضریب زبری در هر آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Sipar\_ID تخمین زده شده است. این نرم‌افزار با استفاده از تغییرات عمق جریان در ابتدای جویچه و داده‌های پیشروی جریان و استفاده از الگوریتم ژنتیک ضریب زبری را تخمین می‌زند (۱۰). در جدول ۳ اطلاعات آزمایش‌ها نشان داده شده است.

تعیین کردن پارامترهای نفوذ از مراحل دشوار آبیاری سطحی است. به‌طور کلی، برای تعیین پارامترهای نفوذ، به اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای زیادی نیاز است. روش‌هایی مانند استوانه‌های نفوذ اغلب در شرایط دینامیکی مزرعه دقت قابل قبولی ندارند. به همین منظور، از روش‌های مبتنی بر شرایط واقعی مزرعه در شرایط آبیاری استفاده می‌شود. این روش‌ها معادله نفوذ را به‌طور مستقیم از روش بیان حجمی و داده‌های پیشروی تعیین می‌کنند (۳).

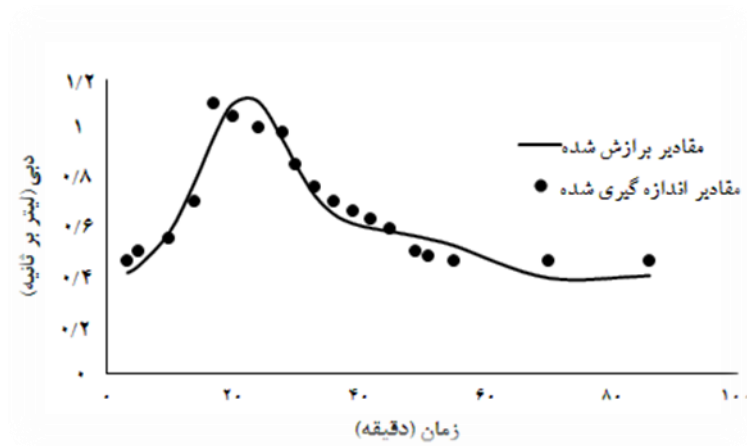
در آبیاری سطحی، روشی برای اصلاح معادله استخراج شده از استوانه‌های نفوذ با استفاده از جریان ورودی و خروجی پیشنهاد شد. همچنین بعد از بررسی تعداد زیادی از آزمایش‌های استوانه‌های نفوذ، مریام-کلر روش دونقطه‌ای را برای تعیین پارامترهای نفوذ معرفی کردند (۳).

مدل WinSRFR 4.13 ترکیبی از سه مدل Border، Basin و SRFR است (۴). WinSRFR از چهار بخش آنالیز رویداد، شبیه‌سازی، طراحی و آنالیز عملکرد تشکیل شده است. در بخش طراحی، ابعاد مزرعه (طول و عرض) با استفاده از داده‌های مزرعه برای رسیدن به عملکردی قابل قبول تعیین می‌شود. در بخش آنالیز رویداد، اجرای آبیاری با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای ارزیابی می‌شود. همچنین از

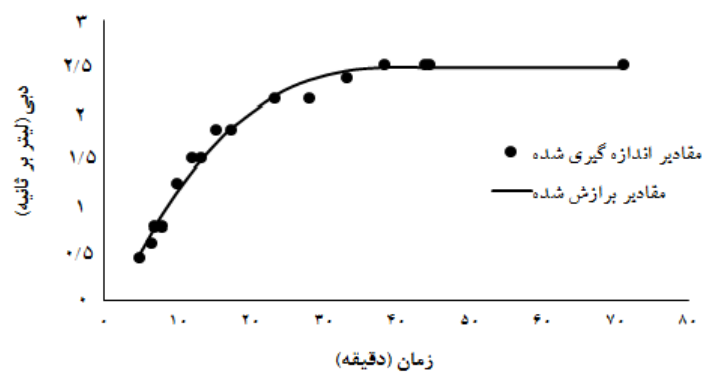
ساره سياري، مجيد رحيم پور، محمد ذونعمت کرمانی



شکل ۲. دبی ورودی به جویچه برای حالت الف



شکل ۳. دبی ورودی به جویچه برای حالت ب



شکل ۴. دبی ورودی به جویچه برای حالت ج

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۴

با استفاده از معادله ۸ و رگرسیون‌گیری می‌توان ضرایب معادله کوستیاکف را محاسبه کرد.

برای اینکه از روش گفته‌شده استفاده شود، باید در تمام نقاط پیشروی برداشت‌شده دبی ورودی به جویچه مشخص باشد. به همین دلیل، با استفاده از نرم‌افزار متلب، منحنی‌هایی به مقادیر اندازه‌گیری‌شده برازش داده شد و سپس از این معادلات برای محاسبه دبی ورودی در زمان‌های مختلف استفاده شد. منحنی‌های برازش داده‌شده برای حالت‌های الف، ب و ج، به ترتیب دارای معادلات ۱۰، ۱۱ و ۱۲ است.

$$Q = -4/842 \times 10^{-9} t^5 + 7/282 \times 10^{-7} t^4 - 3/585 \times 10^{-5} t^3 + 0/0006203 t^2 - 0/003765 t + 0/2354 \quad (10)$$

$$Q = 0/579 e^{-((t-21/72)/9/265)^2} + 0/596 e^{-((t-36/11)/52/1)^2} \quad (11)$$

$$Q = 0/00002606 t^2 - 0/003854 t^2 + 0/1824 t - 0/2953 \quad (12)$$

در این رابطه،  $Q$  دبی ورودی به جویچه و  $t$  زمان است. برای اجرای مدل WinSRFR 4.1.3 ابتدا مشخصات هندسی جویچه، ضریب زبری و هیدروگراف ورودی و خروجی وارد مدل می‌شود. سپس پارامترهای نفوذ بر اساس روش‌ها و معادلاتی که گفته شد، از طریق روش دونقطه‌ای به دست می‌آید.

بازده کاربرد ( $E_a$ ) در هر حالت از معادله زیر به دست می‌آید:

$$E_a = \frac{V_{in} - V_{out} - V_{dp}}{V_{in}} \times 100 \quad (13)$$

در این رابطه،  $V_{in}$  حجم آب ورودی به جویچه مترمکعب،  $V_{out}$  حجم رواناب خروجی از جویچه مترمکعب و  $V_{dp}$  حجم آب نفوذیافته مترمکعب است.

در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ به دلیل اینکه دبی ورودی به جویچه ثابت نیست، نمی‌توان از روش دونقطه‌ای ساده موجود در مدل WinSRFR استفاده کرد. در روش دونقطه‌ای فرض بر این است که دبی ورودی، شیب، شکل سطح مقطع و محیط خیس‌شده جویچه ثابت است. فرمول تجربی زیر برای تخمین منحنی پیشروی پیشنهاد شده است (۱۲):

$$x = pt^r \quad (4)$$

در این رابطه،  $x$  فاصله از ابتدای جویچه،  $t$  زمان پیشروی و  $p$  و  $r$  ثابت‌های معادله است. با اعمال معادله بیلان حجم در جویچه معادله زیر به دست می‌آید (۱۲):

$$Q_{int} = \sigma_y A_x + \sigma_z kt^a x + (f \cdot tx) / (1+r) \quad (5)$$

در این رابطه،  $f_0$  نفوذ نهایی،  $\sigma_y$  فاکتور شکل سطحی است و برابر ۰/۷۵ در نظر گرفته می‌شود (۱۳)،  $\sigma_z$  فاکتور شکل زیرسطحی است و از معادله زیر محاسبه می‌شود (۱۳):

$$\sigma_z = (a + r(1-a) + 1) / ((1+r)(1+a)) \quad (6)$$

در این رابطه،  $a$  ضریب معادله کوستیاکف است.  $A_0$  سطح مقطع جریان در ابتدای جویچه است و از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$A_x = (Q_{in} n / (\rho_1 S^{1/2}))^{1/\rho_2} \quad (7)$$

که در آن  $\rho_1$  و  $\rho_2$  ضرایب هیدرولیکی جویچه است. برای تعیین  $k$  و  $a$  از معادله ۵ به جای روش دونقطه‌ای، باید از تمام داده‌های برداشت‌شده استفاده کرد. بنابراین، معادله ۵ را می‌توان به شکل زیر بازنویسی کرد.

$$V_x = \sigma_z kt^a \quad (8)$$

در این رابطه،

$$V_x = Q_{int} / x - \sigma_y A_x - (f \cdot t) / (1+r) \quad (9)$$

## نتایج و بحث

پایین دست بسته قابل استفاده نیست. به همین دلیل از این روش در حالت «ه» استفاده نشده است. همچنین به دلیل صرف نظر کردن از پارامترهای شتاب در معادله مومنتم، این روش خطای محاسباتی بیشتری از اینرسی صفر دارد که در شکل های ۶ تا ۹ نشان داده شده است.

در جدول ۵، میزان خطای محاسبه زمان پیشروی و پسروی در دو روش اینرسی صفر و موج سینماتیکی آمده است. میزان درصد خطا از فرمول زیر محاسبه می شود.

$$E_{\text{percent}} = \frac{|T_c - T_m|}{T_m} \times 100 \quad (14)$$

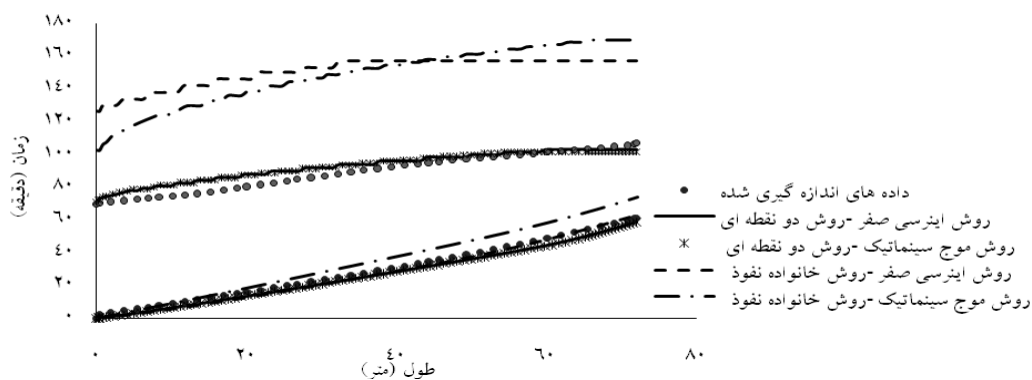
در این رابطه،  $T_c$  زمان محاسبه شده و  $T_m$  زمان اندازه گیری شده در مزرعه است.

در جویچه های با انتهای باز، از روش دونقطه ای موجود در مدل برای حالت دبی ثابت استفاده شده و در حالت های الف، ب و ج نیز مقادیر  $a$  و  $k$  به صورتی که گفته شد، محاسبه شده است. پارامترهای نفوذ در جویچه با انتهای بسته به روش خانواده نفوذ مربوط است. در جدول ۴، پارامترهای نفوذ در جویچه های مورد مطالعه نشان داده شده است.

در شکل های ۵ تا ۹ منحنی های پیشروی و پسروی حاصل از مدل با داده های مزرعه ای مقایسه شده است. در روش موج سینماتیکی، فرض بر آن است که عمق آب در تمام طول جویچه برابر عمق نرمال است. بنابراین، روش موج سینماتیک برای مدل های آبیاری سطحی با مرز

جدول ۴. پارامترهای نفوذ در جویچه های آزمایش شده

حالت	آزمایش	$a$	$f_0$ (mm/hr)	$k$ (mm/hr <sup>a</sup> )
الف	دبی کاهش یافته (شکل ۲)	۰/۰۵	۲/۰۴	۹/۲
ب	هیدروگراف (شکل ۳)	۰/۲۷	۴/۷۲	۷۶/۴
ج	دبی افزایشی (شکل ۴)	۰/۶	۵/۴۱	۳۶/۱۶
د	دبی ثابت (جویچه با انتهای باز)	۰/۴۱	۵/۷	۲۳/۱۳
ه	دبی ثابت (جویچه با انتهای بسته)	۰/۷	-	۲۵/۵۲



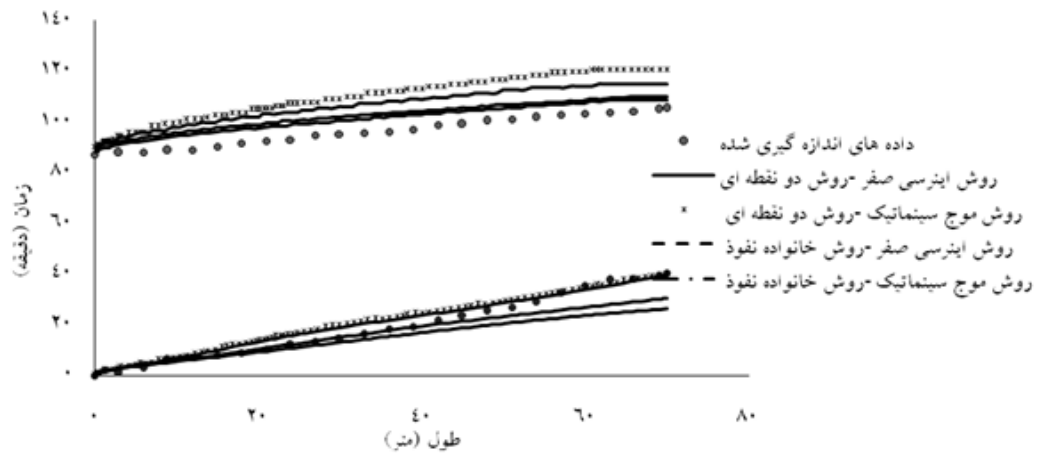
شکل ۵. منحنی های پیشروی و پسروی در حالت «الف» و مقایسه با داده های مزرعه ای

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۴



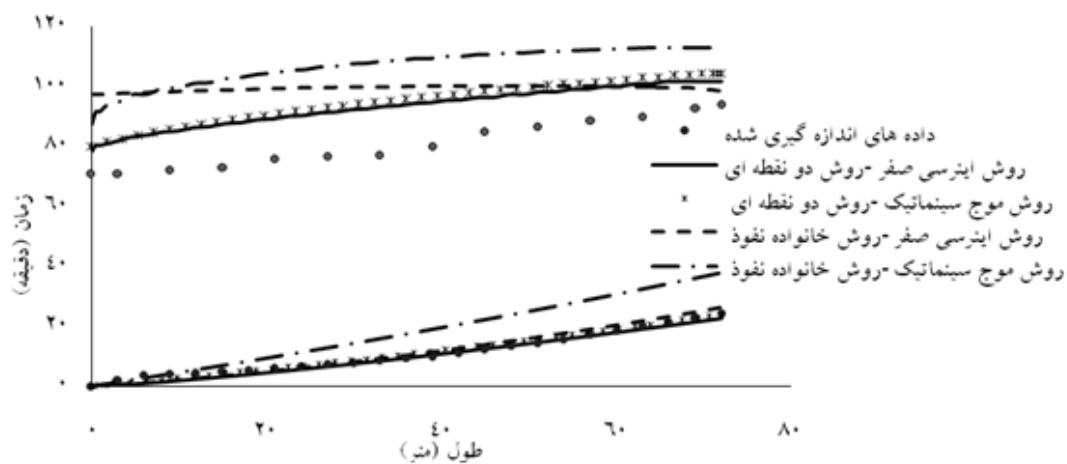
ارزیابی سیستم آبیاری جویچه‌ای با مقادیر مختلف دبی ورودی



شکل ۶. منحنی‌های پیشروی و پسروی در حالت «ب» و مقایسه با داده‌های مزرعه‌ای



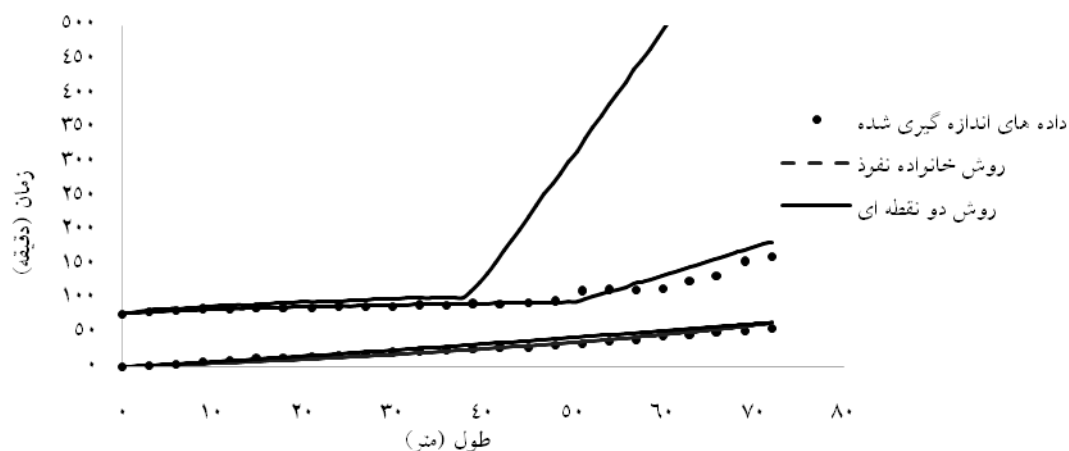
شکل ۷. منحنی‌های پیشروی و پسروی در حالت «ج» و مقایسه با داده‌های مزرعه‌ای



شکل ۸. منحنی‌های پیشروی و پسروی در حالت «د» و مقایسه با داده‌های مزرعه‌ای

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۵ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۴



شکل ۹. منحنی های پیشروی و پسروی در حالت «ه» و مقایسه با داده های مزرعه ای

جدول ۵. میزان درصد خطای شبیه سازی مدل

	خطای روش دو نقطه ای				خطای روش خانواده نفوذ			
	روش اینرسی صفر		روش موج سینماتیک		روش اینرسی صفر		روش موج سینماتیک	
	پیشروی	پسروی	پیشروی	پسروی	پیشروی	پسروی	پیشروی	پسروی
الف	۳/۴	۳/۸	۴/۲	۱۴	۲۳/۴	۱۵/۴۲	۴/۲	۱۴
ب	۱/۲	۹/۳	۲۴/۲	۴/۳	۲/۹	۳۴/۳	۲۴/۲	۴/۳
ج	۱۱/۲	۲/۴	۵/۳	۶/۹	۷/۳	۹/۲	۵/۳	۶/۹
د	۱/۲	۸/۱	۸	۴/۲	۲۰	۸/۶	۸	۴/۲
ه	۱۵/۵	۳۲۴	۱۳/۶۹	۱۱/۸	-	-	۱۳/۶۹	۱۱/۸

در حالت «د» که دبی ورودی تغییرات کمتری دارد، مدل با دقت بیشتری زمان پیشروی و پسروی را محاسبه کرده است. خطای محاسبه زمان پیشروی در این حالت ۱/۲ درصد حدود ۰/۳ دقیقه است که قابل اغماض است. با تغییرات زیاد دبی ورودی مانند حالت ج درصد خطای پیشروی افزایش می یابد و به میزان ۱۱/۲ درصد می رسد. همچنین روش خانواده نفوذ در حالت کاهش جریان برای پیش بینی زمان پسروی دارای خطای زیادی است و برای این مورد توصیه نمی شود. مقادیر رواناب، نفوذ و بازده کاربرد هر آزمایش در جدول ۶ نشان داده شده است.

در حالت «ه» به دلیل اینکه انتهای جویچه بسته است، روش دو نقطه ای به دلیل عدم محاسبه  $f_0$  دارای خطای محاسباتی بسیار زیادی است. در این حالت، استفاده از روش خانواده نفوذ NRCS از آنالیز مریام پیشنهاد می شود. با توجه به جدول ۵ می توان نشان داد که روش اینرسی صفر از روش موج سینماتیک دقیق تر عمل می کند. علت این امر را می توان فرضیاتی مانند یکنواخت بودن عمق جریان و صرف نظر کردن از پارامترهای شتاب در معادله مومنت دانست که در روش موج سینماتیک اعمال شده است. همچنین با توجه به جدول ۵ می توان گفت در حالت

جدول ۶. میزان عمق آب نفوذیافته، درصد رواناب و بازده کاربرد آب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با روش اینرسی صفر

حالت	میزان عمق آب نفوذیافته (mm)	میزان عمق آب نفوذیافته (%)	خطا (%)	میزان عمق آب نفوذیافته		بازده کاربرد (%)
				محاسبه شده (mm)	اندازه‌گیری شده (mm)	
الف	۱۰	۱۱	۱۰	۴ (۰.۲۸)	۳	۷۸
ب	۲۳	۲۵	۸/۶	۳۷ (۰.۶۱)	۳۵	۴۱
ج	۳۴	۳۸	۱۱/۷	۱۳۴ (۰.۷۹)	۱۳۰	۲۲
د	۴۵	۴۳	۴/۴	۵۴ (۰.۵۱)	۵۵	۴۰

آن بر رواناب و عملکرد آبیاری بررسی شد. همچنین از مدل WinSRFR در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای استفاده شد. از روش دونقطه‌ای برای تعیین پارامترهای نفوذ استفاده گردید. در حالتی که دبی ورودی به جویچه متغیر است، باید از تمام نقاط پیشروی در محاسبه پارامترهای نفوذ بهره برد. نتایج نشان داد که این مدل می‌تواند در زمانی که دبی ورودی ثابت است، متوسط عمق نفوذ و رواناب را با دقت مناسب‌تری نسبت به دیگر حالات دبی ورودی و با درصد خطای ۴/۴ و ۱/۸ پیش‌بینی کند. همچنین نشان داده شد که بهترین بازده کاربرد ۷۲ درصد و کمترین رواناب ۲۸ درصد مربوط به دبی کاهش یافته است. در این روش، دبی ورودی قبل از رسیدن به انتهای جویچه کاهش می‌یابد؛ بنابراین، آب کمتری به صورت رواناب هدر می‌رود. همچنین با کاهش جریان ورودی، فرصت نفوذ در انتهای جویچه افزایش و در نتیجه، بازده کاربرد نیز افزایش می‌یابد. از دو روش اینرسی صفر و موج سینماتیک در اجرای مدل استفاده شد. بر اساس نتایج، روش موج سینماتیک خطای بیشتری از روش اینرسی صفر دارد. همچنین از این مدل نمی‌توان در زمانی استفاده کرد که انتهای جویچه بسته است. برای شبیه‌سازی جویچه با انتهای بسته، بهتر است از روش مریام-کلر و خانواده نفوذ

با توجه به جدول ۶، بهترین عملکرد (۷۲ درصد) و کمترین رواناب (۲۸ درصد) مربوط به حالت الف و دبی ورودی کاهش یافته است. همچنین کمترین عملکرد (۲۰ درصد) و بیشترین میزان رواناب (۷۹ درصد) مربوط به حالت «ج» و افزایش دبی ورودی نسبت به زمان است. بیشترین میزان خطای محاسبه متوسط عمق نفوذیافته ۱۱/۷ درصد در حالت ج و کمترین خطای محاسبه در حالت د ۴/۴ درصد است.

با توجه به نتایج می‌توان گفت مدل WinSRFR در حالتی که دبی ورودی ثابت است، دقت بیشتری در پیش‌بینی زمان پیشروی، پسروی، عمق نفوذ و رواناب دارد. با افزایش تغییرات دبی ورودی دقت مدل نیز کاهش می‌یابد. برخی محققان نشان دادند که مدل اینرسی صفر با دبی ثابت در تخمین رواناب با بیش‌برآورد و در تخمین نفوذ با کم‌برآورد همراه خواهد بود (۷،۲،۱). این تحقیق (حالت د) نتایج این محققان را تأیید می‌کند. علت این امر را می‌توان حذف پارامترهای شتاب و اینرسی از معادله سنت ونان دانست.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، نوع هیدروگراف ورودی به جویچه و تأثیر

evaluation of various mathematical models for furrow and border irrigation systems. *Soil and Water Research*. (2):91-101.

7. Esfandiari M and Maheshvari B.L (2001) Field evaluation of surface irrigation models. *Agricultural Engineering Research*. 79(4):459-479.
8. González C, Cerveraa L and Moret-Fernández D (2011) Basin irrigation design with longitudinal slope. *Agricultural Water Management*. 98:1516– 1522.
9. 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.
10. Rodriguez J.A and Martos J.C (2008) SIPAR\_ID User Guide. Bergantín, España.
11. Soroush F, Fentonb J.D, Mostafazadeh-Farda B, Mousavia S.F and Abbasi F (2013) Simulation of furrow irrigation using the Slow-change/slow-flow equation. *Agricultural Water Management*. 116:160– 174.
12. Walker W. R and Skogerboe G. V (1987) *Surface irrigation theory and practice*. Prentice Hall College. 524 pages.
13. Walker W.R and Humpherys A.S (1983) Kinematic-wave furrow irrigation model. *Irrigation and Drainage Engineering*. 109 (4), 377–392.
14. Warnock A, Kim J, Ivanov V and Katopodes N.D (2014) Self-Adaptive Kinematic-Dynamic Model for Overland Flow. *Irrigation and Drainage Engineering*. 140(2):169-181.

استفاده کرد. در این حالت، نتایج در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه از مطابقت خوبی برخوردار است.

## منابع

۱. بهبهانیم. ر.، بابازاده ح (۱۳۸۴) ارزیابی مزرعه‌ای مدل سیستم آبیاری سطحی Sirmod. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. (۲):۱۲: ۱-۱۰.
۲. تقی‌زاده ز.، وردی‌نژاد و.ر.، ابراهیمیان ح. و خان‌محمدی ن (۱۳۹۱) ارزیابی مزرعه‌ای و تحلیل سیستم آبیاری سطحی با WinSRFR (مطالعه موردی آبیاری جویچه‌ای). آب و خاک. (۶):۲۶: ۱۴۵۹-۱۴۵۰.
3. Bautista E, Schlegel J.L and Strelkoff T.S (2012) WinSRFR 4.1 User manual. Arid land agricultural research center.
4. Bautista E, Strelkoff T.S, Clemmens A.J and Schlegel, J.L (2010) WinSRFR: Current advances in software for surface irrigation simulation and analysis. 5th National Decennial Irrigation Conference. American Society of Agricultural and Biological Engineers and the Irrigation Association Phoenix Convention Center.
5. Clark B, Hall L, Davids, Walker W and Eckhardt J (2009) Application of Sirmod to evaluate potential tailwater reduction from improved irrigation management. World Environmental and Water Resources Congress, American Society of Civil Engineers.
6. Ebrahimian H and Laighat A (2011) Field