اصلاح معادله بیلان حجم برای محاسبه پیشروی جریان آب در جویچه با استفاده از عمق واقعی جریان در مقطع ورودی

رضا لاله زاری[۱*]، سعید برومندنسب[۲] و مهدی بهرامی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۳۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱/۲۷)

چکیده

سرعت پیشروی از فاکتورهای مهم در طراحی و شبیه‌سازی سیستم‌های آبیاری سطحی به‌شمار می‌رود. بیلان حجم یک مدل ساده طراحی و مدیریتی سیستم آبیاری سطحی است که بر پایه معادله پیوستگی ایجاد شده است. در گذشته مدل‌های بیلان حجم بر این فرض استوار بود که عمق جریان سطحی در بالادست ثابت و برابر با عمق نرمال می‌باشد که این فرض اولیه امکان بروز خطای معنی‌دار را در محاسبه پیشروی جریان فراهم می‌آورد. در این تحقیق مدل بیلان حجم اصلاح شده برای پیش‌بینی منحنی پیشروی در آبیاری شیاری توسعه یافته است. در مدل پیشنهادی عمق جریان در ابتدای شیار متغیر با زمان و برابر با عمق واقعی جریان در این مقطع درنظر گرفته شد. طول پیشروی پیش‌بینی شده توسط روش بیلان حجم کلاسیک، بیلان حجم ترکیبی با اینرسی صفر و مدل اصلاح شده بیلان حجم در تحقیق حاضر با داده‌های مشاهده‌ای به‌دست آمده از سه طول شیار ۶۰، ۸۰ و ۹۰ متری مقایسه گردید. شاخص‌های ارزیابی دقت مدل اصلاح شده را بیشتر از دو مدل دیگر با RMSE به‌ترتیب ۹/۲۶، ۷/۳۷ و ۶/۷۶ نشان می‌دهد. آنالیز حساسیت نشان داد که دبی ورودی بیشترین تأثیر را در مدل داشته و مدل ارائه شده در مقایسه افزایش دبی نسبت به کاهش دبی حساسیت بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: پیشروی، آبیاری شیاری، بیلان حجم و آنالیز حساسیت

۱. گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، باشگاه پژوهشگران جوان، اهواز، ایران
۲. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: lalehzari@hotmail.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.21.8]

مقدمه

آبیاری سطحی به‌واسطه سهولت در اجرا، بهره‌برداری و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه پایین‌تر نسبت به‌روش‌های تحت فشار به‌عنوان شیوه غالب تأمین آب مورد نیاز گیاهان به‌شمار می‌رود و از این جهت بهبود آن مورد توجه کارشناسان بوده است (۸). حدود ۹۰ درصد از اراضی آبی ایران تحت پوشش این سیستم قرار دارد (۴). طراحی ضعیف و کمبود معیارهای مناسب در سیستم‌های آبیاری سطحی موجب آبیاری غیرمؤثر، اتلاف آب، آب گرفتگی و مشکلات شوری می‌گردد (۱۱). بنابراین می‌توان با مدیریت آب مصرفی در فاز طراحی با توجه به شرایط اقلیمی، خصوصیات خاک و گیاه، وضعیت زمین شامل شیب و ضریب زبری سطح مطلوبی از راندمان را به‌دست آورد.

ورود ابزارهای محاسبه سریع مانند کامپیوتر، کاربرد روش‌های ریاضی و هیدرولیکی را در شبیه‌سازی سطحی و زیرسطحی جریان آب در خاک را گسترش داده است. بر این اساس مدل‌های متعددی با ترکیب معادلات پیوستگی و مومنتوم مانند مدل هیدرودینامیک (۹)، مدل اینرسی صفر(۱۴) و مدل موج سینماتیک (۱۸) ارائه شده است. البته در دو مدل اخیر معادله مومنتوم برای افزایش سرعت محاسبات، فرضیاتی جهت ساده‌سازی در بخش مومنتوم صورت گرفته است.

مدل بیلان حجم گونه دیگری از ابزار شبیه‌ساز آبیاری سطحی است که با کنترل جریان ورودی و خروجی و لحاظ نمودن حجم ذخیره سطحی و زیرسطحی مراحل آبیاری را به فازهای پیشروی، ذخیره، تخلیه و پسروی تقسیم‌بندی می‌کند. مطالعات متعددی در خصوص ارزیابی و اصلاح اجزاء بیلان حجم جهت برآورد دقیق‌تر فازهای مذکور صورت گرفته است (۱، ۲، ۷، ۱۰ و ۱۶).

فاز پیشروی که از آغاز ورود آب به‌شیار تا رسیدن جبهه جریان به پایاب اتلاق می‌شود از مهمترین بخش‌های طراحی برای ایجاد تعادل میان رواناب و نفوذعمقی می‌باشد. داده‌های ورودی مدل بیلان حجم برای محاسبه زمان پیشروی عبارتند از: دبی ورودی، رواناب خروجی، معادله نفوذ در طول شیار و سطح مقطع جریان در بالادست. به‌دلیل عدم قطعیت در برآورد ارتفاع آب در طول شیار روابطی برای محاسبه پروفیل سطحی جریان به‌صورت زیر ارائه شده است(۱۵).

$$y(x,t)=y(t)\left(1-\frac{x}{s(t)}\right)^{b} \qquad [1]$$

که $y(x,t)$ عمق جریان (متر) در نقطه x و در زمان t است. $s(t)$ فاصله پیشروی (متر) در زمان t و b ضریب ثابت که از رابطه زیر تخمین زده می‌شود.

$$b=\frac{0/45}{(1+P)^{0/2}} \qquad [1]$$

P عامل وابسته به دبی، شیب و خصوصیات نفوذ می‌باشد که از رابطه (۳) به‌دست می‌آید.

$$P=\frac{\left(q.s.\left(\frac{y_n}{k}\right)^{\frac{1}{a}}\right)}{y_n^2} \qquad [3]$$

در این رابطه q_o، دبی ورودی (مترمکعب بر ثانیه)، S_o، شیب طولی، y_n، عمق نرمال جریان (متر)، a و k، ضرایب معادله کاستیاکف لوئیس می‌باشند. برای تعیین حجم ذخیره سطحی از رابطه (۱) انتگرال گرفته می‌شود. معادلات (۴) و (۵) انتگرال‌گیری از رابطه (۱) و محدوده انتگرال‌گیری را نشان می‌دهند. با قرار دادن $x=0$ (درنظر گرفتن مقطع ورودی جریان) و محدود نمودن دامنه انتگرال به فاصله پیشروی در دو گام زمانی متوالی، اختلاف حجم ذخیره سطحی در دو بازه متوالی از رابطه (۶) به‌دست می‌آید.

$$v_{sur}=\int_{0}^{s(t)} y(t)\left(1-\frac{x}{s(t)}\right)^{b} dx \qquad [4]$$

$$v_{sur}=\frac{y(t)}{(s(t))^{b}}\times\frac{(s(t)-x)^{b+1}}{(1+b)}\Bigg|_{x=0}^{x=s(t)} \qquad [5]$$

$$\Delta v_{sur}=\frac{(y_i s_i - y_{i-1}s_{i-1})}{(1+b)} \qquad [6]$$

گلستانی و همکاران (۱) از معادله مذکور برای برآورد ذخیره سطحی در آبیاری جویچه‌ای با اصلاح دبی نسبت به عرض

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.21.8]

جویچه استفاده کردند. هال (۶) حجم جریان زیرسطحی را از رابطه (۷) محاسبه کرد:

$$\Delta v_{sub} = \sum_{k=1}^{i-1}\left(\frac{\left(z_{i-k+1} - z_{i-k-1}\right)\Delta s_k}{2}\right) + \sigma_z z_1 \left(s_i - s_{i-1}\right) \qquad [7]$$

بنابراین با نوشتن رابطه بیلان حجم رابطه زیر بین ذخیره سطحی و زیر سطحی برقرار می‌شود (معادله ۸):

$$q.\Delta t_i = \Delta v_{sur.i} + \Delta v_{sub.i} \qquad [8]$$

والیانزاس (۱۵) با استخراج رابطه بالا و فرض اینرسی صفر رابطه ترکیبی بیلان حجم و اینرسی صفر را ارائه و دقت مدل ترکیبی را بیشتر از مدل بیلان حجم ارزیابی نمود.

هدف از این تحقیق ترکیب رابطه فوق و فرض عمق واقعی جریان در ابتدای شیار و ارائه مدل اصلاح شده بیلان حجم می‌باشد. مدل تهیه شده با مدل بیلان حجم کلاسیک (۱۹) و مدل ترکیبی بیلان حجم- اینرسی صفر (۱۵) مقایسه و دقت مدل‌ها در شرایط تغییر پارامترهای ورودی بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

در گذشته روابط مختلف محاسبه زمان و فاصله پیشروی جریان در جویچه با لحاظ نمودن پارامترهای واقعی جریان و پرهیز از کاربرد ضرایب تخمینی اصلاح شده‌اند. معادله پیشنهاد شده در تحقیق حاضر بر اساس روابط فوق و روش نیوتن – رافسون استخراج شده و دقت نتایج آن برای پیش‌بینی منحنی پیشروی جریان مطالعه و تحلیل حساسیت گردید.

اگر معادله (۶) و (۷) در معادله (۸) جایگزین گردد، فاصله پیشروی در هر زمان از رابطه (۹) به‌دست می‌آید:

$$s_i = \frac{C}{y_i + (1+b)\sigma_z z_1} \qquad [9]$$

$$C = q.\Delta t(1+b) + y_{i-1}s_{i-1} + (1+b)\sigma_z z_1 s_{i-1} - (1+b)\sum_{k=1}^{i-1}\left(\frac{\left(z_{i-k+1} - z_{i-k-1}\right)\Delta s_k}{2}\right) \qquad [10]$$

در معادله (۹) تنها پارامتر مجهول در هر گام زمانی y_i، عمق جریان در ابتدای شیار در زمان i است. فاک و بیشاپ (۵) این عمق را معادل عمق نرمال y_n فرض کردند و معادله طول پیشروی را با استفاده از معادله بیلان حجم به‌صورت معادله (۱۱) ارائه نمودند:

$$s_i = \frac{q_o t}{\sigma_y y_n + \sigma_z k t^a}^{\frac{3}{10}} \qquad [11]$$

زندپارسا و سپاسخواه (۱۳) نشان دادند معادله (۱۱) برای مسافت‌های کوتاه و شیب‌های تند به دلیل نرسیدن عمق جریان در مقطع ورودی به عمق نرمال با خطا مواجه است. بنابراین پیشنهاد کردند که از عمق واقعی در معادله استفاده گردد و معادله (۱۱) را به‌صورت ذیل اصلاح شد.

$$y_. = \left(\frac{q_.^2 n^2}{S_. + \frac{y_.}{s_i}}\right)^{\frac{3}{10}} \qquad [12]$$

با ترکیب معادلات (۹) و (۱۲)، معادله (۱۳) برای بیان بیلان حجمی در جویچه به‌دست می‌آید:

$$F(y) = S_. y_i^{\frac{10}{3}} + \frac{1}{A} y_i^{\frac{16}{3}} + \frac{(1+b)\sigma_z z_1}{A} y_i^{\frac{13}{3}} - q_.^2 n^2 = 0 \qquad [13]$$

حل معادله (۱۳) به‌روش نیوتن – رافسون تا رسیدن به عمق جریان در ابتدای شیار منجر به محاسبه عمق جریان در گام‌های زمانی مختلف از رابطه (۱۴) و (۱۵) شد که به‌عنوان روش اصلاح شده در مطالعه از آن یاد می‌شود:

$$F'(y) = \frac{10}{3} S_. y_i^{\frac{7}{3}} + \frac{16}{3A} y_i^{\frac{13}{3}} + \frac{13(1+b)\sigma_z z_1}{3A} y_i^{\frac{10}{3}} \qquad [14]$$

$$y_i^{j+1} = y_i^j - \frac{F(y)}{F'(y)} \qquad [15]$$

برای شبیه‌سازی فاصله پیشروی توسط مدل اصلاح شده بیلان حجم، تعداد سه جویچه آزمایشی به طول‌های ۶۰، ۸۰ و ۹۰ متر، به عرض ۴۰ سانتی‌متر و با شیب طولی ۰/۰۰۱ با بافت خاک لوم رسی در مزرعه آزمایشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.21.8]

شهید چمران اهواز احداث و با دبی ۱/۵ لیتر در ثانیه آبیاری شد. در آبیاری هر جویچه اندازه‌گیری پیشروی، رواناب و همچنین عمق جریان صورت گرفت. طول جویچه‌ها به فواصل ۵ متری علامت گذاری شده و پیشروی آب در جویچه ثبت شد. دبی ورودی و خروجی هر جویچه نیز بوسیله فلوم های WSC (تیپ ۲) که در ابتدا و انتهای جویچه نصب شده بود اندازه‌گیری شدند. با استفاده از اطلاعات فوق و از طریق معادله مانینگ، ضریب زبری متوسط هر جویچه جهت استفاده در مدل‌ها استخراج گردید. ضرایب معادله نفوذ کاستیاکف – لوئیس در هر نوبت آبیاری، نیز به‌روش دو نقطه‌ای به‌دست آمد.

منحنی پیشروی پیش‌بینی شده به‌وسیله سه روش بیلان حجم مذکور (روش اصلاح شده در این مطالعه، روش کلاسیک واکر – اسکوگربو (۱۹۸۷) و روش ترکیبی بیلان حجم – اینرسی صفر (والیانزاس، ۱۹۹۴)) توسط برنامه تهیه شده در نرم‌افزار Excel و روش اینرسی صفر با استفاده از نرم افزار Sirmod ترسیم گردید. نرم‌افزار Sirmod برای شبیه‌سازی هیدرولیکی آبیاری سطحی بر پایه حل عددی معادلات سنت – ونانت توسعه یافته و مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج سینماتیک را شامل می‌شود(۱۷).

برای انتخاب بهترین روش بیلان حجم از روش ارزیابی متقابل استفاده شد. مقدار RMSE بین داده‌های محاسباتی و مشاهداتی برای انتخاب بهترین روش میانیابی به‌صورت رابطه ذیل تعریف می‌گردد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_p - x_.\right)_i^2}{n}} \qquad [16]$$

سایر معیارها در تعیین روش بهینه عبارتند از:

شاخص ضریب جرم مانده (CRM) که نشان دهنده میزان بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی مدل نسبت به مقادیر واقعی است و به‌ترتیب با علامت‌های مثبت و منفی محاسبه می‌گردد(۱).

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_p - x_.\right)_i}{\sum_{i=1}^{n} x_.} \qquad [17]$$

ضریب کارایی مدل (ME) از یک برای بهترین حالت تا منفی بینهایت برای بدترین حالت متغیر است.

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_. - \bar{x}\right)^2 - \sum_{i=1}^{n}\left(x_p - x_.\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(x_. - \bar{x}\right)^2} \qquad [18]$$

در معادلات فوق x_p: فاصله پیشروی تخمین زده شده توسط هر مدل، x_o: فاصله پیشروی اندازه‌گیری‌شده در هر شیار، i:شماره هر گام زمانی و n: تعداد گام‌های زمانی.

نتایج و بحث

شکل‌های۱ تا ۳ منحنی پیشروی به‌روش‌های مذکور و داده‌های اندازه‌گیری شده در شیارهای به طول ۹۰، ۸۰ و ۶۰ متر را نشان می‌دهند.

در شیار با طول ۹۰ متر در ۳۰ متر ابتدایی مدل‌های بیلان حجم تخمین بهتری از زمان پیشروی داشته و بعد از آن منحنی‌ها از داده‌های مشاهداتی فاصله گرفته و مدل اینرسی صفر نتایج بهتری داشت. در مجموع در بین روش‌های بیلان حجم، به‌ترتیب روش اصلاح شده، واکر و اسکوگربو و مدل ترکیبی با اینرسی صفر (والیانزاس) با RMSE، ۷/۸۶، ۸/۲۶ و ۸/۴۶ بهترین پیش‌بینی را انجام داده‌اند (شکل۱).

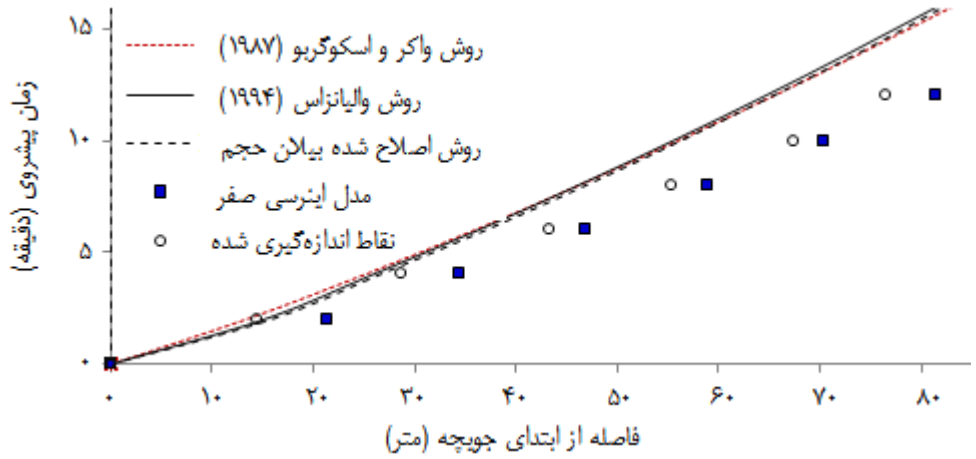
در طول ۸۰ متر تفاوت در منحنی‌ها مشخص‌تر بوده و مانند مورد قبل با افزایش فاصله پیشروی از دقت روش‌های بیلان حجم کاسته می‌شود (شکل۲). مطابق شکل۴ شاخص خطای RMSE برای روش اصلاح شده کمترین مقدار و برای روش واکر و اسکوگربو بیشترین مقدار را دارد.

کمترین خطا در بین ۳ طول آزمایش شده برای شیار ۶۰ متر محاسبه گردید (شکل۳). همانگونه که در شکل۴ نیز نشان داده شده است در طول‌های کوتاه نتایج تمامی روش‌ها به‌هم نزدیک بودند.

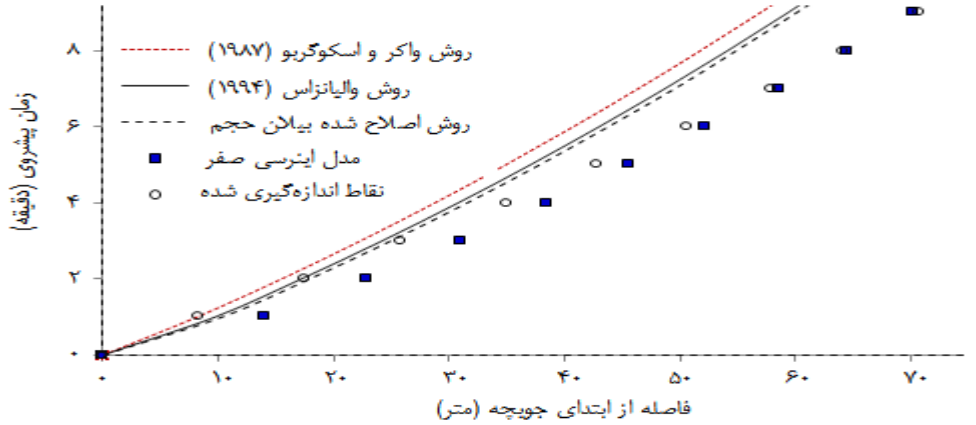
تعیین بهترین روش بیلان حجم توسط شاخص‌های CRM و ME نیز انجام گرفت که نتایج آن در جدول۱ آمده است. مطابق با این معیارها روش اصلاح شده بیلان حجم در تمام

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09]

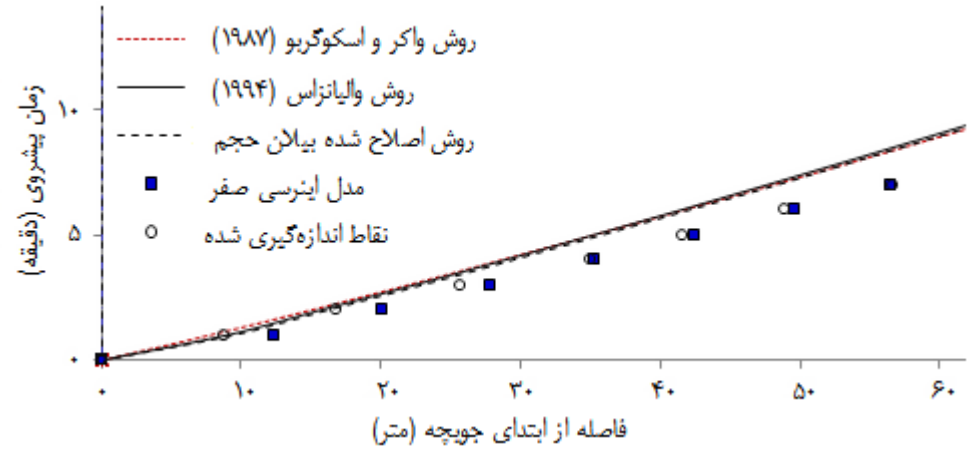
[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.21.8]



شکل۱. مقایسه منحنی‌های پیشروی با داده‌های اندازه‌گیری شده در طول ۹۰ متر



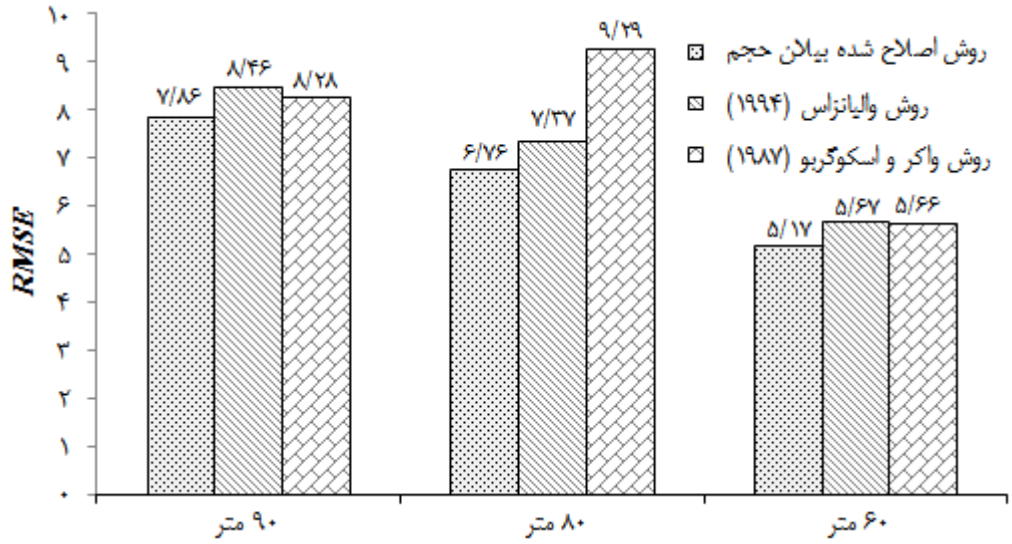
شکل۲. مقایسه منحنی‌های پیشروی با داده‌های اندازه‌گیری شده در طول ۸۰ متر



شکل۳. مقایسه منحنی‌های پیشروی با داده‌های اندازه‌گیری شده در طول ۶۰ متر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.21.8]



شکل۴. مقایسه خطای برآورد زمان پیشروی پیش‌بینی شده توسط روش‌های بیلان حجم

طول‌ها خطای کمتری را در برآورد فاصله پیشروی داشته است. مدل واکر- اسکوگربو در شیار ۸۰ متری کمترین دقت و دو مدل دیگر در این طول بهترین تخمین را داشته‌اند. همان‌گونه که در شکل۴ نیز نشان داده شده است با افزایش طول جویچه دقت هر سه روش برای برآورد زمان پیشروی با خطای بیشتری مواجه است، اما مدل واکر و اسوگربو برای شیار ۸۰ متر کمترین دقت را داشته که احتمالاً به دلیل خطای برآورد معادله نفوذ یا خطای مدل است. زیرا روش مذکور نکته قابل ذکر در همه آزمایش‌ها این است که شاخص ضریب جرم باقی‌مانده در تمام روش‌ها منفی است یا به‌عبارت بهتر مدل‌های بیلان حجم در همه طول‌ها طول پیشروی را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده‌اند.

براساس داده‌های جمع‌آوری شده از مشاهدات مزرعه‌ای مدل آبیاری شیاری آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Sirmod در طول ۸۰ متر تهیه گردید. مدل اینرسی صفر نسبت به‌مدل‌های هیدرودینامیک و موج سینماتیک برازش بهتری به‌فاصله پیشروی اندازه‌گیری شده نشان داد. بنابراین با پایه قرار دادن مدل اینرسی صفر قابلیت پیش‌بینی مدل‌های بیلان حجم در حالت تغییر دبی ورودی به نصف و دو برابر مقدار اولیه تعیین شد. نتایج شبیه‌سازی برای دبی ۰/۷۵ لیتر در ثانیه در شکل ۵ و برای دبی ۳ لیتر در ثانیه در شکل۶ آمده است.

در دبی کمتر (شکل۵) سرعت پیشروی محاسبه شده توسط روش‌های بیلان حجم کندتر از سرعت واقعی برآورد شده است. روش اصلاح شده بیلان حجم با اندکی اختلاف دقت بیشتری نسبت به دو روش دیگر دارد. نتایج شاخص‌های مقایسه‌ای که روی شکل آمده است برای این روش به نقطه بهینه نزدیک‌تر است و بعد از آن روش والیانزاس و سپس روش کلاسیک واکر- اسکوگربو قرار دارد.

با افزایش دبی به دو برابر مقدار اولیه، مدل اصلاح شده بیلان حجم در این تحقیق فاصله پیشروی را با خطای کمتر و اختلاف بیشتر نسبت به‌روش واکر - اسکوگربو شبیه‌سازی می‌کند (شکل۶). ضریب کارایی مدل در این حالت ۰/۹۹ است که به‌خوبی قابلیت مدل را نشان می‌دهد. این مطلب نشان داد با افزایش دبی بهتر است به‌جای استفاده از ضریب شکل سطحی برای تخمین سطح مقطع متوسط جریان از روابط شبیه‌ساز پروفیل سطح آب استفاده کرد.

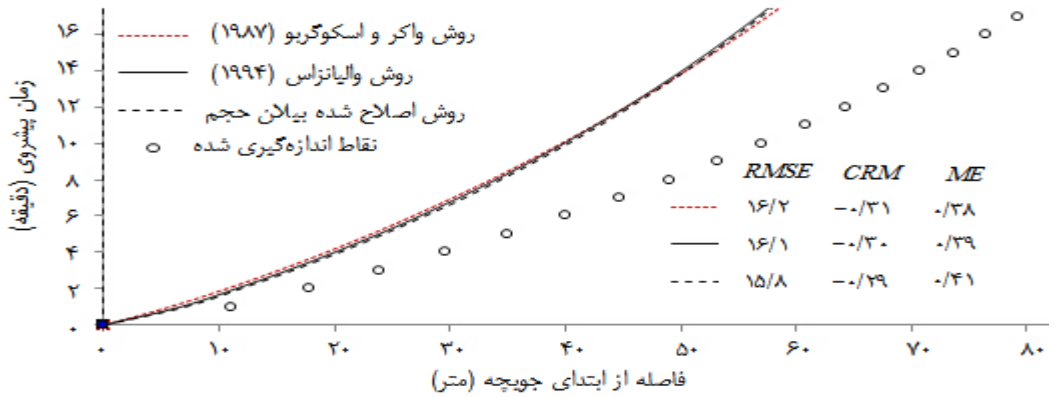
برای تحلیل حساسیت مدل اصلاح شده بیلان حجم، ۵ پارامتر ورودی شامل دبی، شیب طولی، ضریب زبری، ضریب نفوذپذیری و سرعت نفوذ نهایی انتخاب گردید. در هر مرحله مقدار اولیه یکی از داده‌های مذکور ۵۰ درصد اضافه و کم شده

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09]

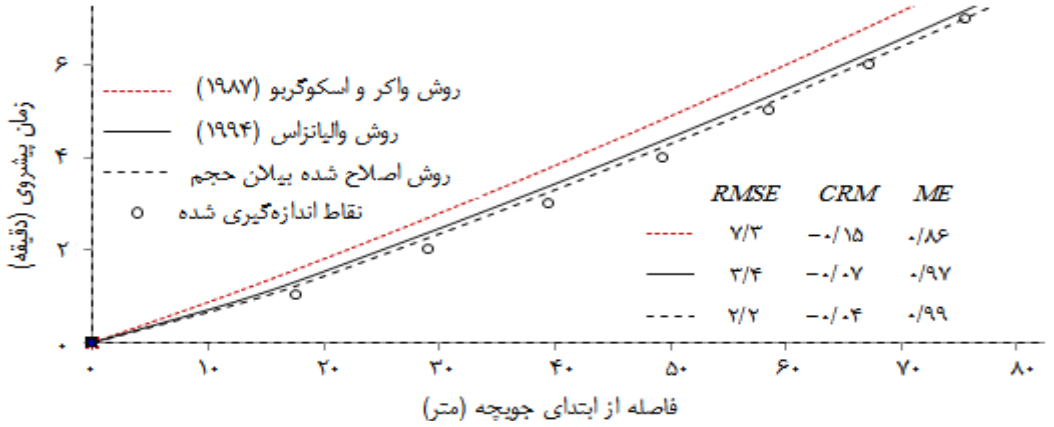
[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.21.8]

جدول۱. مقایسه مدل‌های بیلان حجم بر اساس شاخص ضریب جرم باقیمانده (*CRM*) و ضریب کارایی (*ME*)

شاخص ارزیابی	CRM			ME		
طول شیار	۶۰	۸۰	۹۰	۶۰	۸۰	۹۰
روش بیلان حجم واکر- اسکوگربو	-۰/۱۵۱	-۰/۱۷۹	-۰/۱۵۴	۰/۸۷۴	۰/۸۱۷	۰/۸۵۱
روش ترکیبی بیلان حجم و اینرسی صفر	-۰/۱۴۲	-۰/۱۳۲	-۰/۱۴۸	۰/۸۷۴	۰/۸۸۵	۰/۸۴۵
روش اصلاح شده بیلان حجم	-۰/۱۲۵	-۰/۱۱۶	-۰/۱۳۳	۰/۸۹۵	۰/۹۰۳	۰/۸۶۶



شکل۵ . مقایسه منحنی‌های پیشروی با نصف کردن دبی ورودی (۰/۷۵ lit/s)



شکل۶. مقایسه منحنی‌های پیشروی با افزایش دوبرابری دبی ورودی (۳ lit/s)

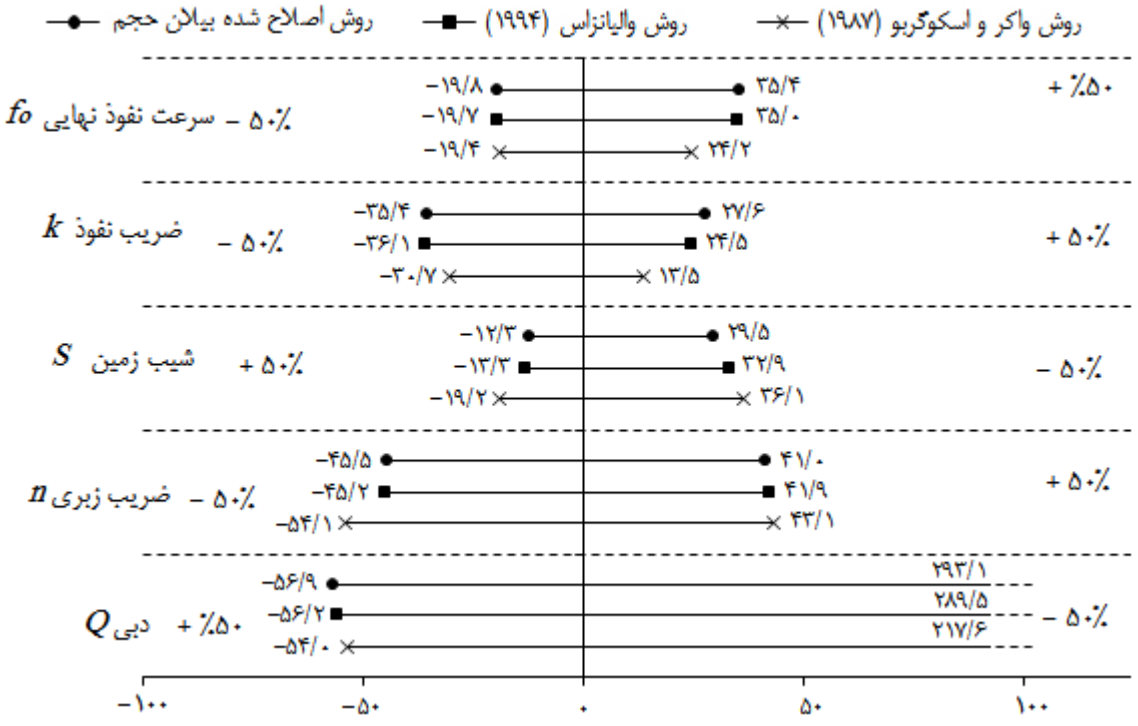
در حالی‌که بقیه پارامترها ثابت باقی می‌ماند(۱۲). مدل در شرایط جدید اجرا و زمان پیشروی پیش‌بینی گردید. خطای پیش‌بینی مدل نسبت به مقدار اولیه از شاخص CRM که بیانگر درصد اریبی مدل است محاسبه و نسبت خطا بر میزان تغییرات اعمال شده به‌عنوان شاخص حساسیت مدل درنظر گرفته شد.

$$SI = \frac{CRM}{0/5} \Rightarrow \frac{\frac{x_{.} - x_{p}}{x_{.}}}{0/5} \qquad [۱۹]$$

شاخص حساسیت (SI) برای هریک از روش‌های بیلان حجم محاسبه و نتایج آن در شکل۷ با یکدیگر مقایسه شده است. مطابق شکل کاهش ۵۰ درصدی در دبی ورودی زمان پیشروی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.21.8]



شکل۷. نتایج تحلیل حساسیت ۳ روش بیلان حجم نسبت به ۵ پارامتر ورودی در برآورد مدت زمان پیشروی

را به مقدار زیاد و با شاخص بالاتر از ۲۰۰ درصد افزایش داده است. حساسیت مدل‌ها به افزایش دبی تقریباً یکسان برآورد شده است (حدود **۵۵** درصد). مدل اصلاح شده بیلان حجم و مدل واکر – اسکوگربو به‌ترتیب کمترین و بیشترین حساسیت را به تغییرات ضریب زبری دارند که از مزیت‌های مدل به‌دست آمده در این تحقیق است. در مورد شیب طولی نیز این نتیجه تکرار شد با این تفاوت که تمام روش‌های بیلان حجم به کاهش شیب حساسیت بیشتری نسبت به افزایش شیب دارند. در مدل اصلاح شده به‌دلیل وارد کردن شیب زمین در معادله، حساسیت مدل را به‌تغییرات شیب کاهش داد. به‌عبارت دیگر اگر اندازه‌گیری شیب با خطا صورت گیرد نتایج مدل اصلاح شده قابل اطمینان‌تر می‌باشد. برخلاف نتایج بالا، مدل ارائه شده نسبت به‌تغییر در پارامترهای نفوذ حساسیت بیشتری نشان می‌دهد و برای کاربرد مؤثرتر آن باید ضرایب مربوط به معادله نفوذ با دقت بیشتری برآورد گردند.

نتیجه‌گیری

با افزایش دبی دقت مدل اصلاح شده در تخمین فاصله پیشروی بیش از روش والیانزاس و روش کلاسیک است. از طرفی مدل‌های بیلان حجم در فواصل کوتاهتر فاصله پیشروی را نسبت به مدل اینرسی صفر دقیق‌تر پیش‌بینی می‌کنند. تخمین ضریب زبری مانینگ و اندازه‌گیری شیب طولی نسبت به سایر پارامترهای ورودی مدل‌های آبیاری سطحی با خطای بیشتری انجام می‌شود. بنابراین مدلی کارامدتر خواهد بود که حساسیت کمتری به تغییر آنها داشته باشد. نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد مدل ارائه شده در تحقیق حاضر در این مورد بر روش‌های بیلان حجم برتری دارد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.21.8]

منابع مورد استفاده

۱. گلستانی، س.، شایان‌نژاد، م. و س. ح. طباطبایی. ۱۳۸۹. بررسی کاربرد روش هال اصلاح شده در مدل ترکیبی بیلان حجمی – اینرسی صفر برای آبیاری جویچه‌ای. مجله پژوهش آب ایران ۴(۶):۱۸-۱۱.

2. Al-Azba, A. and Strelkoff, T. 1994. Correct form of Hall technique for border irrigation advance. J. Irrigation and Drainage Eng. ASCE. 120(2):292-304.
3. Al-Azba, A. A. 1999. Explicit volume balance model solution. J. Irrigation and Drainage Eng. 125(5):273-279.
4. Ebrahimian, H. and A. M. Liaghat. 2011. Field evaluation of various mathematical models for furrow and border irrigation systems. Soil and Water Res. 6(2):91-101.
5. Fok, Y. S. and Bishop, A. A. 1965. Analysis of water advance in surface irrigation. J. Irrigation and Drainage Div. ASCE. 91(1):99–117.
6. Hall, W. A. 1956. Estimating irrigation border flow. Agri. Eng. 37(4):263-265.
7. Hart, W. E., D. L. Bassett and T. Strelkoff. 1968. Surface irrigation hydraulics-kinematics. J. Irrigation and Drainage Eng. ASCE 94(4):419–440.
8. Holzapfel, E. A., C. Leiva, M. A. Marino, J. Paredes, J. L. Arumi and M. Billib. 2010. Furrow irrigation management and design criteria using efficiency parameters and simulation models. Chil. J. Agric. Res. 70(2):287–296.
9. Katopodes, N. D. and T. S. Strelkoff. 1977. Hydrodynamics of border irrigation-complete model. J. Irrigation and Drainage Eng. 103(3):309–324.
10. Levien, L. A. and F. Souza. 1987. Algebraic computation of flow in furrow irrigation. J. Irrigation and Drainage Eng. ASCE. 113(3):367-377.
11. Maheshwari, B. L. 1992. Effects of recession criteria on prediction of recession times in border irrigation models. Agri. Water Management 21:167-176.
12. Maheshwari, B. L., T. A. McMahon and A. K. Turner. 1990. Sensitivity analysis of parameters of border irrigation models. Agri. Water Management. 18:277-287.
13. Parsa, Sh. Z. and A. R. Sepaskhah. 1991. Modification of the Fok-Bishop solution for determination of water advance in border irrigation. J. Agri. Eng. Res. 49:127-132.
14. Strelkoff, T. and Katopodes, N. D. 1977. Border-irrigation hydraulics with zero inertia. J. Irrigation and Drainage Eng. 103(3):325–342.
15. Valiantzas, J. D. 1994. Border advance using improved volume-balance model. J. Irrigation and Drainage Eng. 119(6):1006-1012.
16. Valiantzas, J. D. 1999. Explicit time of advance formula for furrow design. J. Irrigation and Drainage Eng. 125(1):19-25.
17. Walker W. R. 1998. SIRMOD – Surface irrigation modeling software. Utah State University, Logan.
18. Walker, W. R. and A. S. Humpherys. 1983. Kinematic-wave furrow irrigation model. J. Irrigation and Drainage Eng. 109(4):377–392.
19. Walker, W. R., Skogerboe, G. V. 1987. Surface Irrigation. Theory and Practice. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 386. p.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.21.8]