

اصلاح مدل بیلان حجمی با بهبود عبارت ذخیره سطحی برای آبیاری جویچه‌ای

سودابه گلستانی کرمانی^{1*}، سید حسن طباطبایی² و محمد شایان‌نژاد²

تاریخ دریافت: 87/2/30 تاریخ پذیرش: 88/3/10

1- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد

2- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد

E-mail: stabaei@agr.sku.ac.ir

* مسئول مکاتبه

چکیده

راندمان سیستم‌های آبیاری سطحی در ایران بسیار پائین است. در صورتی‌که بتوان پارامترهای مهم و موثر در طراحی آبیاری سطحی، از قبیل فرصت نفوذ و زمان پیشروی را در ازای یک دبی مشخص به خوبی برآورد کرد، می‌توان راندمان کاربرد این سیستم را به مقدار قابل توجهی افزایش داد. مدل بیلان حجمی یکی از مدل‌های ساده و رایج در طراحی و ارزیابی آبیاری جویچه‌ای می‌باشد. با توجه به فرضیاتی که در مدل بیلان حجمی اعمال می‌شود دقت این مدل در پیش‌بینی نتایج، کمتر از هیدرولیکی است. هدف از انجام این تحقیق اصلاح مدل بیلان حجمی و تعیین میزان دقت آن در آبیاری جویچه‌ای می‌باشد. مدل فوق از ترکیب مدل بیلان حجمی و عبارت مومنتم مدل اینرسی صفر استخراج شده است که برای آبیاری نواری استفاده می‌شود. برای سنجش دقت این مدل در آبیاری جویچه‌ای، از پنج دسته اطلاعات مربوط به مزارع با بافت خاک و مشخصات مختلف استفاده شد. این اطلاعات شامل ضرایب هندسی و هیدرولیکی جویچه، زمان پیشروی، دبی ورودی و خروجی جویچه، ضریب زبری مانینگ، شیب و ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف در هر جویچه می‌باشد. ارزیابی مدل مذکور با استفاده از آماره جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) انجام شد. بر اساس نتایج، اصلاح مدل بیلان حجمی باعث افزایش دقت تخمین مسافت پیشروی به میزان 15 تا 40 درصد، نسبت به مدل بیلان حجمی متداول گردید.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، ذخیره سطحی، مدل بیلان حجمی اصلاح شده.

Improvement of the Volume Balance Model by Adjusting Water Surface Storage Term in Furrow Irrigation System

S Golestani-Kermani¹, SH Tabatabaei^{2*} and M Shayannejad²

Received: 19 May 2008 Accepted: 31 May 2009

¹Former MS. Student, Dept. of Water Engin. University of Shahrekord, Iran

²Assist. Prof., Dept. of Water Engin. University of Shahrekord, Iran

* Corresponding author : E-mail: stabaei@agr.sku.ac.ir

Abstract

Generally irrigation efficiency is reported too low in most fields of Iran. It can be increased when the design input parameters such as infiltration opportunity and advance time are estimated accurately. Volume balance model (VBM) is introduced as an appropriate model for evaluation of the surface irrigation system and its application in designing the irrigation system. However, the predicted values from this model are not strongly correlated to the hydraulic model due to the model assumptions. The purpose of this research was to develop an improved volume balance model (IVBM) for furrow irrigation system. The IVBM is based on a combination of the VBM and the Zero-Inertia model (ZIM) that was used to design border irrigation system. For evaluation of the model, it used five series of field data with a different range of soil texture and the field properties. The data included geometric/hydraulics coefficients, advance time, inflow/outflow discharges, Manning's coefficient, bed slope and Kostiakov infiltration coefficient. The comparison of the models (VBM and IVBM) has been done with root mean squared error (RMSE) with the observed data. The result shows an increasing of 15-40% accuracy for advance distance estimation of IVBM in comparison with the VBM.

Keywords: Furrow irrigation, Surface storage, Improved volume balance model.

مقدمه

طراحی بیشتر و دقیق‌تر لحاظ شده و مدل آبیاری نیز دقیق‌تر شبیه سازی شود، طبیعتاً راندمان مصرف آب نیز بالاتر خواهد رفت (عباسی 1375). 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 توپوگرافی، شیب، طول، ضریب زبری، مشخصات نفوذ، هیدروگراف دبی خروجی و پارامترهای اجرا باشد. خروجی در این مدل‌ها شامل رواناب، مقدار آب نفوذ یافته و غیره است که با مقایسه خروجی مدل و نتایج

در حال حاضر نزدیک به 20 درصد زمین‌های زراعی دنیا (حدود یک بیلیون هکتار) آبیاری می‌شوند که در مناطق خشک عمدتاً مشکل کمبود آب و راندمان پائین (کمتر از 30 درصد) دارند. راندمان کم فعلی در سیستم‌های آبیاری سطحی کشور، به دلیل ذات این نوع آبیاری نیست. بلکه به دلیل طراحی غلط و مدیریت نادرست می‌باشد (طباطبایی 1383). 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

V: سرعت جریان (متر بر ثانیه)

I: شدت نفوذ در واحد طول (متر بر ثانیه بر متر مربع)

t: زمان (ثانیه)

X: فاصله (متر)

D: ثابت عددی که مقدار آن بستگی به رابطه‌ای دارد که معادله مومنتم از آن مشتق شده است.

به طور کلی معادلات سنت - ونانت دارای دو متغیر وابسته (سرعت و عمق جریان) و دو متغیر مستقل (فاصله و زمان) می‌باشند (عباسی 1375). در مدل‌های حاکم بر آبیاری سطحی سعی می‌شود رفتار جریان طی زمان و مکان با استفاده از معادلات حاکم بر آنها شبیه‌سازی شود. این مدل‌ها در دو گروه مدل‌های عددی شامل هیدرودینامیک کامل، مدل اینرسی صفر و مدل موج سینماتیک و مدل‌های ساده تر شامل بیلان حجمی تقسیم بندی شده‌اند. تفاوت عمده مدل‌ها به فرم معادلات به کار رفته در آنها و روش حل آنها بر می‌گردد. در همه مدل‌ها معادله پیوستگی به نوعی به کار می‌رود و تفاوت در نوع به کار بردن معادله مومنتم است که شامل صورت کامل معادله و انواع فرم‌های ساده شده آن می‌باشد. دقت، پایداری و سرعت همگرایی مدل‌ها به روش حل معادلات حاکم بستگی دارد.

سوزا در سال 1981 از مدل هیدرودینامیک، استرلکف و کاتاپودز در سال 1977، الیوت در سال 1982، اویس در سال 1983 از مدل اینرسی صفر، والکر و لی در سال 1981 و والکر و همفریز در سال 1983 از مدل موج سینماتیک در تحقیقات خود برای پیش بینی پیشروی در آبیاری نوری و جویچه استفاده کرده‌اند (هولزافل و همکاران 1984).

در مدل بیلان حجمی (VB)¹، کل معادله مومنتم در نظر گرفته نمی‌شود و معادله پیوستگی با فرض عوامل شکل به فرم ساده‌ای نوشته می‌شود که حل آن آسان است. مدل VB فرض می‌کند که میانگین سطح مقطع

بدست آمده حاصل از اندازه‌گیری مزرعه‌ای میزان دقت مدل سنجیده می‌شود. این مدل‌ها اکثراً براساس قانون بقای جرم به همراه یک فرضیه مشخص در مورد متوسط عمق جریان سطحی استوار هستند. با توجه به پرهزینه بودن آزمایشات صحرایی، بررسی مدل‌های موجود در زمینه آبیاری سطحی و انتخاب یک مدل مناسب و دقیق که در مقایسه با نتایج صحرایی دقت خوبی داشته باشد می‌تواند جایگزین آزمایشات صحرایی شده و در طراحی‌ها و ارزیابی سیستم‌های آبیاری سطحی مورد استفاده قرار گیرد (استرلکف و کاتاپودز 1977).

جریان در آبیاری سطحی غیر ماندگار و غیر یکنواخت 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 و مومنتم استفاده می‌شود. با فرض منشوری بودن جریان و شیب کم کف کانال این معادلات ساده شده، به صورت معادلات سنت - ونانت در می‌آیند. این معادلات یک جفت معادله غیر خطی دیفرانسیلی بوده که حل تحلیلی آنها بدون فرضیات ساده کننده امکان پذیر نیست و لذا تا کنون حل تحلیلی کاملی از آنها ارائه نشده است. در معادلات مذکور، معادله پیوستگی بر اساس قانون بقای ماده و معادله مومنتم، بر اساس قانون بقای اندازه حرکت استوار بوده و به فرم زیر می‌باشند (واکر و اسکوجریو 1987).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + I = 0 \quad [1]$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f + \frac{DVI}{gA} \quad [2]$$

Y: عمق جریان (متر)

A: سطح مقطع جریان (متر مربع)

Q: دبی جریان (متر مکعب بر ثانیه)

S₀: شیب کف (متر بر متر)

S_f: شیب خط انرژی (متر بر متر)

g: شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه)

¹Volume balance

والیانتر (1994) مدل VB را با استفاده از ترم مومنتم مدل اینرسی صفر برای آبیاری نواری به نحوی اصلاح کرد که برای کلیه نوارهای مسطح یا شیب‌دار قابل استفاده باشد و وابستگی به عمق نرمال در آن از بین برود. به علاوه از یک فاکتور شکل اصلاح شده برای محاسبه حجم ذخیره سطحی استفاده کرده است. فرضیاتی که در مدل اصلاح شده ایشان وجود دارد عبارتند از: 1- دبی در واحد عرض نوار ثابت است. 2- حجم نفوذ یافته به وسیله معادله کوستیاکف $z = kt^a$ محاسبه شده است که در آن z نفوذ تجمعی در واحد سطح و k و a ضرایب معادله نفوذ می‌باشند و 3- برای جریان سطحی هم از یک تابع نمایی استفاده شده است که به صورت زیر است.

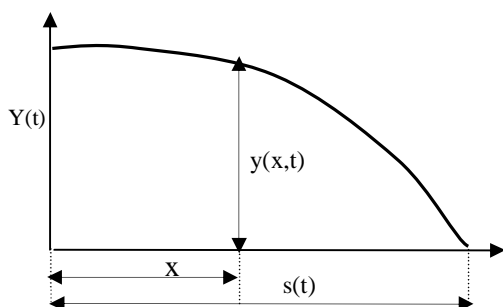
$$y(x,t) = Y(t) \left\{ 1 - \frac{x}{s(t)} \right\}^b \quad [4]$$

$Y(t)$: عمق در ابتدای نوار در زمان t (شکل 1)

$S(t)$: کل فاصله پیشروی در زمان t

X : فاصله از ابتدای نوار

b : ضریب ثابت است که وابسته به برخی خصوصیات جریان می‌باشد. نتایج بدست آمده با این روش در مقایسه با داده‌های صحرایی دقت مناسبی در برآورد فاز پیشروی داشته است (والیانتر 1994).



شکل 1- پروفیل سطح آب در آبیاری جویچه‌ای

نکته قابل توجه این است که دقت مدل‌های ارائه شده در پیش بینی فازهای مختلف آبیاری یکسان نیست. یک مدل می‌تواند فاز پیشروی را با دقت مناسب برآورد کند

جریان ثابت و مستقل از زمان است و با استفاده از معادلات جریان یکنواخت مانند مانینگ قابل محاسبه است. همچنین از دو فاکتور شکل¹ برای توصیف پروفیل سطحی و زیر سطحی جریان استفاده می‌کند. در فاز پیشروی، حجم رواناب صفر و از حجم تبخیر شده صرف‌نظر می‌شود و معادله به صورت زیر می‌باشد (رینولت و والندر 1997).

$$Qt = V_y(t) + V_z(t) \quad [3]$$

$V_y(t)$: حجم ذخیره سطحی

$V_z(t)$: حجم ذخیره زیرسطحی در زمان t

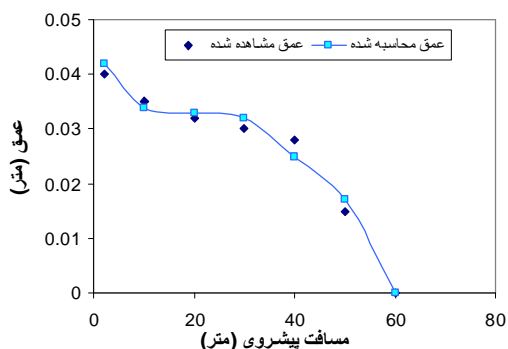
Q : دبی ورودی جریان

در مدل VB، معادله مومنتم می‌تواند با فرض ثابت بودن عمق ذخیره سطحی یا سطح مقطع عبوری جایگزین شود. دیویس (1961) بر اساس روش هال روشی را برای بررسی پیشروی در آبیاری جویچه با فرض یک شکل هندسی برای پروفیل سطحی آب و یک عمق نرمال برای دبی در بالادست جریان بسط داده است. اسافی (1983) روش بیلان حجمی را برای پیش‌بینی پیشروی جبهه آب در آبیاری جویچه‌ای به کار برد ولی برای توصیف شکل جویچه از یک تابع نمایی استفاده نمود.

در مدل VB فرضیات ساده‌کننده وجود دارد که این فرضیات باعث کاهش دقت مدل می‌شوند. این فرضیات موجب می‌شوند که حالت‌های مختلف مدل مذکور مانند روش هال (آلازبا و استرلکف 1965)، الگوریتم‌های متفاوتی از آن وجود داشته باشد. یکی از محدودیت‌های مدل VB وابستگی آنها به عمق نرمال است. این وابستگی کاربرد آن را به خصوص برای آبیاری‌های با شیب کم محدود می‌سازد (باست و همکاران 1983، مصطفی‌زاده و موسوی، 1375). علاوه بر این انتخاب فاکتور شکل سطحی ثابت هم خطاساز است (اسفندیاری و ماهشوری 1997).

¹Shape factor

در مدل VB معمولاً برای فاکتور شکل سطحی مقدار متوسطی در نظر گرفته می‌شود. این فاکتور در واقع نشان دهنده نسبت متوسط سطح مقطع جریان به سطح مقطع ورودی می‌باشد که کمتر از 1 است. ثابت فرض شدن این فاکتور و انتخاب نه‌چندان مناسب آن یکی از عوامل ایجاد خطا در مدل VB است که دقت این مدل را کاهش می‌دهد. والیانتر (1994) معادله 4 را برای پروفیل سطحی جریان در آبیاری نواری ارائه نمود. در این تحقیق نیز از معادله مذکور با اصلاحات جزئی (معادله 5 و 6)، برای پروفیل سطحی جریان در آبیاری جویچه استفاده شد. جهت تعیین دقت این معادله در تخمین پروفیل سطحی جریان در آبیاری جویچه‌ای، در مزارع ذکر شده، اعماق آب در فواصل مختلف قرائت شده و سپس با استفاده از این معادله شبیه‌سازی شدند. نتایج بدست آمده اختلاف معنی‌داری را بین پروفیل سطحی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده نشان نمی‌دهد. به عنوان نمونه مقدار خطای نسبی در شکل 2 کمتر 10 درصد بدست آمده است و بنابراین صحت این معادله در شبیه‌سازی پروفیل سطحی جریان در آبیاری جویچه‌ای پذیرفته شده است.



شکل ۲- پروفیل سطح آب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در آبیاری جویچه‌ای

با توجه به اینکه معادله 4، یک رابطه تجربی می‌باشد، ضرایب آن نیز به صورت ضرایب استفاده شده در نوار پذیرفته شده است. در این معادله، b توان تابع نمایی

ولی در سایر فازهای آبیاری این قابلیت را نداشته باشد. لذا لازم است در انتخاب مدل مناسب، به موارد فوق توجه شود. (هولزایفل و همکاران 1984).

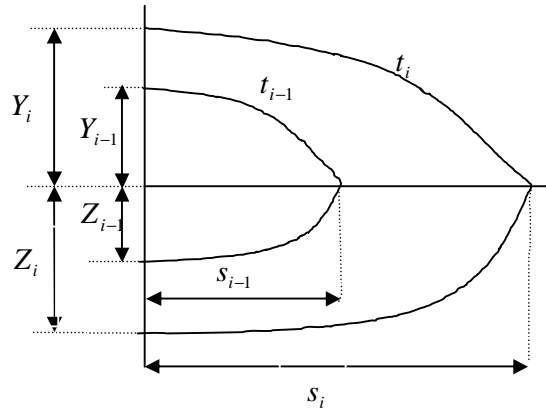
هدف این تحقیق اصلاح مدل VB بعنوان یکی از رایج‌ترین مدل‌ها در آبیاری سطحی به منظور افزایش دقت این مدل در پیش‌بینی پیشروی در آبیاری جویچه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

اطلاعات پیشروی مورد استفاده در این تحقیق، از پنج مزرعه با بافت‌های مختلف جمع‌آوری شده است. دسته اول اطلاعات در تابستان 1386 توسط گلستانی کرمانی (1386) از 9 جویچه در مزرعه دشت‌ده در نزدیکی دانشگاه شهرکرد جمع‌آوری شد. بافت خاک در این دسته رسی - لومی می‌باشد. دسته دوم، اطلاعات پیشروی مربوط به 32 جویچه می‌باشد که از یک مزرعه تحقیقاتی با بافت شنی واقع در 60 کیلومتری غرب سیدنی توسط اسفندیاری (1997) جمع‌آوری شده است. دسته سوم، اطلاعات پیشروی مربوط به 34 جویچه می‌باشد که از یک مزرعه تحقیقاتی با بافت شنی - رسی - لومی واقع در 60 کیلومتری غرب سیدنی توسط اسفندیاری (1997) جمع‌آوری شده است. دسته چهارم، اطلاعات پیشروی جمع‌آوری شده توسط طباطبائی (1383) از چهار جویچه با بافت رسی - لومی در نزدیکی کرج می‌باشد. و دسته پنجم اطلاعات پیشروی جمع‌آوری شده دو جویچه توسط واکر و اسکوجربو در سال 1987 در یک بافت شنی - لومی می‌باشد (مصطفی زاده و موسوی 1375).

در این پنج دسته، اطلاعات مربوط به نفوذ، سطح مقطع جریان، دبی ورودی، بافت خاک، شیب زمین، رطوبت قبل از آبیاری، زمان پیشروی، جمع‌آوری و استفاده شده است. اطلاعات مربوط به جویچه‌ها در هر دسته از داده‌های مورد مطالعه در جدول 1 آورده شده است.

Y_{i-1} : عمق جریان در زمان t_{i-1}
 s_i : مسافت پیموده شده در زمان t_i
 s_{i-1} : مسافت پیموده شده در زمان t_{i-1}
 ΔV_y : حجم ذخیره شده سطحی در فاصله زمانی t_i و t_{i-1} می‌باشد (شکل 3).



شکل 3- نمایش شماتیک عمق جریان و مسافت پیشروی در جویچه در دو گام زمانی متوالی
 برای محاسبه حجم ذخیره زیر سطحی در فاصله زمانی t_i و t_{i-1} از روش هال (1956) استفاده شد (شکل 3):

$$\Delta V_z = \sum_{i=1}^{k-1} \left(\frac{z_{i-k+1} - z_{i-k}}{2} \right) (s_k - s_{k-1}) + s_z z_1 (s_i - s_{i-1}) \quad [9]$$

Z : حجم آب نفوذ یافته در واحد طول جویچه (متر)
 مکعب بر ثانیه (متر) که با معادله کوستیاکف محاسبه گردید.

k : شماره گام زمان است.

s_z : فاکتور شکل زیرسطحی است که به صورت

$$s_z = \frac{1}{1+a}$$

ΔV_z : حجم ذخیره زیر سطحی در فاصله زمانی t_i و

t_{i-1} می‌باشد

است که مقدار آن بین صفر تا 1 تغییر می‌کند و بر اساس گزارش والیانز (1994) با استفاده از معادله 5 محاسبه می‌شود:

$$b = \frac{0.45}{(1+p)^{0.2}} \quad [5]$$

که p منعکس کننده خصوصیات شیب، دبی و نفوذ در نوار می‌باشد و از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$p = \left(\frac{Q_u s_0 \left(\frac{y_n}{k} \right)^{1/a}}{y_n^2} \right) \quad [6]$$

s_0 : شیب مزرعه (متر بر متر)

n : ضریب زبری مانینگ

Q_u : دبی ورودی نوار (متر مکعب بر متر بر ثانیه)

y_n : عمق نرمال (متر)

a و k : ضرایب معادله نفوذ

در آبیاری جویچه‌ای نیز از روابط ذکر شده برای تخمین پروفیل سطحی جریان استفاده شده است. در آبیاری نواری Q_u دبی ورودی به نوار در واحد عرض است و در جویچه از مقدار معادل $\frac{Q}{w}$ در رابطه [6] به جای Q_u استفاده شده است.

معادله مساحت و عمق جریان در آبیاری جویچه‌ای به شکل زیر بیان شده است: (واکر و اسکوجربو 1987).

$$A = s_1 y^{s_2} \quad [7]$$

که s_1 و s_2 ، ضرایب هندسی شکل مقطع است. شکل 3 پروفیل سطحی را برای گام‌های زمانی t_i و t_{i-1} نشان می‌دهد. با انتگرال‌گیری از تابع پروفیل سطحی (معادله 4) و جایگزینی معادله نمایی سطح مقطع (معادله 7) در آن و استفاده از شرایط مرزی، حجم ذخیره سطحی بدست آمده در گام‌های زمانی t_i و t_{i-1} به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta V_y = \frac{1}{(s_2 b) + 1} [s_1 Y_i^{s_2} s_i - s_1 Y_{i-1}^{s_2} s_{i-1}] \quad [8]$$

Y_i : عمق جریان در زمان t_i

اگر در معادله فوق از شرط $x = 0$ استفاده شود معادله به صورت زیر ساده می‌شود.

$$\frac{-bY(t)}{s(t)} = s_0 - \frac{Q^2 n^2}{r_1 s_1^{r_2} Y(t)^{s_2 r_2}} \quad [15]$$

و در صورتی که برای متغیرهای $s(t), Y(t)$ از اندیس i استفاده شود، معادله بازنویسی شده به صورت زیر خواهد شد.

$$\frac{-bY_i}{s_i} = s_0 - \frac{Q^2 n^2}{r_1 s_1^{r_2} Y_i^{s_2 r_2}} \quad [16]$$

معادلات 11 و 16 تشکیل یک دستگاه معادلات با دو مجهول (Y_i, s_i) می‌دهند که با ترکیب آنها و مرتب کردن بر حسب s_i به صورت زیر بدست می‌آید:

$$s_i = \frac{Q\Delta t((s_2 b) + 1) + (s_1 Y_{i-1}^{s_2} s_{i-1})}{s_1 Y^{s_2} + (s_2 b + 1) s_z z_1} - \frac{((s_2 b) + 1) \sum_{i=1}^{k-1} \left(\frac{z_{i-k+1} - z_{i-k-1}}{2} \right) (s_k - s_{k-1})}{s_1 Y^{s_2} + (s_2 b + 1) s_z z_1} + \frac{((s_2 b) + 1) (s_z z_1 s_{i-1})}{s_1 Y^{s_2} + ((s_2 b) + 1) s_z z_1} \quad [17]$$

اگر کل عبارت صورت کسر فوق با M نشان داده شود، آنگاه معادله 17 به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$s_i = \frac{M}{s_1 Y_i^{s_2} + ((s_2 b) + 1) s_z z_1} \quad [18]$$

نهایتاً با ترکیب معادلات 16 و 18 معادله زیر بدست می‌آید:

$$c_1 Y_i^{s_2+1} + c_2 Y_i + c_3 Y_i^{(-s_2 p_2)} + c_4 = 0 \quad [19]$$

ضرایب ثابت در این معادله عبارتند از:

$$c_1 = \frac{-b s_1}{M} \quad [20]$$

$$c_2 = \frac{-s_z z_1 (s_2 b^2 + b)}{M} \quad [21]$$

$$c_3 = \frac{Q^2 n^2}{r_1 (s_1)^{r_2}} \quad [22]$$

$$c_4 = -s_0 \quad [23]$$

با جایگزینی معادله 8 و 9 در معادله بیلان حجمی (معادله 10) معادله 11 برای فاز پیشروی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Q\Delta t_i = \Delta V_z + \Delta V_y \quad [10]$$

$$Q\Delta t_i = \frac{1}{(s_2 b) + 1} [s_1 Y_i^{s_2} s_i - s_1 Y_{i-1}^{s_2} s_{i-1}] + \sum_{i=1}^{k-1} \left(\frac{z_{i-k+1} - z_{i-k-1}}{2} \right) (s_k - s_{k-1}) + s_z z_1 (s_i - s_{i-1}) \quad [11]$$

در این معادله دو عامل مجهول (Y, s) دیده می‌شود که لازم است مقدار این دو عامل در هر بازه زمانی به طور همزمان محاسبه شوند. با توجه به اینکه در این مدل عمق جریان متغیر در نظر گرفته شده است، برای محاسبه عمق، از معادله مومنتم مدل اینرسی صفر استفاده شد.

$$\frac{\partial y}{\partial x} = s_0 - s_f \quad [12]$$

در این معادله s_f با استفاده از معادله مانینگ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$s_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^3} \rightarrow s_f = \frac{Q^2 n^2}{r_1 A^{r_2}} \rightarrow \quad [13]$$

$$s_f = \frac{Q^2 n^2}{r_1 [s_1 y^{s_2}]^{r_2}} \rightarrow s_f = \frac{Q^2 n^2}{r_1 s_1^{r_2} y^{s_2 r_2}}$$

r_1 و r_2 : ضرایب هیدرولیکی شکل مقطع

A : سطح مقطع جریان

R : شعاع هیدرولیکی می باشد.

از ترکیب معادلات 4 و 12 و 13 معادله زیر بدست می‌آید:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[Y(t) \left[1 - \frac{x}{s(t)} \right]^b \right] = s_0 - \frac{Q^2 n^2}{r_1 s_1^{r_2} y(t)^{s_2 r_2}} \quad [14]$$

(تحقیق حاضر) محاسبه و با مقادیر مشاهداتی مقایسه شدند. جهت مقایسه نتایج بدست آمده از پارامتر آماری $(RMSE^1)$ استفاده شد. این پارامتر با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{oi} - x_{pi})^2}{n}} \quad [26]$$

x_{oi} : مسافت پیشروی مشاهداتی

x_{pi} : مسافت پیشروی تخمین زده شده با مدل

n : تعداد داده‌ها

نتایج و بحث

در این تحقیق مدل VB متداول با بهبود ترم ذخیره سطحی اصلاح گردید و مدل VB اصلاح شده، توسعه داده شد. سپس به منظور تعیین صحت از پنج دسته داده صحرائی استفاده گردید که نتایج به صورت زیر به دست آمد.

مقایسه مسافت پیشروی نهایی تخمین زده شده در دو مدل فوق با مقادیر مشاهده‌ای نشان داد که دقت مدل اصلاح شده در تخمین مسافت پیشروی به شکل مشخصی افزایش یافته است (شکل 4). مقدار RMSE مسافت پیشروی تخمین زده شده با مدل اصلاح شده در دسته اول تا پنجم داده‌ها به ترتیب 14/63، 30/13، 22/48، 4/73 و 7/16 به دست آمد. ضمناً مقدار RMSE مسافت پیشروی تخمین زده شده با مدل بیلان حجمی در دسته اول تا پنجم داده‌ها به ترتیب 16/85، 34/76، 24، 7/46 و 41/56 متر محاسبه شد.

نتایج ذکر شده نشان می‌دهد در مجموع دقت مدل VB اصلاح شده در تخمین مسافت پیشروی نسبت به مدل VB متداول افزایش یافته است (شکل 4). در مورد دسته پنجم توجه به اینکه طول جویچه زیاد بوده (بین 200 تا 350 متر) و بافت خاک سنگین بوده است. لذا حجم ذخیره سطحی مقدار قابل توجهی را در بر داشته

با محاسبه مسافت پیشروی در هر گام زمانی، ابتدا عمق جریان در ابتدای جویچه با حل معادله 19 به روش نیوتن-رافسون محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از معادله 18 مسافت پیشروی محاسبه می‌گردد. این مقدار محاسبه شده جهت محاسبه زمان پیشروی در گام بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. محاسبات تا آنجائی پیش می‌رود که آخرین مسافت پیشروی برابر با طول جویچه گردد. این محاسبات با استفاده از برنامه نویسی در محیط Q.BASIC انجام گردید.

جهت مقایسه دقت مدل توسعه داده شده در تخمین مسافت پیشروی، از مدل بیلان حجمی متداول به صورت زیر استفاده شد.

$$Qt = S_y Ax + S_z Z(t)x \quad [24]$$

که $Z(t)$ تابع نفوذ

S_y : فاکتور شکل سطحی است که برابر با 0/77 در نظر گرفته شده است

S_z : فاکتور شکل زیرسطحی که از معادله زیر به دست می‌آید، که در آن، a توان معادله نفوذ کوستیاکف و r توان معادله نمائی پیشروی است.

$$S_z = \frac{a+r(1-a)+1}{(1+a)(1+r)} \quad [25]$$

در دسته دوم و سوم داده‌ها، اعماق آب در ایستگاه‌های مختلف طی فاز پیشروی قرائت شده و امکان مقایسه حجم ذخیره سطحی محاسبه شده مدل و مقادیر مشاهداتی وجود دارد. در این دو دسته اطلاعات اعماق آب با استفاده از تابع نمائی نسبت داده شده به پروفیل سطحی جریان، مجدداً شبیه سازی شدند و حجم ذخیره سطحی در فاز پیشروی تخمین زده شد. همچنین حجم ذخیره زیرسطحی از کم کردن حجم ذخیره سطحی (با استفاده از پروفیل مشاهده شده) از حجم کل آب وارد شده به جویچه بدست آمد.

جهت تخمین دقت مدل در هر پنج دسته داده موجود، مسافت پیشروی با استفاده از دو مدل بیلان حجمی متداول (الیوت و واکر، 1982) و مدل اصلاح شده

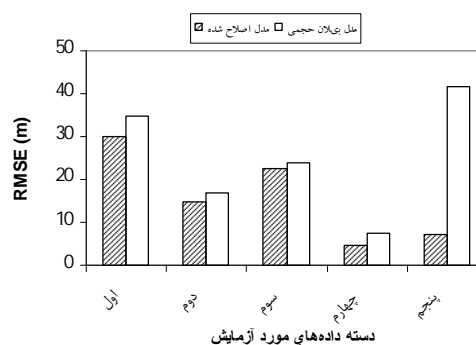
¹Root mean square error (RMSE)

در دسته دوم و سوم داده ها با توجه به محاسبه حجم ذخیره سطحی، نتایج نشان داد که در بافت شنی RMSE حجم ذخیره سطحی بدست آمده با مدل بیلان حجمی اصلاح شده برابر با 0/058 مترمکعب و در بافت شنی - رسی - لومی برابر با 0/161 مترمکعب می باشد. همچنین RMSE حجم ذخیره سطحی تخمین زده شده با مدل در بافت شنی 0/064 مترمکعب و در بافت شنی - رسی - لومی 0/164 مترمکعب می باشد.

همچنین حجم ذخیره زیر سطحی تخمین زده شده با دو مدل نیز مورد آزمون قرار گرفت. در بافت شنی RMSE حجم ذخیره زیر سطحی تخمین زده شده با مدل اصلاح شده 0/087 متر مکعب و در بافت شنی - رسی - لومی 0/344 مترمکعب می باشد. و RMSE حجم ذخیره زیر سطحی تخمین زده شده با مدل بیلان حجمی در بافت شنی 0/288 متر مکعب و در بافت شنی - رسی - لومی 0/388 مترمکعب بدست آمد.

بررسی مقادیر فوق نشان داد که دقت تابع نمایی نسبت داده شده به پروفیل سطحی آب در تخمین اعماق آب نسبت به استفاده از فاکتور شکل سطحی ثابت بسیار افزایش یافته است. در واقع استفاده از معادله مانینگ و یک فاکتور شکل سطحی ثابت (که مقدار عددی آن هم به طور تصادفی و با توجه به گزارشات ارایه شده، ذکر می گردد) دقت مدل VB را در تخمین حجم ذخیره سطحی کاهش داده است. به علاوه در مدل اصلاح شده از روش حال جهت محاسبه حجم ذخیره زیر سطحی استفاده شده است که اعتبار آن در مراجع مختلف تایید شده است (واکر و اسکوجربو، 1987). این بهبود در تخمین حجم ذخیره سطحی و زیر سطحی در مدل اصلاح شده، باعث افزایش دقت مدل در تخمین مسافت پیشروی شده است که مقادیر RMSE نیز این مطلب را تایید می کند. در شکل 5 یک نمونه از مقایسه نتایج بدست آمده از داده های مشاهده ای، مدل VB اصلاح شده و مدل VB ارائه شده است که نشان دهنده

است و با توجه به اینکه مدل اصلاح شده به خوبی توانسته است مقدار ذخیره سطحی را تخمین بزند، مقدار خطای مدل اصلاح شده کمتر از مدل بیلان حجمی متداول گردید. این امر تاثیر زیاد تخمین مناسب حجم ذخیره سطحی را در برآورد مسافت پیشروی نشان می دهد.



شکل 4- مقایسه خطای دو مدل در پیش بینی مسافت پیشروی در دسته های مختلف داده ها

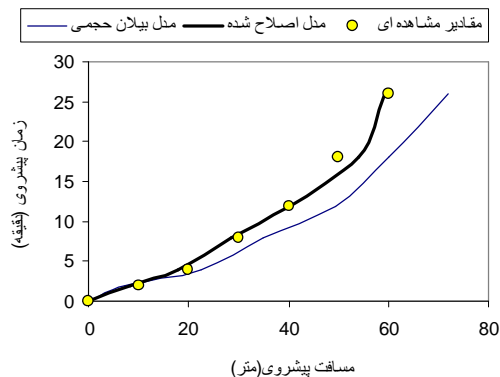
در مجموع با توجه به این که در هر دو مدل از یک دسته داده مشخص استفاده شده است آنچه باعث ایجاد این اختلاف در نتایج نهایی دو مدل شده است، استفاده از توابع مختلف در تخمین حجم ذخیره سطحی و زیر سطحی می باشد.

والیانن (1994) نیز نتایج مشابهی را در بهبود تخمین زمان پیشروی با استفاده از مدل اصلاح شده برای آبیاری نواری گزارش نمود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. همچنین نتایج به طور قابل توجهی نسبت به مدل VB متداول بهبود یافته است. برتری مدل توسعه داده شده نسبت به مدل بیلان حجمی در اصلاح ترم ذخیره سطحی بوده است. بنابراین می توان دلیل بهبود نتایج را با تخمین بهتر ذخیره سطحی مرتبط دانست. محققین مختلف از جمله اسفندیاری و ماهشوری (1997)، والیانن (1997) و واکر (2005) تاثیر بسیار زیاد حجم ذخیره سطحی را در نتایج شبیه سازی آبیاری سطحی گزارش نموده اند.

دقت مدل بیلان حجمی اصلاح شده در پیش بینی نتایج نهایی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با بکار بردن ترم مومنتم مدل اینرسی صفر و استفاده از یک تابع نمائی برای پروفیل سطح آب، مدل VB متداول اصلاح گردید. بر اساس نتایج، اصلاح مدل VB باعث افزایش دقت تخمین مسافت پیشروی به میزان 15 تا 40 درصد، نسبت به مدل VB متداول گردیده است.



شکل 5- مقایسه نتایج پیشروی در مدل‌های مختلف با مقادیر مشاهده‌ای در یکی از جویچه‌های مورد آزمایش دسته چهارم

منابع مورد استفاده

- طباطبائی س ح، 1383. تغییرات زمانی معادله نفوذ آب در آبیاری جویچه‌ای متأثر از بافت خاک و مدیریت خاک. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- عباسی ف، 1375. تحقیق و مطالعه بر روی مدل‌های آبیاری نواری و انتخاب بهینه. نشریه شماره 63 سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- گلستانی کرمانی س، 1386. اصلاح مدل بیلان حجم با به‌کارگیری عبارت مومنتم مدل اینرسی صفر برای آبیاری جویچه‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهرکرد.
- مصطفی‌زاده ب و موسوی س ف، 1375. آبیاری سطحی (تئوری و عمل). انتشارات فرهنگ جامع.
- Alazba AA and Strelkoff T 1965. Correct form of hall technique for border irrigation advance. Journal of Irrig & Drain Eng, ASCE. 120(2):292-307.
- Bassett DL Fangmeier DD and Strelkoff T, 1983. Hydraulics of surface irrigation. In ME Jensen (ed.): Design and operation of farm irrigation systems, revised printing. ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Davis J, 1961. Estimation rate of advance for irrigation furrow. Trans. ASAE 4: 52-57.
- Elliott RL and Walker WR, 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Trans ASAE 25: 396-400.
- Esfandiari M, 1997. Evaluation of furrow irrigation models for south-east Australia. Ph.D. Dissertation University of Western Sydney, Sydney, Australia.

- Esfandiari M and Maheshwari BL 1997. Field value of the shape factor for estimating surface storage in furrow on a clay soil. *Journal of Irrigation Science*: 531-535.
- Essafi B. 1983. A recursive volume balance model for continuous and surge flow irrigation. MS thesis. Utah State University, Logan, Utah.
- Hall W.A.. 1956. Estimating irrigation border flow. *Agric Eng in* 37: 263-265
- Holzapfel EA Marino MA and Chaves-morales J, 1984. Comparison and selection of furrow irrigation model. *Journal of Agricultural Water Management*. 9:105-125.
- Owies T.Y. 1983. Surge flow furrow irrigation hydraulic with zero inertia. Thesis presented to Utah State University, Logan, Utah. In partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctorate of Philosophy, 162 pp.
- Renault D and Walender WW 1997. Surface storage in furrow irrigation evaluation. *Journal of Irrig & Drain Engin, ASCE*. 123: 415-422.
- Souza F. 1981. Non linear hydrodynamic model of furrow. Thesis presented to the University of California, Davis, CA, In partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctorate of Philosophy, 172 pp.
- Strelkoff T and Katopodes N, 1977. Border irrigation hydraulics with zero inertia. *Journal of Irrig & Drain Engin, ASCE*. 125: 325-342.
- Valiantzas JD 1997. Volume balance irrigation equation: Variation of surface shape factor. *J Irrig & Drain. Engin (ASCE)*, 123: 307-312.
- Valiantzas JD 1994. Border advance using improved volume-balance model. *Journal of Irrig & Drain Engin, ASCE*. 119: 1006-1012.
- Walker WR 2005 Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. *J Irrig. & Drain Engin (ASCE)* 131: 129-136.
- Walker WR and Humpherys A 1983. Kinematic wave furrow irrigation model. *J of Irrig & Drain Engin ASCE* 109: 377-392.
- Walker WR and Lee TS 1981. Kinematic wave approximation of surge furrow advance. Paper 812544, presented at the Winter Meeting of the ASAE, 15-18 Dec. Chicago, IL. 25 pp.
- Walker WR and Skogerboe GV 1987. *Surface Irrigation: Theory and Practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

جدول 1- محدوده اطلاعات جویچه‌های آزمایشی در هر دسته از داده‌ها

دسته پنجم	دسته چهارم	دسته سوم	دسته دوم	دسته اول	پارامتر مورد نظر
واکر و اسکوجربو (1987)	طباطبائی (1383)	اسفندیاری (1997)	اسفندیاری (1997)	تحقیق حاضر	مرجع داده‌ها
سنگین	رس-لومی	شن-رس-لومی	شنی	لوم و لوم رسی	بافت خاک
350-200	60	125	59	153-198	$L(m)$
0/001268 - 0/00257356	0/0030-0/0041	0/00029-0/0034	0/000473-0/0024	0/0196-0/00171	$K(m^3 \text{ min}^{-a} m^{-1})$
0/8138-0/6592	0/1851-0/2385	0/020-0/814	0/622-0/969	0/011-0/478	a
0/04	0/04	0/01-0/023	0/02-0/035	0/02	n
0/168 - 0/12	0/0075-0/0156	0/0105-0/1866	0/0216-0/105	0/01566-0/0855	$Q(m^3 \text{ min}^{-1})$
0/325 - 0/3	0/7678-1/3050	0/0889-2/300	0/212-2/74	0/213-2/601	$r_1(5.33 - r_2)$
2/87 - 2/71	2/2698-2/4027	2/817-3/116	2/62-3/145	2/464-2/98	r_2
0/877 - 0/987	1/1933-2/9188	0/221-0/419	0/215-0/476	0/434-2/026	$S_1(m^{1-2S_2})$
1/42 - 1/734	1/520-2/0127	1/064-1/256	1/059-1/74	1/270-2/431	S_2
0/0025 - 0/008	0/00682	0/000135-0/0014	0/0017-0/00332	0/0113-0/0156	$S_0(mm^{-1})$
0/75	0/75	0/95	0/95	0/75	$w(m)$

