

## تعیین اندازه بهینه فاصله مکانی برای شبیه‌سازی عددی جریان غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری

محمد مهدی حیدری<sup>۱\*</sup>، سمیرا یوسفی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۲۶

<sup>۱</sup> - استادیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه

<sup>۲</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mm.heidari@razi.ac.ir

### چکیده

جریان غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری به علت اجرای عملیات بهره‌برداری ایجاد می‌شود که تأثیر مستقیم بر عملکرد هیدرولیکی دارد. زمان پاسخ‌گویی از مهم‌ترین مشخصه‌های جریان غیرماندگار در کانال‌های روباز است که غالباً دستورالعمل بهره‌برداری بر اساس آن ارائه می‌شود. روش‌های مختلفی برای حل عددی معادلات حاکم بر جریان غیرماندگار وجود دارد که از جمله می‌توان به شمای عددی پرایزمن اشاره نمود. در این پژوهش یک مدل عددی بر اساس شمای پرایزمن تهیه و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی صحت‌سنجی شد. سپس با استفاده از مدل عددی به بررسی تأثیر اندازه فاصله مکانی،  $(\Delta x)$ ، و ضریب وزنی  $(\theta)$  بر دقت محاسبه زمان پاسخ‌گویی پرداخته شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد با افزایش اندازه فاصله مکانی دقت محاسبه زمان پاسخ‌گویی کاهش می‌یابد، همچنین مقدار مناسب ضریب وزنی  $\theta$  برای شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری برابر ۰/۵۵ حاصل شد. به منظور تعیین اندازه بهینه فاصله مکانی در روش پرایزمن حدود ۱۳۰ مورد شبیه‌سازی توسط مدل عددی صورت گرفت و تأثیر عدد فرود، متغیر بی‌بعد  $KF^2$ ، شیب جانبی کانال و درصد تغییرات دبی ورودی به کانال بر  $\Delta x$  بهینه بررسی شد. نتایج نشان داد که متغیر بی‌بعد  $KF^2$  و شیب جانبی کانال رابطه مستقیم و عدد فرود رابطه عکس با فاصله مکانی بهینه دارد و درصد تغییرات ناگهانی دبی تأثیر چندانی بر  $\Delta x$  بهینه ندارد. در این پژوهش، برای محاسبه اندازه بهینه فاصله مکانی در شبیه‌سازی جریان غیرماندگار یک رابطه غیرخطی ارائه شد که متوسط درصد خطای آن ۴/۳ درصد است.

واژه‌های کلیدی: اندازه بهینه فاصله مکانی، جریان غیرماندگار، زمان پاسخ‌گویی، شبکه آبیاری، شمای عددی پرایزمن

## Determining the Optimum Reach Length for Numerical Simulation of Unsteady Flow in Irrigation Networks

MM Heidari<sup>1\*</sup>, S Yousefi<sup>2</sup>

Received: 11 August 2013 Accepted: 16 June 2015

<sup>1</sup>- Assist. Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agri. Eng., Razi Univ., Kermanshah, Iran

<sup>2</sup>- M.Sc. Student, Dept. of Water Eng., Faculty of Agri. Eng., Razi Univ., Kermanshah, Iran

\*Corresponding Author, Email: mm.heidari@razi.ac.ir

### Abstract

Unsteady flow occurs in irrigation systems due to the water delivery operation and has direct effect on hydraulic performance. The most important characteristics of unsteady flow in open channels is the response time that is usually used to provide the irrigation schedule. There are some methods for numerical simulation of the unsteady flow in open channels, such as the Preissman four-point scheme. In this study, a computer model was developed to simulate the unsteady flow based on the Preissman scheme and verified with the observed data. The effects of the space step length,  $\Delta x$ , and time weighting coefficient,  $\theta$ , on accuracy of the response time's calculation were investigated using the numerical model. By increasing the computational reach length, the accuracy of the calculation of response time was reduced. Also suitable value of the weighting coefficient  $\theta$  for simulation of the flow in irrigation network was estimated as 0.55. For determining the optimum computational reach length, 130 conditions of unsteady flow were simulated with numerical model, and the influences of Froude number,  $KF^2$ , side slopes and the percentage of the inflow rate variations on optimum  $\Delta x$  were investigated. The results showed that  $KF^2$  and side slopes had a direct and Froude number had an inverse relationship with the optimum computational reach length, and the rate of sudden changes of discharge had no effect on optimum  $\Delta x$ . In this study, a nonlinear relationship for calculating  $\Delta x$  was presented with the Mean Percentage Error value of less than 4.3%.

**Keywords:** Irrigation network, Optimum reach length, Preissman scheme, Response time, Unsteady flow

شبکه‌های آبیاری می‌شود. با مطالعه و شناخت خصوصیات و عوامل مؤثر بر جریان غیرماندگار می‌توان برنامه بهره‌برداری مناسب را ارائه داد و سبب

مقدمه

انجام عملیات بهره‌برداری و اجرای برنامه‌های تحویل و توزیع آب باعث ایجاد جریان غیرماندگار در

مشخصه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که حساسیت شمای مک‌کورمک به اندازه فاصله مکانی و عدد کورانت نسبت به سایر شماها کمتر هست، این در حالی است که دقت روش منحنی مشخصه و شمای لاکس رابطه عکس با اندازه فاصله مکانی دارد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که دقت شمای لاکس رابطه مستقیم با عدد کورانت و دقت روش منحنی مشخصه رابطه عکس با عدد کورانت دارد. هولمن ددوس و همکاران (۲۰۰۰) به بررسی تأثیر اندازه فاصله مکانی بر روندیابی دبی پیک جریان در شمای عددی پرایزمن پرداختند و رابطه‌ای را به‌منظور تخمین ابعاد بهینه فواصل مکانی بر اساس مشخصات هندسی کانال مستطیلی و هیدروگراف ورودی ارائه دادند.

عوامل متعددی بر نتایج شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری مؤثر است. روش عددی مورد استفاده، فواصل گام‌های مکانی، عدد کورانت و متغیرهای موجود در شمای عددی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر دقت شبیه‌سازی جریان غیرماندگار است. با توجه به اینکه شمای عددی پرایزمن به‌طور گسترده در شبیه‌سازی جریان مورد استفاده قرار می‌گیرد، بررسی تأثیر اندازه فواصل مکانی و ضریب وزنی  $\theta$  بر دقت آن ضروری هست که از اهداف این پژوهش است. اندازه فواصل مکانی رابطه عکس با دقت شبیه‌سازی جریان و مدت‌زمان اجرای مدل عددی دارد، به عبارت دیگر با کاهش اندازه فواصل مکانی دقت شبیه‌سازی جریان افزایش و همچنین مدت‌زمان اجرای برنامه نیز افزایش می‌یابد. در تهیه برنامه بهینه بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری لازم است تعداد زیادی شبیه‌سازی جریان صورت گیرد. در صورتی که اندازه فواصل مکانی کوچک انتخاب شود، مدت‌زمان بسیار زیادی صرف شبیه‌سازی می‌شود. بنابراین ارائه رابطه‌ای به‌منظور تعیین اندازه بهینه فواصل مکانی در شبیه‌سازی جریان غیرماندگار از اهداف اصلی این تحقیق هست.

افزایش بهره‌وری آب کشاورزی شد. زمان پاسخ‌گویی که برنامه تحویل آب بر اساس آن‌ها تهیه می‌شود از مهم‌ترین مشخصه‌های جریان غیرماندگار است. با استفاده از حل عددی معادله سنت‌ونانت، جریان غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری شبیه‌سازی و زمان پاسخ‌گویی محاسبه می‌شود. مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا ۹۰٪ تغییرات دبی ابتدای کانال به ایستگاه مورد نظر برسد به‌عنوان زمان پاسخ‌گویی در نظر گرفته می‌شود (شورمانز ۱۹۹۰). روش‌های مختلفی برای حل عددی معادلات سنت‌ونانت وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های تفاضل محدود، حجم محدود، المان محدود و روش خطوط مشخصه اشاره نمود. از روش‌های ذکر شده علاوه بر حل معادلات سنت‌ونانت در حل عددی، موج سینماتیکی، موج پخشیدگی و روش ماسکینگام کونژ که جریان غیر ماندگار را به‌صورت تقریبی شبیه‌سازی می‌کنند، نیز استفاده می‌شود. استوکر (۱۹۵۷) اولین روش عددی را برای حل معادلات سنت‌ونانت با استفاده از روش منحنی مشخصه ارائه داد (به نقل از چدري ۲۰۰۸). شمای عددی وی به‌صورت صریح بوده و برای پایداری آن باید گام زمانی کوچک در نظر گرفته شود. پرایزمن (۱۹۶۰) شمای چهار نقطه‌ای را با استفاده از روش تفاضل محدود برای حل معادلات حاکم بر جریان غیرماندگار پیشنهاد نمود، این شمای عددی در بسیاری از مدل‌ها از جمله HEC-RAS، ISIS استفاده شده است. فنما و چدري (۱۹۸۷) برای شبیه‌سازی یک‌بعدی جریان شکست سد، شمای مک‌کورمک را که به‌صورت صریح بوده و دارای دو مرحله پیش‌گو-اصلاح‌گر هست بکار بردند. منتظری‌نمین و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از شمای تنصیف زمان<sup>۱</sup> معادلات جریان غیرماندگار را حل نمودند و نتایج این شمای عددی را با مدل Mike11 مقایسه کرده و دقت این شمای عددی را قابل‌قبول توصیف کرده‌اند. حیدری و یوسفی (۱۳۹۲) به بررسی تأثیر اندازه فاصله مکانی و عدد کورانت بر دقت شماهای عددی لاکس، مک‌کورمک و روش منحنی

<sup>1</sup> Time Splitting

## مواد و روش‌ها

شکل به کاررفته معادلات پیوستگی و بقاء اندازه حرکت در این تحقیق به صورت روابط ۱ و ۲ است (کانژ و همکاران ۱۹۸۰):

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad [2]$$

در معادلات فوق،  $t$  زمان،  $x$  مکان،  $g$  شتاب ثقل،  $Q$  دبی جریان،  $A$  سطح مقطع جریان،  $y$  تراز سطح آب،  $S_f$  شیب افت انرژی و  $S_0$  شیب کف کانال هست. در این تحقیق برای حل معادلات سنت و نانت از شمای چهار نقطه‌ای پرایزمن استفاده می‌شود. در این شمای عددی معادله پیوستگی و اندازه حرکت به صورت روابط ۳ و ۴ جداسازی می‌شود (الکان ۲۰۰۸):

$$\frac{(A_{i+1}^{n+1} + A_i^{n+1}) - (A_{i+1}^n + A_i^n)}{2\Delta t} + \theta(Q_{i+1}^{n+1} - Q_i^{n+1}) + (1-\theta)(Q_{i+1}^n - Q_i^n) = 0 \quad [3]$$

$$\frac{\theta(Q_{i+1}^{n+1} - Q_i^{n+1}) + (1-\theta)(Q_{i+1}^n - Q_i^n)}{\Delta x} + \frac{(Q_{i+1}^{n+1} + Q_i^{n+1}) - (Q_{i+1}^n + Q_i^n)}{2\Delta t} + \theta \left\{ \frac{(Q_{i+1}^{n+1})^2}{A_{i+1}^{n+1}} - \frac{(Q_i^{n+1})^2}{A_i^{n+1}} \right\} + (1-\theta) \left\{ \frac{(Q_{i+1}^n)^2}{A_{i+1}^n} - \frac{(Q_i^n)^2}{A_i^n} \right\} = 0$$

$$g\theta \frac{(A_{i+1}^{n+1} + A_i^{n+1})(y_{i+1}^{n+1} - y_i^{n+1})}{2\Delta x} + g(1-\theta) \frac{(A_{i+1}^n + A_i^n)(y_{i+1}^n - y_i^n)}{2\Delta x} + g\theta \frac{(A_{i+1}^{n+1} + A_i^{n+1})(S_f)_{i+1}^{n+1} + (S_f)_i^{n+1}}{2} + g(1-\theta) \frac{(A_{i+1}^n + A_i^n)(S_f)_{i+1}^n + (S_f)_i^n}{2} = 0 \quad [4]$$

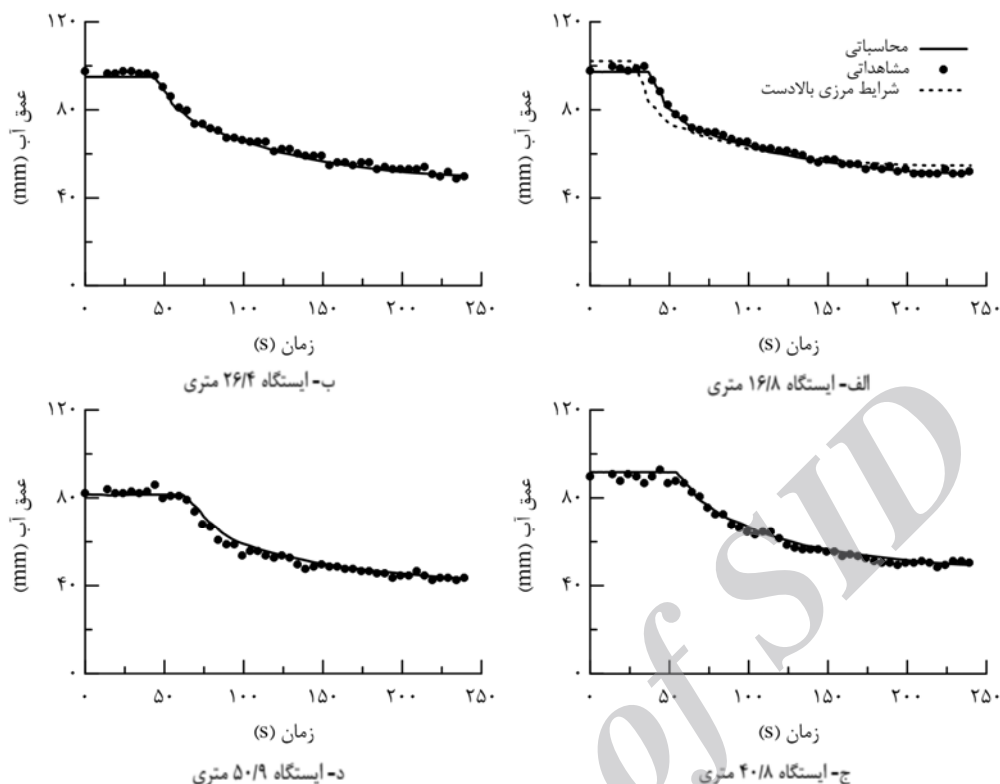
در روابط فوق، اندیس  $n$  و  $i$  به ترتیب شمارنده مربوط به زمان و مکان،  $\Delta t$  و  $\Delta x$  اندازه فواصل زمانی و مکانی است. معادلات جداسازی شده ۳ و ۴ برای

تمامی گره‌ها به‌غیراز آخرین گره نوشته می‌شود، بنابراین ۲-۲n معادله غیرخطی وجود دارد که با داشتن شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست تعداد معادلات به ۲n افزایش می‌یابد. برای حل این دستگاه معادلات، ابتدا با استفاده از روش نیوتن-رافسون دستگاه معادلات خطی و سپس ماتریس ضرایب که چهار قطری است، تشکیل شد. برای حل دستگاه معادله خطی شده از الگوریتم فرید (۱۹۷۱) استفاده شد. این الگوریتم مدت‌زمان اجرای مدل عددی را کاهش می‌دهد.

به‌منظور تعیین دقت مدل عددی از داده‌های آزمایشگاهی حیدری و همکاران (۱۳۹۰) استفاده شد. مدل آزمایشگاهی آن‌ها شامل کانال نوزنقه‌ای به طول ۶۰/۵ متر، عرض کف ۰/۳ متر، عمق ۰/۲۵ متر، ضریب مانینگ ۰/۰۰۸۵، شیب جانبی ۱:۱ و متوسط شیب کف ۰/۰۰۰۹ است. آن‌ها با استفاده از درایو تغییر فرکانس ماکرومستر ۴۲۰، هیدروگراف‌های متنوعی در کانال ایجاد و عمق آب نیز توسط رقوم سنجه‌های آلتراسونیک در نقاط مختلف کانال اندازه‌گیری کردند. در شکل ۱ هیدروگراف‌های عمق آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای توسط مدل عددی برای فواصل ۱۶/۸، ۲۶/۴، ۴۰/۸ و ۵۰/۹ متری از ابتدای کانال آورده شده است. به‌منظور ارزیابی دقت مدل عددی، متوسط درصد خطا با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد.

$$MAE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|m_i - s_i|}{m_i} \quad [5]$$

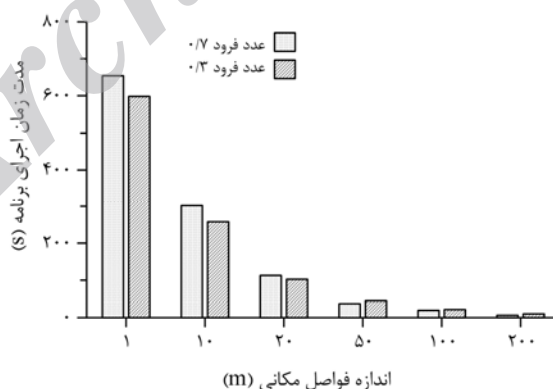
در رابطه فوق MAE متوسط درصد خطا،  $m_i$  مقدار عمق آب اندازه‌گیری شده،  $s_i$  مقدار عمق آب محاسبه‌شده توسط مدل عددی و  $n$  تعداد نقاط اندازه‌گیری شده هست. مقدار متوسط درصد خطای مدل عددی در شبیه‌سازی هیدروگراف عمق برای ایستگاه‌های فوق به ترتیب ۱/۹، ۲/۱۲، ۲/۶۲ و ۲/۹ است. بنابراین این مدل عددی با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی جریان غیرماندگار است.



شکل ۱- هیدروگراف‌های عمق آب مشاهداتی و محاسباتی در ایستگاه‌های مختلف.

زمان پاسخ‌گویی در شبکه‌های آبیاری از مهم‌ترین اثرات جریان غیرماندگار است که اثر مستقیم بر عملکرد هیدرولیکی می‌گذارد. انتخاب اندازه فواصل مکانی ( $\Delta x$ ) بر مدت‌زمان اجرای برنامه و زمان پاسخ-

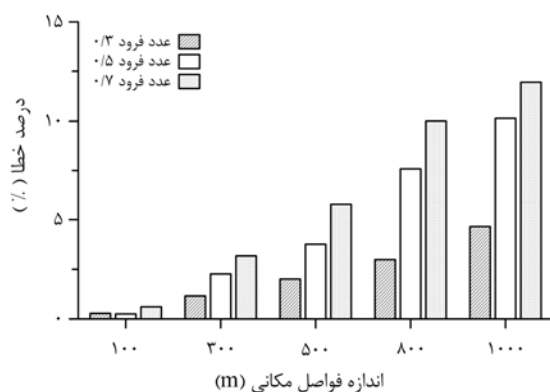
زمان پاسخ‌گویی در شبکه‌های آبیاری از مهم‌ترین اثرات جریان غیرماندگار است که اثر مستقیم بر عملکرد هیدرولیکی می‌گذارد. انتخاب اندازه فواصل مکانی ( $\Delta x$ ) بر مدت‌زمان اجرای برنامه و زمان پاسخ-



شکل ۲- نمونه تأثیر اندازه فواصل مکانی بر مدت‌زمان اجرای برنامه.

اندازه  $\Delta x$  بر زمان پاسخ‌گویی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است نتایج حاصل از انتخاب اندازه فواصل مکانی ۱ متری به‌عنوان نتایج دقیق در نظر گرفته شده است.

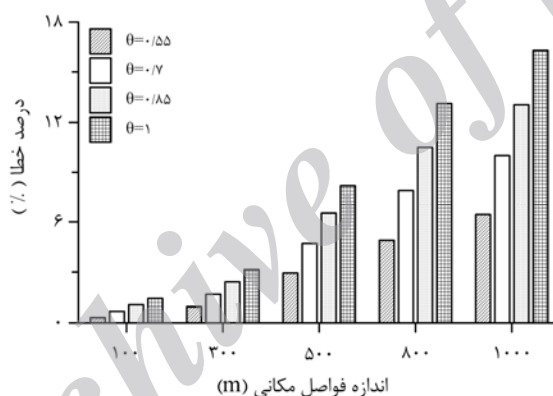
با افزایش اندازه گام مکانی مدت‌زمان اجرای برنامه کاهش می‌یابد، به‌عنوان مثال اگر اندازه گام مکانی از ۱ متر به ۲۰۰ متر افزایش یابد مدت‌زمان اجرای برنامه حدود ۹۸ درصد کاهش می‌یابد. شکل ۳ نمونه تأثیر



شکل ۳- نمونه تأثیر اندازه فواصل مکانی بر زمان پاسخ‌گویی.

بهینه ضریب وزنی  $\theta$  در شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار بین ۰/۵۵ تا ۱ هست (فرید ۱۹۷۱). شکل ۴ نمونه تأثیر ضریب وزنی  $\theta$  بر زمان پاسخ‌گویی را نشان می‌دهد.

با افزایش اندازه گام‌های مکانی میزان خطا در محاسبه زمان پاسخ‌گویی نیز افزایش می‌یابد. یکی دیگر از عوامل مؤثر در دقت محاسبه زمان پاسخ‌گویی با استفاده از شمای پرایزمن، ضریب وزنی  $\theta$  است. مقدار



شکل ۴- نمونه تأثیر ضریب وزنی  $\theta$  بر زمان پاسخ‌گویی.

گرفت. ابتدا آزمایش‌ها با اندازه گام‌های مکانی ۱ متری توسط مدل عددی شبیه‌سازی و زمان پاسخ‌گویی محاسبه شد و به‌عنوان نتایج دقیق در نظر گرفته شد. سپس شبیه‌سازی‌ها با  $\Delta x$ های مختلف توسط مدل عددی اجرا شد، اندازه گام‌های مکانی که زمان پاسخ‌گویی محاسبه‌شده توسط آن با نتایج دقیق (حالتی که  $\Delta x$  برابر ۱ در نظر گرفته شده است) ۱٪ اختلاف داشت،  $\Delta x$  بهینه هست. در جدول ۱ محدوده مشخصات هیدرولیکی و هندسی کانال‌های شبیه‌سازی‌شده آورده شده است.

با افزایش ضریب وزنی  $\theta$  میزان خطای محاسبه زمان پاسخ‌گویی افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است در اندازه گام مکانی ۱ متر، ضریب وزنی  $\theta$  تأثیری بر زمان پاسخ‌گویی نداشته ولی با افزایش اندازه گام‌های مکانی تأثیر آن زیاد می‌شود. در این پژوهش برای شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در شبکه آبیاری، ضریب وزنی  $\theta$  برابر ۰/۵۵ در نظر گرفته شد.

به‌منظور تعیین اندازه بهینه فاصله مکانی حدود ۱۳۰ مورد شبیه‌سازی توسط مدل عددی برای دامنه وسیعی از پارامترهای هندسی و هیدرولیکی صورت

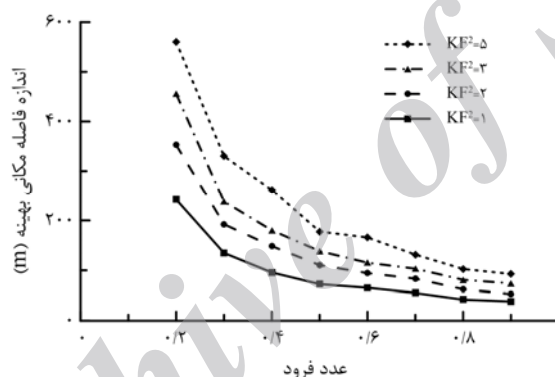
جدول ۱- محدوده مشخصات هیدرولیکی و هندسی کانال‌های شبیه‌سازی شده

عرض کف (m)	عمق آب (m)	شیب دیواره	شیب کف	ضریب مانینگ	دبی جریان ( $m^3s^{-1}$ )	عدد فرود	درصد تغییرات دبی
۵	۳/۵	۱/۵	۰/۰۰۱۶	۰/۰۲۸	۷۲/۵	۰/۹	+۳۰٪
۰/۹	۰/۶۵	۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۴	۱/۶۵	۰/۲	-۳۰٪

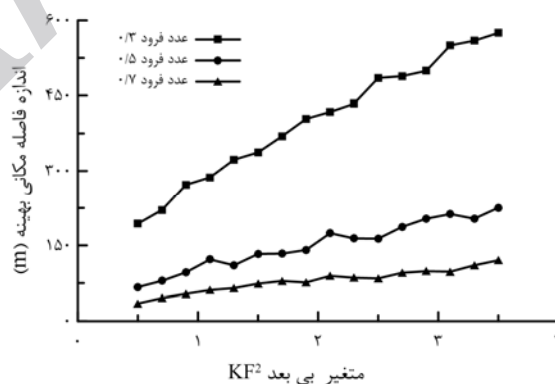
## نتایج و بحث

عدد فرود، پارامتر بی بعد  $KF^2 = S_0L/y$  (  $S_0$  شیب کف کانال،  $L$  طول کانال و  $y$  عمق اولیه جریان)، شیب جانبی کانال و درصد تغییرات دبی ورودی از عوامل مؤثر بر اندازه بهینه فواصل مکانی در شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در روش پرایزمن است. به منظور

تعیین اثر این عوامل بر  $\Delta x$  بهینه، شبیه‌سازی‌های متعددی با مدل عددی انجام و میزان تأثیر هر یک از عوامل فوق تعیین گردید. شکل ۵ برای یک کانال مستطیلی تأثیر عدد فرود جریان بر  $\Delta x$  بهینه در شبیه‌سازی جریان غیرماندگار را نشان می‌دهد.

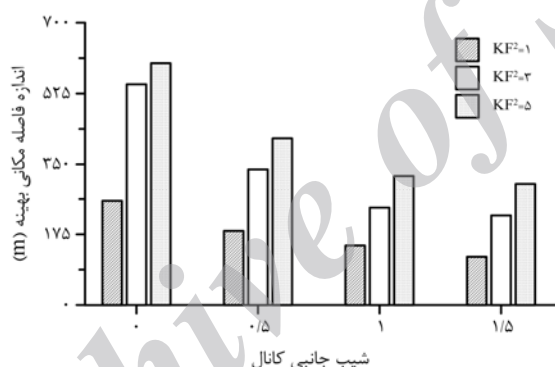


شکل ۵- نمونه تأثیر عدد فرود جریان بر اندازه بهینه فاصله مکانی.

شکل ۶- تأثیر متغیر بی بعد  $KF^2$  بر اندازه بهینه فاصله مکانی در کانال مستطیلی.

با زیاد شدن  $KF^2$  اندازه  $\Delta x$  بهینه افزایش می‌یابد، آهنگ افزایش آن بستگی به عدد فرود دارد. در اعداد فرود کم، آهنگ افزایش  $\Delta x$  بهینه بیشتر است. زمان پاسخ‌گویی رابطه مستقیم با متغیر  $KF^2$  دارد، به عبارت دیگر با افزایش  $KF^2$  زمان پاسخ‌گویی نیز افزایش می‌یابد و مقدار اختلاف زمان پاسخ‌گویی محاسباتی و دقیق با در نظر گرفتن ۱٪ خطای نسبی مقدار بزرگی است، پس در شبیه‌سازی جریان  $\Delta x$  بزرگ‌تری انتخاب می‌شود. شکل ۷ تأثیر شیب جانبی کانال آبیاری بر اندازه  $\Delta x$  بهینه برای عدد فرود ۰/۳ را نشان می‌دهد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش عدد فرود مقدار اندازه فاصله مکانی بهینه کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر در اعداد فرود بالا برای آنکه در محاسبه زمان پاسخ‌گویی توسط مدل عددی، خطا کمتر از ۱٪ باشد، باید اندازه گام‌های مکانی کوچک‌تر در نظر گرفته شود. زمان پاسخ‌گویی رابطه عکس با عدد فرود دارد (حیدری و همکاران ۱۳۹۰)، با افزایش عدد فرود زمان پاسخ‌گویی کاهش می‌یابد. بنابراین ۱٪ خطای نسبی در محاسبه زمان پاسخ‌گویی مقدار کوچکی می‌شود پس باید در شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در اعداد فرود بالا  $\Delta x$  کوچک‌تر در نظر گرفته شود. شکل ۶ تأثیر متغیر بی‌بعد  $KF^2$  بر اندازه فاصله مکانی بهینه در یک کانال مستطیلی را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نمونه‌ای از تأثیر شیب جانبی کانال آبیاری بر  $\Delta x$  بهینه.

برای محاسبه اندازه بهینه فواصل مکانی در شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در شبکه آبیاری ارائه می‌شود:

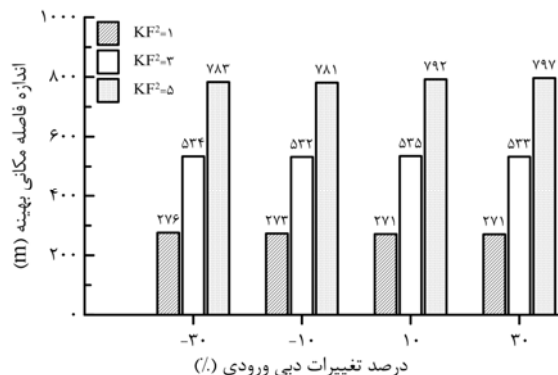
$$\Delta x = \frac{(5.4Z + 34.9)(KF^2)^{0.56} \gamma^{0.32Z^2 - 0.68Z + 1.3}}{FR^{0.27Z^2 - Z + 1.9}} \quad [6]$$

شکل ۹ مقادیر اندازه بهینه فواصل مکانی محاسباتی و مشاهداتی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در تمام آزمایش‌ها اندازه  $\Delta x$  بهینه محاسباتی کمتر از ۱۰ درصد خطا دارد. همچنین متوسط درصد خطا رابطه ارائه شده برای محاسبه اندازه بهینه فاصله مکانی ۴/۳ درصد است.

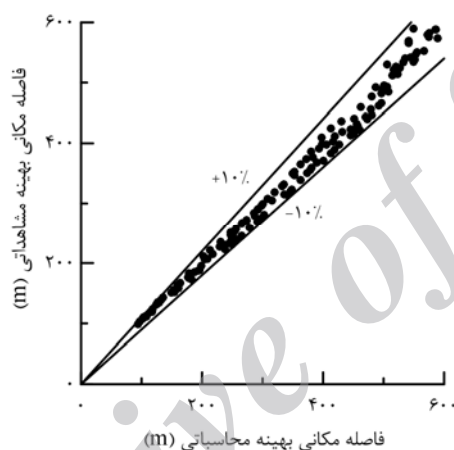
بیشترین اندازه فاصله مکانی بهینه مربوط به کانال مستطیلی است، با افزایش شیب جانبی کانال اندازه  $\Delta x$  بهینه کاهش می‌یابد. به طوری که برای یک کانال دوزنقه‌ای با  $Z=1/5$ ، اندازه  $\Delta x$  بهینه تقریباً نصف کانال مستطیلی است. شکل ۸ تأثیر درصد تغییرات ناگهانی دبی ورودی بر  $\Delta x$  بهینه را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که درصد تغییرات دبی تأثیر چندانی بر اندازه بهینه فاصله مکانی در شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری ندارد.

با در نظر گرفتن عدد فرود، پارامتر بی‌بعد  $KF^2$ ، شیب جانبی کانال و عمق اولیه جریان رابطه غیرخطی ۶





شکل ۸- تأثیر درصد تغییرات ناگهانی دبی ورودی بر اندازه بهینه فاصله مکانی.



شکل ۹- مقادیر اندازه بهینه فواصل مکانی محاسباتی و مشاهداتی.

مورد بررسی قرار گرفت و مقدار  $0/55$  برای آن در نظر گرفته شد. در این تحقیق اندازه گام‌های مکانی که زمان پاسخ‌گویی محاسبه‌شده توسط آن با نتایج دقیق  $1\%$  اختلاف داشت، به‌عنوان  $\Delta x$  بهینه در نظر گرفته شد و تأثیر متغیرهای عدد فرود، پارامتر بی‌بعد  $Kf^2$ ، شیب جانبی کانال و درصد تغییرات ناگهانی دبی ورودی بر  $\Delta x$  بهینه بررسی شد. پارامتر بی‌بعد  $Kf^2$  و شیب جانبی کانال رابطه مستقیم و عدد فرود رابطه عکس با گام مکانی بهینه دارد و درصد تغییرات دبی تأثیر چندانی بر  $\Delta x$  بهینه ندارد. همچنین در این پژوهش، یک رابطه غیرخطی برای محاسبه اندازه بهینه فاصله مکانی در شبیه‌سازی جریان غیرماندگار ارائه شد.

### نتیجه‌گیری کلی

یکی از مهم‌ترین عوامل در برنامه‌ریزی آبیاری، زمان پاسخ‌گویی است که بر عملکرد هیدرولیکی شبکه آبیاری تأثیر می‌گذارد. با استفاده از حل عددی معادلات سنت و نانت می‌توان جریان غیرماندگار و زمان پاسخ‌گویی را محاسبه کرد. اندازه فاصله مکانی در دقت شبیه‌سازی جریان در شبکه‌های آبیاری مؤثر است، به‌طوری‌که با کاهش اندازه گام مکانی دقت محاسبات بالا رفته اما مدت‌زمان اجرای برنامه طولانی‌تر می‌شود. در این تحقیق ابتدا یک مدل عددی با استفاده از شمای عددی پرایزن برای شبیه‌سازی جریان غیرماندگار توسعه داده و با داده‌های آزمایشگاهی صحت‌سنجی شد. سپس تأثیر ضریب وزنی  $\theta$  بر زمان پاسخ‌گویی

## منابع مورد استفاده

حیدری م و یوسفی س، ۱۳۹۲. بررسی دقت شماهای عددی مختلف در شبیه‌سازی جریان غیرمادگار در شبکه‌های آبیاری. صفحه‌های ۶۵ تا ۶۹. چهارمین همایش سالانه دانشگاه رازی، ۱۷ تا ۲۰ آذرماه، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه.

حیدری م، کوچک زاده ص، درویشی ا و هورفر ع ا، ۱۳۹۰. تعیین دامنه کاربرد روابط زمان‌های انتقال موج و پاسخگویی در شبکه‌های آبیاری. مجله‌ی آبیاری و زهکشی ایران، سال پنجم، شماره ۱، صفحه‌های ۱۲۰ تا ۱۳۲. منتظری نمین م، بهلولی ا، اله‌دین س و رنجبران ل، ۱۳۸۵. شبیه‌سازی جریان در شبکه رودخانه با استفاده از روش T.S. و مقایسه با مدل Mike11. صفحه‌های ۲۹۸ تا ۳۰۸. مجموعه مقالات هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، ۲۴ تا ۲۶ بهمن‌ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.

Akan AO, 2008. Open Channel Hydraulics. Elsevier, Canada.

Chaudry MH, 2008. Open Channel Flow. Springer, New York.

Cunge JA, Holly FM and Verwey JA, 1980. Practical Aspect of Computational River Engineering. Pitman Advanced Publishing Program, London.

Fennema RJ and Chaudhry MH, 1987. Simulation of one dimensional dam break flows. ASCE, J Hydraul Res 25(1): 41-51.

Fread DL, 1971. Discussion of Implicit flood routing in natural channels by Amein and Fang. ASCE, J Hydraul Div 97(HY7): 1157-1159.

Holman-Dodds JK, Young CB and Nelson BR, 2000. Computational-Reach Length for Prismatic Channels. ASCE, J Hydr Engrg 126(6): 467-469.

Preissmann A, 1960. Propagation des intumescences dans les canaux et rivières. Pp. 433-442. First Congress of the French Association for Computation, AFCAL Grenoble, France.

Schuermans W, 1990. Analytical formulae for the response time of irrigation canals. ASCE, J Irrig & Drain Engrg 4: 37-58.

Archive of SID