

شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در کانال‌های آبیاری با استفاده از مدل CanalMan (مطالعه موردی کانال AMC شبکه آبیاری دشت تبریز)

حسین زمستانی*^۱، داود فرسادی‌زاده^۲، علی حسین‌زاده دلیر^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۰۴

^۱- کارشناس ارشد سازه‌های آبی دانشگاه تبریز

^۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hzemestani@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق با کاربرد مدل CanalMan، جریان غیرماندگار در کانال AMC شبکه آبیاری دشت تبریز شبیه‌سازی شده است. هدف تحقیق، ارزیابی حالت‌های مختلف بازشدگی سازه‌های کنترل و آبیگر کانال در گذر از ماه با نیاز آبی کم به زیاد و انتخاب مناسب‌ترین برنامه بهره‌برداری در بین گزینه‌های در نظر گرفته شده می‌باشد. برای این منظور ۱۰ گزینه بهره‌برداری برای حالت افزایش دبی ورودی کانال در نظر گرفته شد و در تحویل ۱۰ ساعته آب مورد مقایسه قرار گرفت. معیارهای مقایسه گزینه‌های مختلف عبارت از میزان کمبود آب تحویلی، قدرمطلق خطای دبی آبیگرها و متوسط جذر میانگین مربعات خطا بودند. نتایج نشان داد که گزینه دهم با کمترین مقادیر در هر سه معیار، بهترین گزینه می‌باشد. تغییرات دبی نسبت به زمان برای سازه‌های کنترل و آبیگرها در گزینه دهم ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده زمان رسیدن اغتشاش به محل سازه‌های کنترل و زمان محو شدن آن برای گزینه برگزیده، کمتر از بقیه گزینه‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جریان غیرماندگار، دشت تبریز، شبکه آبیاری، معادلات سنت-ونانت، CanalMan

Simulation of Unsteady Flow in Irrigation Canals Using CanalMan Model (Case Study: AMC Canal of Tabriz Plain Irrigation Network)

H Zemestani^{*1}, D Farsadizadeh², A Hosseinzadeh Dalir³

Received: 14 April 2015 Accepted: 25 October 2016

¹ M.Sc., Dept. of Irrigation, University of Tabriz, Tabriz, Iran

² Prof., Dept. of Irrigation, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ Prof., Dept. of Irrigation, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding Author, Email: hzemestani@yahoo.com

Abstract

In this study the unsteady flow in AMC canal of irrigation network of Tabriz plain was simulated using CanalMan model. The aim was to evaluate different settings of canal control structures and turnout in passing from months with low to high water requirements and choose the most appropriate operational program among the considered options. For this purpose 10 operational options for an increasing discharge rate were considered and compared with each other for a 10-hour water delivery duration. The criteria for comparing different options included shortage of water delivery, absolute rate error of discharges and the average root-mean-square of error. The results showed that the tenth option with the least values in all three criteria, was the best option. The temporal changes of discharges for control structures and turnouts in the tenth option were presented. According to the results the disturbance travel time from canal inlet to the control structure and its damping time periods were the least in the chosen option.

Keywords: CanalMan, Irrigation network, St-Venant equations, Tabriz plain, Unsteady flow

مقدمه

بهبود عملکرد را ارزیابی کرد و سپس راهکارهای مناسب و مطلوب را ارائه داد.

تغییرات دبی و عمق ناشی از جریان غیرماندگار تبعات زیادی بر عملکرد هیدرولیکی شبکه خواهد داشت و باعث ضعف عملکرد و ناهماهنگی بین عرضه و تقاضای آب و در نهایت موجب ایجاد چالش‌های جدی در مدیریت شبکه می‌گردد. مناسب‌ترین ابزار برای مطالعه جریان غیرماندگار و ارزیابی عملکرد آنها، مدل هیدرودینامیک است که توانایی شبیه‌سازی جریان در انواع کانال‌های آبیاری با هر مقطعی را در شرایط تغییرات محدود و شدید جریان داشته باشد. به‌منظور پیش‌بینی چنین پدیده هیدرولیکی پیچیده‌ای لازم است از تکنیک شبیه‌سازی یا مدل‌سازی استفاده شود. چرا که

ایجاد جریان غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری به دلیل تحویل و توزیع آب و همچنین تغییرات ناگهانی جریان ورودی به سیستم یکی از مشکلات بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری می‌باشد. جریان غیرماندگار باعث تغییرات دبی و عمق در زمان و مکان در سراسر شبکه و سازه‌های آبی موجود خواهد شد که تأثیر هیدرولیکی زیادی در شبکه دارد. نحوه تأثیر جریان غیرماندگار بر عملکرد هیدرولیکی و بهره‌برداری کانال‌ها و مدیریت مناسب آنها تابعی از ویژگی‌های جریان غیرماندگار و شرایط فیزیکی کانال‌ها می‌باشد (حسینی و ابریشمی ۱۳۷۸). در مطالعات بهره‌برداری می‌توان با تنظیم میزان بازشدگی دریچه‌ها و یا سازه‌های آب‌بند، تأثیر آن بر

اندازه‌گیری مستقیم جریان غیرماندگار بسیار مشکل و پرهزینه است.

منعم و مانز (۱۹۹۴) از مدل ICSS استفاده کردند تا تأثیر افزایش یا کاهش دبی در آبگیر کانال را بر عملکرد سیستم مورد بررسی قرار دهند. کسب‌دوز و همکاران (۱۳۷۷) برای رسیدن به مناسب‌ترین گزینه توزیع آب در شبکه آبیاری قوریچای از مدل ICSS استفاده کردند و روش بهره‌برداری با جریان دائمی و دبی متغیر را به‌عنوان گزینه مناسب انتخاب نمودند. سانتی و پانداریکانتان (۲۰۰۰) برای برنامه‌ریزی تحویل آب در کانال آبیاری با سیستم توزیع گردشی مدل جدیدی طراحی کردند و با استفاده از این مدل عدالت، کفایت و توزیع به موقع آب را ارتقا دادند. کومار و همکاران (۲۰۰۱) از مدل شبیه‌سازی CanalMan در کانال اصلی ساحل راست (RBMC) پروژه آبیاری کانگ ساباتی^۱، بنگال غربی هند استفاده نمودند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که مدل CanalMan بطور موفقیت‌آمیزی در بهره‌برداری و مدیریت این کانال می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. میشر و همکاران (۲۰۰۱) جهت ارزیابی عملکرد همین کانال از مدل Mike 11 استفاده نمودند. طی واسنجی و تایید مدل، جریان روزانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در بازه‌های بالادست و میانی کانال همخوانی خوبی با یکدیگر داشت در حالی که در انتهای مسیر اینگونه نبود. پاسبان عیسی‌لو (۱۳۸۵) با مدل CanalMan، یکی از کانال‌های درجه دو شبکه آبیاری مغان را شبیه‌سازی نموده و ضمن واسنجی کردن سازه‌های موجود در این کانال، ضرایب دبی را برای دریاچه‌های کانال محاسبه کرده و با ارائه برنامه بهره‌برداری برای این کانال با استفاده از مدل مذکور برای ماه اردیبهشت، نتایج آن را با حالت بهره‌برداری سنتی مقایسه نموده است. فرسادی‌زاده و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از مدل ICSS، به بررسی اثرات هیدرولیکی ناشی از عملکرد دریاچه‌های کنترل در کانال‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که خطای برآورد مدل

در طول کانال در حالت تغییر وضعیت تدریجی دریاچه‌های کنترل بسیار کمتر از حالت تغییر سریع می‌باشد و خطای مدل در هر دو حالت عملکرد تدریجی و سریع دریاچه‌های کنترل با افزایش سرعت بازشدگی دریاچه‌ها، افزایش می‌یابد.

لوزانو و همکاران (۲۰۱۰) در یک کانال با کنترل اتوماتیک، با استفاده از یک روش خطی میزان پسروی جریان در اثر افزایش تقاضا، زمان افزایش ورودی، زمان عکس‌العمل کانال به جریان اضافه شده و حجم خروجی از کانال را محاسبه نمودند. کیوآیو و یانگ (۲۰۱۰) مدل خطی تهیه نموده و از روش ماتریسی برای استنتاج آن در فرم تحلیلی با توجه به معادلات سنت-ونانت و پروفیل برگشت آب در حالت جریان غیرماندگار کانال استفاده نمودند. ایشان مدل هیدرولیکی سازه کنترل در انتهای پایین دست کانال را نیز به مدل اضافه کرده و با یک مثال عملی نشان دادند که نوسانات عکس‌العمل سیستم کانال به درستی با این مدل قابل تحلیل است. همچنین طبق نتایج به‌دست آمده، رفتار دینامیکی مدل خطی نزدیک به مدل غیرخطی می‌باشد. قدوسی و ملکشی (۱۳۹۰) با مدل CanalMan، به شبیه‌سازی یک کانال با دبی ورودی و دبی تحویلی به آبگیرهای مختلف پرداخته و مقادیر بهینه تنظیم سازه‌ها در شرایط تشکیل جریان غیرماندگار ناشی از بهره‌برداری را تعیین نمودند. شرعی و موسوی جهرمی (۱۳۹۰) نیز تلاش کردند با استفاده از همین مدل، مدیریتی مطلوب بر شبکه آبیاری طرح توسعه نیشکر امیرکبیر در استان خوزستان اعمال کنند. قبادیان و همکاران (۲۰۱۴) مدل کامپیوتری برای شبیه‌سازی جریان ماندگار و غیرماندگار در شبکه آبیاری تهیه نموده و بعد از صحت‌سنجی آن، کانال MC شبکه دربند کرمانشاه را شبیه‌سازی نموده و با فرض کاهش دبی ورودی کانال به بررسی و مقایسه عملکرد آبگیر-های ساده، نیرپیک یک و دو ماسکه پرداختند. نتایج نشان داد که آبگیر ساده حساس‌تر از آبگیر نیرپیک بوده و تلفات حجم جریان عبوری آن بیشتر است.

^۱ Kangsabati

دریچه‌ای و یا ثابت بتنی بوده و سطح آب را در حد F.S.L کانال تنظیم کرده و سطح آب محل آبیگری را به‌طور نسبی ثابت نگه می‌دارد.

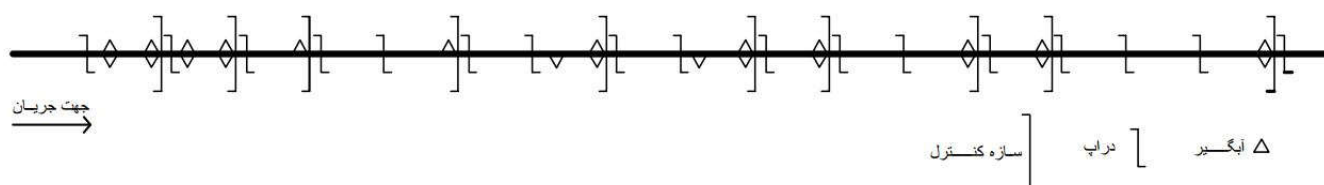
کانال مورد مطالعه در این تحقیق، کانال AMC در شبکه آبیاری دشت تبریز می‌باشد. مقطع کانال ذوزنقه‌ای با پوشش بتنی و ضریب زبری مانینگ ۰/۱۵ است. شیب جانبی کانال ۱ به ۱/۵ (عمودی به افقی) در هر دو طرف بوده و ظرفیت انتهایی آن ۸/۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد و جهت تامین آب شبکه آبیاری و زهکشی شهید سرداری منظور شده است در طول کانال به تعداد ۱۰ سازه کنترل به‌منظور کنترل و تنظیم سطح آب وجود دارد. سازه‌های کنترل شامل سه دریچه کشویی کنار هم می‌باشند و در قسمت‌هایی از طول کانال نیز دراپ مایل بدون سازه کنترل قرار دارد. سازه‌های آبیگر کانال‌های جانبی، از نوع دریچه کشویی و نیرپیک می‌باشد (بی‌نام ۱۳۸۷). شکل ۱ شماتیک کانال AMC و سازه‌های موجود در مسیر جریان را نشان می‌دهد.

همچنین نیرپیک دو ماسکه در کانال مورد مطالعه عملکرد بهتری نسبت به یک ماسکه داشت.

هدف از این تحقیق کاربرد مدل CanalMan برای شبیه‌سازی جریان غیرماندگار در کانال AMC شبکه آبیاری دشت تبریز جهت بررسی حالت‌های مختلف سازه‌های کنترل و آبیگر کانال در گذر از ماه اردیبهشت به خرداد ماه با نیاز آبی بیشتر نسبت به اردیبهشت و انتخاب بهترین گزینه بهره‌برداری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شبکه مورد مطالعه در این تحقیق شبکه آبیاری دشت تبریز می‌باشد که در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. شبکه آبیاری و زهکشی دشت تبریز در سطح ناخالص ۲۵۰۰۰ هکتار شامل قطعات تحت پوشش کانال‌های AMC، LMC و RMC به ترتیب با مساحت‌های خالص ۳۶۲۰، ۱۳۴۷۰ و ۴۴۶۰ هکتار می‌باشد. در شبکه آبیاری و زهکشی دشت تبریز، کنترل و تنظیم آب در کانال‌های اصلی و درجه یک به‌وسیله سیستم کنترل بالادست صورت می‌گیرد. این سازه‌های کنترل از نوع



شکل ۱- شماتیک کانال AMC و سازه‌های موجود در مسیر.

است این مدل، فرم انتگرالی معادلات پیوستگی و اندازه حرکت سنت-ونانت را برای جریان‌های غیرماندگار یک‌بعدی در کانال‌های روباز بصورت ضمنی^۲ با روش تفاضلات محدود حل می‌نماید. نتایج مدل شامل عمق-های جریان، رقوم سطح آب در بازه‌ها، دبی جریان و تغییر وضعیت سازه‌های کنترل یا سازه‌های آبیگری در طول زمان می‌باشند (مرکلی ۲۰۰۰).

جدول ۱ مشخصات بازه‌های در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد. کانال مورد مطالعه به ۱۸ بازه تقسیم شده است. بازه‌هایی که با نام CRD مشخص شده است، در انتهای پایین‌دست، دارای سازه کنترل شامل سه دریچه کشویی می‌باشند که به‌صورت موازی کنار هم قرار گرفته‌اند. و بقیه بازه‌ها، در انتها، دارای دراپ بدون سازه کنترل می‌باشند.

مدل CanalMan به‌منظور شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان‌های غیرماندگار در شبکه کانال‌ها توسعه یافته

^۲ Implicit

جدول ۱- مشخصات بازه‌های در نظر گرفته شده برای کانال AMC.

شماره بازه	نام بازه	کیلومترهاژ		طول بازه (m)	بیشینه عمق (m)	عرض کف (m)	شیب کف $\times 10^{-3}$	رقوم بالادست (m)	رقوم پایین دست (m)	بالا آمدگی کف (m)
		ابتدا	انتهای							
۱	PF	۰	۰+۴۵۵	۴۵۵	۲/۷۵	۵	-/۱۹۸	۱۳۳۸/۲۴	۱۳۳۸/۱۵	-۲/۶
۲	CRD1	۰+۴۵۵	۲+۳۹۷	۱۹۴۲	۲/۷۵	۵	-/۲۰۱	۱۳۳۵/۵۵	۱۳۳۵/۱۶	-۲/۹۲
۳	CRD2	۲+۳۹۷	۳+۹۶۴	۱۵۶۷	۲/۷۵	۵	-/۲۴۳	۱۳۳۲/۲۴	۱۳۳۱/۸۶	-۱/۱۹
۴	CRD3	۳+۹۶۴	۵+۶۹۰	۱۷۲۶	۲/۷۵	۵	-/۲۱۴	۱۳۳۰/۶۷	۱۳۳۰/۲	-۱/۴۹
۵	Drop6+646	۵+۶۹۰	۶+۶۴۶	۹۵۶	۲/۷۵	۵	-/۱۹۹	۱۳۲۸/۸۱	۱۳۲۸/۶۲	-۱/۷۵
۶	CRD4	۶+۶۴۶	۸+۳۲۱	۱۶۷۵	۲/۶۵	۵	-/۲۰۳	۱۳۲۶/۸۷	۱۳۲۶/۵۳	-۲/۲۵
۷	Drop9+251	۸+۳۲۱	۹+۲۵۱	۹۳۰	۲/۶۵	۵	-/۲۰۴	۱۳۲۴/۲۸	۱۳۲۴/۰۹	-۲
۸	CRD5	۹+۲۵۱	۱۰+۵۳۷	۱۲۸۶	۲/۶۵	۵	-/۲۰۲	۱۳۲۲/۰۹	۱۳۲۱/۸۳	-۱/۸۸
۹	Drop11+577	۱۰+۵۳۷	۱۱+۵۷۷	۱۰۴۰	۲/۶۵	۵	-/۲۱۲	۱۳۱۹/۹۵	۱۳۱۹/۷۳	-۲/۱۳
۱۰	CRD6	۱۱+۵۷۷	۱۳+۳۳۳	۱۷۵۶	۲/۶۵	۵	-/۱۹۹	۱۳۱۷/۶	۱۳۱۷/۲۵	-۱/۸۶
۱۱	CRD7	۱۳+۳۳۳	۱۶+۰۹۵	۲۷۶۲	۲/۵۵	۵	-/۱۹۹	۱۳۱۵/۳۹	۱۳۱۴/۸۴	-۱/۵
۱۲	Drop17+353	۱۶+۰۹۵	۱۷+۳۵۳	۱۲۸۵	۲/۲۵	۳/۵	-/۲۴۱	۱۳۱۳/۳۴	۱۳۱۳/۰۳	-۱/۵
۱۳	CRD8	۱۷+۳۵۳	۱۸+۶۹۱	۱۳۳۸	۲/۲۵	۳/۵	-/۲۴۷	۱۳۱۱/۵۳	۱۳۱۱/۲	-۲/۲۳
۱۴	CRD9	۱۸+۶۹۱	۲۰+۶۹۶	۲۰۰۵	۲/۲۵	۳/۵	-/۲۵۴	۱۳۰۸/۹۷	۱۳۰۸/۴۶	-۱/۷۲
۱۵	Drop21+647	۲۰+۶۹۶	۲۱+۶۴۷	۹۵۱	۲/۱	۳/۵	-/۲۵۲	۱۳۰۶/۷۴	۱۳۰۶/۵	-۱/۵
۱۶	Drop23+110	۲۱+۶۴۷	۲۳+۱۱۰	۱۴۶۳	۲/۱	۳/۵	-/۲۴۶	۱۳۰۵	۱۳۰۴/۶۴	-۲
۱۷	CRD10	۲۳+۱۱۰	۲۴+۴۸۲	۱۳۷۲	۲/۱	۳/۵	-/۲۴۷	۱۳۰۲/۶۴	۱۳۰۲/۳۰۱	-۱/۵۲
۱۸	END	۲۴+۴۸۲	۲۹+۰۰۷	۴۵۲۵	۲/۱	۲/۵	-/۵۷۰	۱۳۰۰/۷۸	۱۲۹۸/۲	.

معادلات حاکم

جریان در کانال در اثر باز و بسته شدن دریاچه-
های کنترل که به صورت تدریجی انجام می‌گیرد، از
حالت ماندگار به غیرماندگار متغیر تدریجی در می‌آید.

دو معادله اساسی این جریان عبارت از معادله

پیوستگی و اندازه حرکت (معادلات سنت-ونانت) می-
باشد (مرکلی ۲۰۰۰).

معادله پیوستگی به صورت رابطه زیر می‌باشد:

دبی آنها دارد. لذا در این تحقیق ۱۰ گزینه بهره‌برداری برای حالت افزایش دبی در نظر گرفته شد که به شرح زیر می‌باشند:

گزینه اول: همه سازه‌های کنترل تا بازه CRD5، به ترتیب بعد از افزایش دبی، با فاصله‌های زمانی ۱۵ دقیقه و بعد از آن بازه، تا آخر کانال با فاصله‌های زمانی ۳۰ دقیقه از یکدیگر باز می‌شوند. آبیگرهای هر بازه همزمان با دریچه‌های سازه‌های کنترل آن بازه، باز می‌شوند.

گزینه دوم: همه سازه‌های کنترل به ترتیب با فاصله‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای بعد از افزایش دبی، باز می‌شوند و آبیگرهای هر بازه ۱۵ دقیقه زودتر از سازه‌های کنترل آن بازه باز می‌شوند.

• گزینه سوم: همه سازه‌های کنترل به ترتیب با فاصله‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای بعد از افزایش دبی، باز می‌شوند. آبیگرهای هر بازه ۲۰ دقیقه زودتر از سازه‌های کنترل آن بازه باز می‌شوند.

• گزینه چهارم: همه سازه‌های کنترل به ترتیب با فاصله‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای بعد از افزایش دبی، باز می‌شوند. آبیگرهای هر بازه ۱۵ دقیقه دیرتر از سازه‌های کنترل آن بازه باز می‌شوند.

• گزینه پنجم: همه سازه‌های کنترل به ترتیب با فاصله‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای بعد از افزایش دبی، باز می‌شوند. آبیگرهای هر بازه ۱۵ دقیقه دیرتر از سازه‌های کنترل آن بازه باز می‌شوند و دبی ورودی با فاصله یک ساعته در دو مرحله افزایش می‌یابد.

• گزینه ششم: دریچه‌های کنترل تا CRD5، با فاصله‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای و بعد از آن با فاصله‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای باز می‌شوند و آبیگرها نیز ۱۰ دقیقه زودتر از سازه‌های کنترل آن بازه باز می‌شوند.

• گزینه هفتم: دریچه‌های کنترل تا CRD5، با فاصله‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای و بعد از آن بازه با فاصله-

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

که در آن، A ، سطح مقطع جریان، V ، سرعت جریان، y ، عمق جریان، x ، فاصله طولی در جهت جریان، T ، عرض سطح آزاد آب و t ، زمان سپری شده می‌باشد.

معادله اندازه حرکت نیز در جریان غیرماندگار

به صورت زیر می‌باشد:

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} \quad [2]$$

که در آن S_0 شیب کف کانال، S_f شیب خط انرژی، R شعاع هیدرولیکی، g شتاب ثقل و n ضریب زبری مانینگ می‌باشد.

معادلات دیفرانسیل جزئی ارائه شده به عنوان

معادلات پیوستگی و اندازه حرکت جریان‌های غیر-ماندگار متغیر تدریجی، به سادگی قابل حل نبوده و راه-حل تحلیلی مشخصی برای آنها وجود ندارد. بنابراین برای حل آنها از روش‌های عددی استفاده می‌شود (حسینی و ابریشمی ۱۳۷۸).

حل عددی معادلات سنت-ونانت تبدیل معادلات

دیفرانسیل با مشتقات جزئی به معادلات جبری غیرخطی با ادغام متغیرهای مستقل زمان، t و مکان، x می‌باشد. این ادغام به مفهوم ریاضی نبوده، بلکه مشخص کردن وزن عوامل زمانی و مکانی در محاسبه غیرخطی متغیرهای وابسته می‌باشد. برای حل عددی معادلات سنت-ونانت، فرم کلی این معادلات به سلول‌های محاسباتی با مرزهای مجاور که در صفحه $x-t$ (مکان-زمان) قرار دارند اعمال می‌شود (مرکلی ۲۰۰۰).

گزینه‌های بهره‌برداری

ابتدا مدل برای اردیبهشت ماه با دبی ورودی

۱۵/۲۱ مترمکعب بر ثانیه اجرا شد و بعد از آنکه به پایداری هیدرولیکی رسید، جریان ورودی به نیاز خرداد ماه، با دبی ۱۹/۲۳ مترمکعب بر ثانیه افزایش پیدا کرد. افزایش بارشدگی دریچه‌ها در زمان‌های مختلف، اثرات متفاوتی بر تغییرات سطح آب در بالادست دریچه‌ها و

برای محاسبه قدر مطلق خطای دبی دریچه‌های آبیگر از رابطه زیر استفاده شده است:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_{O_i} - Q_{P_i}| \quad [4]$$

که پارامترهای آن در رابطه ۳ معرفی شد.

مقدار $NRMSE$ برای گزینه‌های مختلف از رابطه زیر محاسبه شد:

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{O_i} - Q_{P_i})^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{Q}} \quad [5]$$

که در آن \bar{Q} متوسط دبی واقعی در ۱۰ ساعت تحویل آب به هر آبیگر می‌باشد.

نتایج و بحث

قبل از تغییر دبی ورودی کانال، مدل برای هر دو ماه اردیبهشت و خرداد به صورت جداگانه با گام زمانی یک دقیقه و گام مکانی ۱۵ متر اجرا شد تا میزان بازشدگی سازه‌های کنترل در هر بازه به دست آید.

مقادیر ستون آخر جداول ۲ و ۳، با اجرای مکرر مدل برای ماه مورد نظر بدست آمده است. با این مقادیر بازشدگی دریچه‌ها، هم نیاز پایین دست تامین می‌شود و هم سطح آب بالادست دریچه‌ها در حد F.S.L کانال تنظیم می‌شود.

جدول ۴ مقادیر قدرمطلق خطای دبی، حجم کمبود آب تحویلی و $NRMSE$ برای ۱۰ گزینه بهره‌برداری در حالت افزایش دبی کانال AMC را نشان می‌دهد. با توجه به جدول زیر مشاهده می‌شود که گزینه ۱۰ با قدرمطلق خطای دبی برابر با ۰/۴۹۸ مترمکعب بر ثانیه، حجم کمبود آب ۱۷۶۵۷/۷ مترمکعب و $NRMSE$ برابر با ۸/۲۴ درصد، دارای کمترین مقادیر در هر سه معیار و در نتیجه بهترین گزینه از بین ۱۰ گزینه معرفی شده برای حالت افزایش دبی در تحویل ۱۰ ساعته آب می‌باشد.

های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای باز می‌شوند و آبیگرها نیز ۱۰ دقیقه زودتر از سازه‌های کنترل آن بازه باز می‌شوند و دبی ورودی با فاصله یک ساعته در دو مرحله افزایش می‌یابد.

- گزینه هشتم: همه سازه‌های کنترل به ترتیب با فاصله‌های زمانی ۲۰ دقیقه‌ای بعد از افزایش دبی، باز می‌شوند و آبیگرهای هر بازه ۱۰ دقیقه زودتر از سازه‌های کنترل آن بازه باز می‌شوند.
- گزینه نهم: همه سازه‌های کنترل به ترتیب با فاصله‌های زمانی ۲۰ دقیقه‌ای بعد از افزایش دبی، باز می‌شوند و آبیگرهای هر بازه ۱۰ دقیقه دیرتر از سازه‌های کنترل آن بازه باز می‌شوند و دبی ورودی با فاصله یک ساعته در دو مرحله افزایش می‌یابد.
- گزینه دهم: همه سازه‌های کنترل به ترتیب با فاصله‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای بعد از افزایش دبی، باز می‌شوند و آبیگرهای هر بازه ۵ دقیقه زودتر از سازه‌های کنترل آن بازه باز می‌شوند.

نتایج اجرای ۱۰ گزینه فوق، با گام زمانی ۳ دقیقه استخراج شد.

معیار مقایسه گزینه‌های بهره‌برداری

برای محاسبه حجم کمبود آب در تحویل ۱۰ ساعته آب به آبیگرها بعد از افزایش دبی، از رابطه زیر استفاده شده است:

$$V = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{Q_{O_i} + Q_{O_{i+1}}}{2} - \frac{Q_{P_i} + Q_{P_{i+1}}}{2} \right) \times \Delta t \right] \quad [3]$$

که در آن n تعداد گام‌های زمانی، Q_{O_i} و Q_{P_i} به ترتیب دبی اسمی (دبی طرح) و دبی واقعی (دبی تحویلی) در گام زمانی t_i ، $Q_{O_{i+1}}$ و $Q_{P_{i+1}}$ به ترتیب دبی اسمی (دبی تحویلی) و دبی واقعی (دبی تحویلی) در گام زمانی t_{i+1} و Δt گام زمانی است که برابر ۳ دقیقه می‌باشد.

جدول ۲- مشخصات دریاچه‌های کنترل با اجرای مدل برای اردیبهشت.

شماره	دبی یک	تعداد	دبی کل	میزان	شماره	دبی یک	تعداد	دبی کل	میزان
بازه	دریاچه	دریاچه	($m^3 s^{-1}$)	بازشدگی	بازه	دریاچه	دریاچه	($m^3 s^{-1}$)	بازشدگی
نام بازه	دریاچه	دریاچه	(m)	بازشدگی	نام بازه	دریاچه	دریاچه	(m)	بازشدگی
۱	SS	۳	۶/۰۷۲	۱۵/۲۱۶	۱	SS	۳	۶/۰۷۲	۱۵/۲۱۶
۲	CRD1	۳	۴/۹۴۵	۱۴/۸۳۵	۲	CRD1	۳	۴/۹۴۵	۱۴/۸۳۵
۳	CRD2	۳	۴/۸۹۹	۱۴/۶۹۷	۳	CRD2	۳	۴/۸۹۹	۱۴/۶۹۷
۴	CRD3	۳	۴/۸۳۷	۱۴/۵۱۱	۴	CRD3	۳	۴/۸۳۷	۱۴/۵۱۱
۵	CRD4	۳	۴/۷۸۲	۱۴/۳۴۶	۵	CRD4	۳	۴/۷۸۲	۱۴/۳۴۶
۶	CRD5	۳	۴/۳۶۷	۱۳/۱۰۱	۶	CRD5	۳	۴/۳۶۷	۱۳/۱۰۱
۷	CRD6	۳	۳/۹۶۲	۱۱/۸۸۶	۷	CRD6	۳	۳/۹۶۲	۱۱/۸۸۶
۸	CRD7	۳	۱/۹۸۹	۵/۹۶۷	۸	CRD7	۳	۱/۹۸۹	۵/۹۶۷
۹	CRD8	۳	۱/۸۹۳	۵/۶۷۹	۹	CRD8	۳	۱/۸۹۳	۵/۶۷۹
۱۰	CRD9	۳	۱/۵۰۳	۴/۵۰۹	۱۰	CRD9	۳	۱/۵۰۳	۴/۵۰۹
۱۱	CRD10	۳	۱/۲۸۵	۳/۸۵۵	۱۱	CRD10	۳	۱/۲۸۵	۳/۸۵۵

جدول ۴- مقایسه گزینه‌های بهره‌برداری.

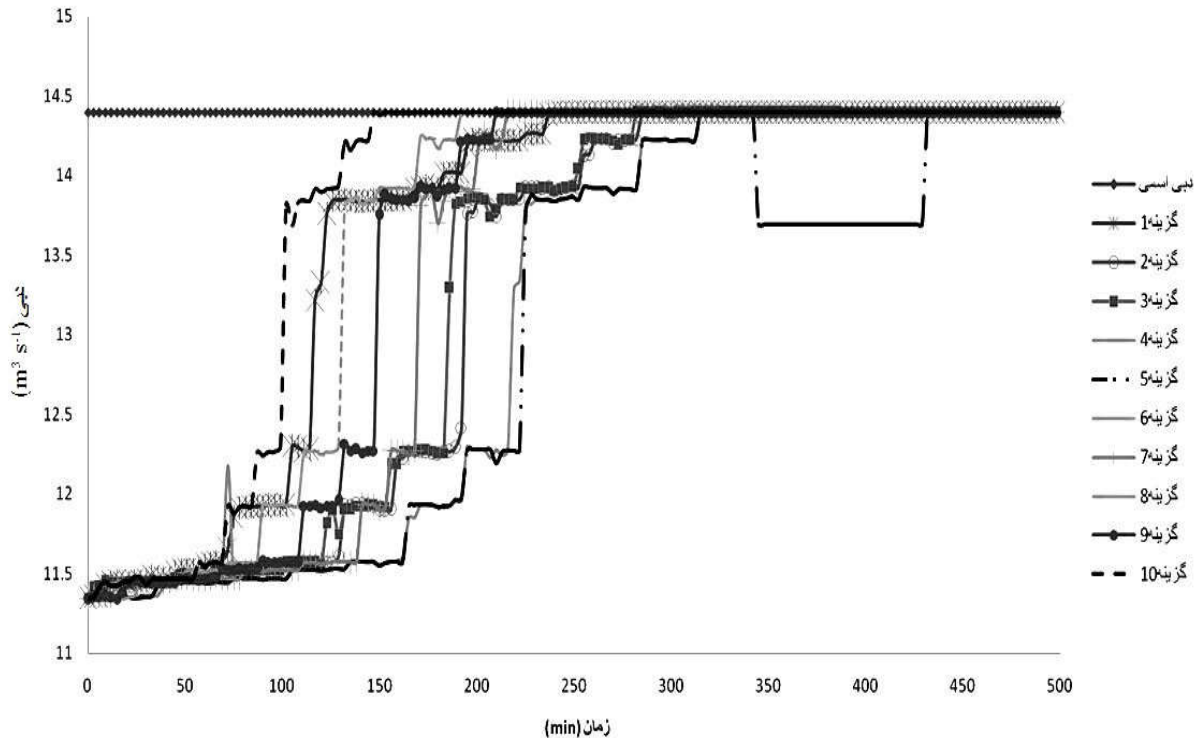
شماره	قدرمطلق خطای دبی	حجم کمبود	شماره
گزینه	($m^3 s^{-1}$)	آب (m^3)	گزینه
		(%)	
۱	۰/۶۱۵	۲۱۸۷۴	۱
۲	۰/۹۴۱	۳۳۶۱۴/۷	۲
۳	۰/۹۱۲	۳۲۵۱۴/۸	۳
۴	۱/۰۸	۳۸۷۱۵/۶	۴
۵	۱/۱۹۸	۴۲۸۶۳	۵
۶	۰/۸۳۲	۲۹۵۷۵/۷	۶
۷	۰/۸۳۲	۲۹۶۱۵/۱	۷
۸	۰/۶۴۱	۲۲۷۸۳/۴	۸
۹	۰/۷۳۴	۲۶۱۴۹/۸	۹
۱۰	۰/۴۹۸	۱۷۶۵۷/۷	۱۰

نمودار دبی اسمی و هر یک از نمودارهای گزینه‌های مختلف، حجم کمبود آب تحویلی در مدت ۱۰ ساعت را در هر گزینه نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می-

در شکل ۲، نمودار تغییرات دبی کل آبیگرها در مقابل زمان برای همه گزینه‌های بهره‌برداری، در تحویل ۱۰ ساعته آب رسم شده است. مساحت ناحیه بین

تحویلی مربوط به گزینه پنجم می‌باشد که پایین‌تر از همه منحنی‌ها قرار گرفته است.

شود، حجم کمبود آب تحویلی در گزینه دهم کمتر از بقیه گزینه‌ها می‌باشد و بیشترین حجم کمبود آب

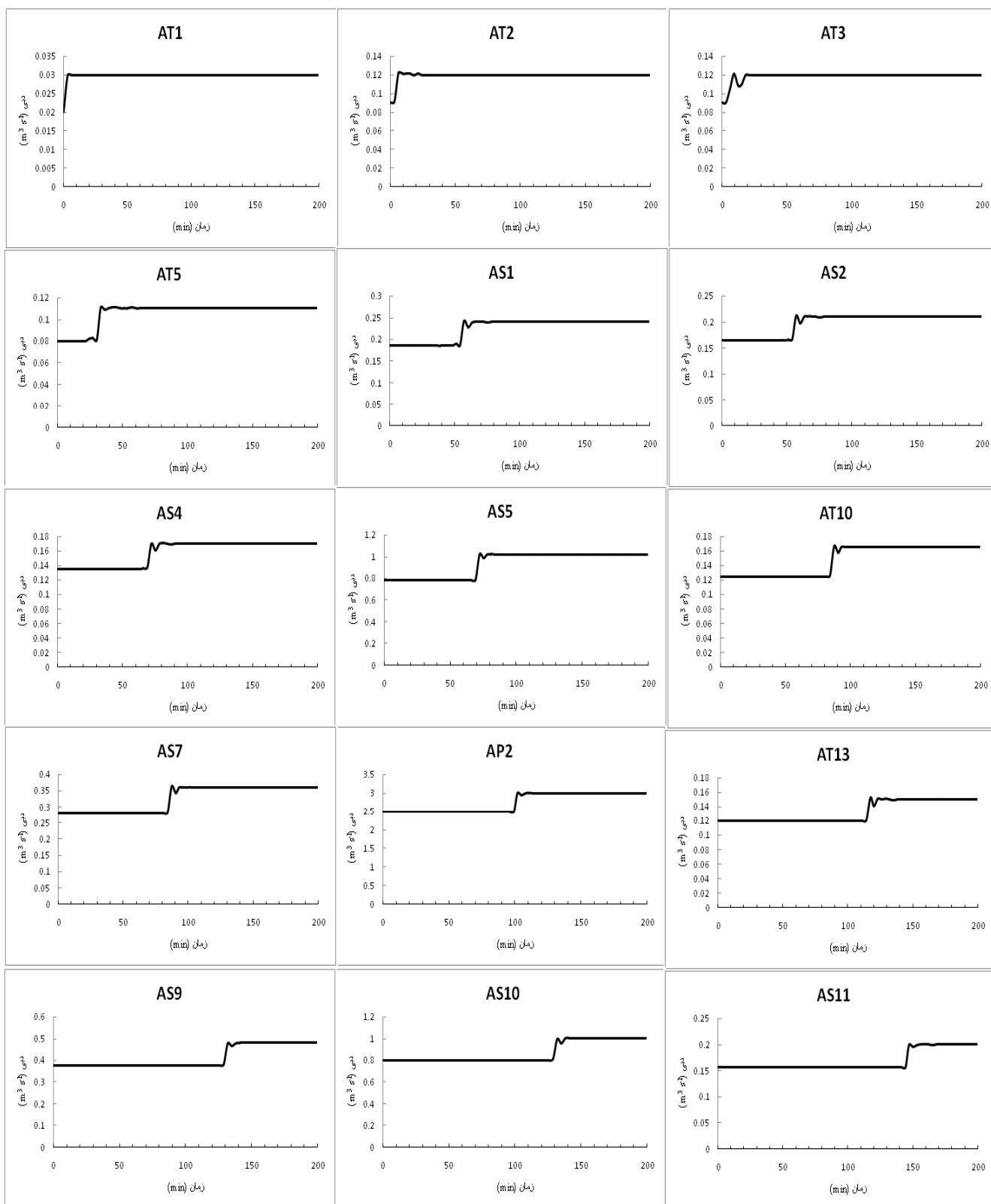


شکل ۲- تغییرات دبی کل آبگیرها در مقابل زمان برای همه گزینه‌های بهره‌برداری.

طول می‌کشد تا این اغتشاش از محل دریاچه‌ها محو شود، برای تمام گزینه‌ها استخراج شده است. زمان رسیدن اغتشاش به محل سازه‌های کنترل برای گزینه دهم، در جدول ۵ نشان داده شده است. این زمان‌ها از لحظه افزایش دبی محاسبه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، بعد از افزایش دبی، موج ایجاد شده در مدتی حدود ۱۴۷ دقیقه (۲ ساعت و ۲۷ دقیقه) به آخرین سازه کنترل، که ۲۴/۴۸۲ کیلومتر از ابتدای کانال فاصله دارد، رسیده است. اما اغتشاش ایجاد شده ناشی از آن در محل هر سازه کنترل، مدت زمان نسبتاً زیادی برای محو شدن نیاز دارد که این مدت، با حرکت به سمت پایین‌دست کانال، افزایش می‌یابد.

نمودارهای تغییرات دبی در مقابل زمان برای هر یک از آبگیرهای کانال AMC برای گزینه دهم که بهترین گزینه انتخابی می‌باشد در شکل ۳ آورده شده است. در این شکل‌ها محور افقی، زمان بر حسب دقیقه و محور عمودی، دبی عبوری از هر یک از آبگیرهای کانال بر حسب مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. با توجه به اینکه هر یک از نمودارها به ترتیب از بالادست به پایین دست کانال مرتب شده‌اند، مشاهده می‌شود که موج تغییر دبی با گذشت زمان به سمت پایین دست در حال حرکت است.

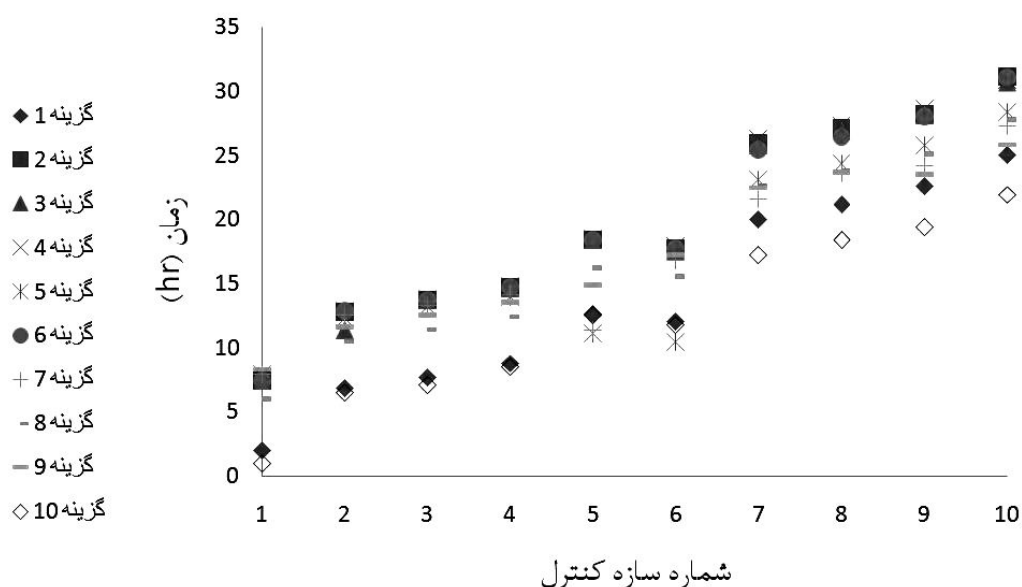
بر اساس خروجی‌های مدل، زمان رسیدن اغتشاش ناشی از افزایش دبی ورودی کانال به هر یک از دریاچه‌های آبگیر و سازه‌های کنترل و مدت زمانی که



شکل ۳- نمودارهای تغییرات دبی نسبت به زمان در آبیگرهای کانال AMC.

جدول ۵- زمان رسیدن اغتشاش به محل سازه‌های کنترل و مدت اغتشاش در محل آنها برای گزینه دهم.

CRD	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
زمان رسیدن اغتشاش (min)	۶	۱۲	۲۱	۳۶	۵۴	۶۳	۹۰	۱۱۱	۱۲۳	۱۴۷
مدت اغتشاش (hr)	۰/۹۵	۶/۵	۷/۰۵	۸/۵	۱۲/۵	۱۱/۷۵	۱۷/۲۵	۱۸/۴	۱۹/۴	۲۱/۹۵



شکل ۴- مدت اغتشاش در محل هر یک از سازه‌های کنترل برای گزینه‌های بهره‌برداری.

کمبود آب ۱۷۶۵۷/۷ مترمکعب و $NRMSE$ برابر با ۸/۲۴ درصد، دارای کمترین مقادیر در هر سه معیار می‌باشد. با توجه به ستون‌های آخر جداول ۲ و ۳، بیشترین درصد تغییر بازشدگی سازه کنترل مربوط به CDRهای ۴ و ۵ می‌باشد. زمان رسیدن اغتشاش ناشی از افزایش دبی به سازه کنترل انتهای کانال ۱۴۷ دقیقه و بیشترین مدت محو شدن اغتشاش نیز مربوط به همین سازه می‌باشد.

شکل ۴ مدت اغتشاش در محل هر یک از سازه‌ها را به صورت نمودار برای همه گزینه‌ها نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

ابتدا مدل برای اردیبهشت و خرداد ماه بصورت جداگانه اجرا گردیده و میزان بازشدگی دریاچه سازه‌های کنترل و آبیگرها به دست آمد. با توجه به نتایج اجرای ۱۰ گزینه بهره‌برداری در نظر گرفته شده برای گذر از اردیبهشت به خرداد، گزینه ۱۰ با قدرمطلق خطای دبی برابر با ۰/۴۹۸ مترمکعب بر ثانیه، حجم

منابع مورد استفاده

- بی‌نام، ۱۳۸۷. مطالعات مرحله دوم شبکه آبیاری و زهکشی دشت تبریز (دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری). مهندسين مشاور یکم.
- پاسبان عیسی‌لو ن، ۱۳۸۵. کاربرد مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی CanalMan در بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری (مطالعه موردی کانال M₂R/D₁L شبکه آبیاری مغان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- حسینی سم و ابریشمی ج، ۱۳۷۸. هیدرولیک کانال‌های باز. چاپ هفتم. انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا (ع).
- شرعی آ و موسوی جهرمی س، ۱۳۹۰. کاربرد مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی Canalman در بهره‌برداری از شبکه آبیاری طرح توسعه نیشکر امیرکبیر. اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق آبی. ۱۹ و ۲۰ بهمن ماه. مرکز همایش‌های بین‌المللی صدا و سیما، تهران.
- فرسادی زاده د، حسن‌زاده ی و منعم م، ۱۳۸۵. شبیه‌سازی عملکرد دریاچه‌های کنترل کانال‌ها با استفاده از مدل هیدرودینامیک. مجله دانشکده فنی دانشگاه تبریز، جلد ۳۲، شماره ۳ (مهندسی عمران)، صفحه‌های ۲۹ تا ۴۰.
- قدوسی ح و ملکشی ف، ۱۳۹۰. معرفی مدل هیدرودینامیک CanalMan به منظور شبیه‌سازی، ارزیابی و بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران. ۲۸ و ۲۹ اردیبهشت، شرکت آب منطقه‌ای زنجان.
- کسب دوزش، منعم م و کوچک زاده ص، ۱۳۷۷. کاربرد مدل هیدرودینامیک ICSS-POM در تعیین مناسب‌ترین گزینه توزیع آب در شبکه آبیاری. صفحه‌های ۱۳ تا ۲۱. نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۵ و ۶ اسفند، تهران.
- Ghobadian R, Mohamadi S and Golzari S, 2014. Numerical analysis of slid gate and neyrpic module intakes outflows in unsteady flow conditions. *Ain Shams Engineering Journal* 5(3):657-666.
- Kumar P, Mishra A, Roghuwanshi NS and Singh R, 2001. Application of unsteady flow hydraulic-model to a large and complex irrigation system. *Agricultural Water Management* 54: 49-66.
- Lozano D, Arranja C, Rijo M and Mateos L, 2010. Simulation of automatic control of an irrigation canal. *Agricultural Water Management* 97: 91-100.
- Merkly GP, 2000. CanalMan, A hydraulic simulation model for unsteady flow in branching canal network users manual, Utah State University.
- Mishra A, Anand A, Sing R and Raghuwanshi N, 2001. Hydraulic modeling of Kangsabati main canal for performance assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE 127: 27-34.
- Monem MJ and Manz DH, 1994. Application of simulation techniques for improving the performance of irrigation conveyance systems. *Iranian Journal of Water Resources Engineering* 2: 1-22.
- Qiao Q and Yang, K, 2010. Modeling unsteady open-channel flow for controller design. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 136: 383-391.
- Santhi C and Pundarikanthan NV, 2000. A new planning model for canal scheduling of rotational irrigation. *Agricultural Water Management* 43: 327-343.