

کمی کردن عملکرد بهره‌برداری کانال‌های آبیاری در شرایط تغییر نیاز با استفاده از مدل هیدرودینامیک و تحلیل جریان غیرماندگار

محمدجواد منعم^۱، حسام قدوسی^۲ و علیرضا عمادی^۳

چکیده

به علت افزایش روز افزون تقاضای آب آبیاری در جهان بخصوص در مناطقی با منابع آب محدود، بهره‌وری آب آبیاری باید افزایش یابد. تلاش‌هایی جهت بهبود سیستم‌های هیدرولیکی پیچیده از نظر فیزیکی و سازه‌ای انجام شده است، ولی فقدان منابع مالی و زیربنایی مانع بزرگی در بهبود و توسعه فیزیکی و سازه‌ای شبکه‌ها، به خصوص در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. بنابراین راهکار عملی ارتقاء بهره‌وری، اداره کارآمد و مدیریت مناسب سیستم می‌باشد. یکی از مهم‌ترین عواملی که در شبکه‌های آبیاری سالانه باعث تلفات قابل توجه آب می‌شود، وجود جریان‌های غیرماندگار و مدیریت نادرست اینگونه جریان‌ها در شبکه‌های آبیاری می‌باشد. از مهم‌ترین عوامل ایجاد این جریان‌ها، اجرای برنامه‌های تحویل و توزیع آب در سطح شبکه و انجام عملیات بهره‌برداری برای پاسخگویی به تغییرات نیاز می‌باشد. در این تحقیق جریان‌های غیرماندگار ایجاد شده در کانال‌های آبیاری در اثر تغییرات نیاز آبیاری با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS در کانال E1R1 شبکه آبیاری دز شبیه‌سازی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است تا بر مبنای آن بتوان راندمان یا عملکرد بهره‌برداری را بصورت کمی بیان نمود. شاخص‌های راندمان و کفایت تحویل آب به آبیگرهای این کانال در دو حالت اجرا و عدم اجرای عملیات بهره‌برداری و تحویل ۶ ساعته آب در هشت گزینه مختلف افزایش و کاهش دبی در سراب کانال بدست آمده است. نتایج نشان داد که با استفاده از مدل هیدرودینامیک و تحلیل جریان غیرماندگار می‌توان راندمان یا عملکرد بهره‌برداری را بصورت کمی تعیین نمود و سپس با اجرای عملیات بهره‌برداری مناسب، عملکرد شبکه آبیاری را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: جریان‌های غیرماندگار، بهبود عملکرد، مدل هیدرودینامیک ICSS، شبکه آبیاری دز

۱. دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مازندران

مقدمه

محدودیت منابع آب و پایین بودن عملکرد اغلب شبکه‌های آبیاری، ضرورت توجه بیش از پیش به بازنگری و بهبود عملکرد شبکه‌ها و بهره‌برداری بهینه از منابع موجود را ایجاب می‌کند. عملکرد روش‌های بهره‌برداری در شبکه انتقال و توزیع آب تابع رفتار هیدرولیکی جریان در شبکه می‌باشد. هیدرولیک جریان در یک شبکه متأثر از عواملی مانند نوع سیستم کنترل، ساختمان فیزیکی شبکه، نوع روش بهره‌برداری و بالاخره سیاست‌های مدیریتی تخصیص و تحویل آب می‌باشد. مطالعه اثر عوامل فوق بر رفتار هیدرولیکی جریان و ارزیابی دقیق عملکرد روش‌های مختلف بهره‌برداری با استفاده از مدل‌های ریاضی توانمند میسر خواهد بود. با توجه به رفتار غیرماندگار جریان در اثر اجرای عملیات بهره‌برداری (برای پاسخگویی به تغییرات نیاز و مدیریت نامناسب آن)، تحویل آب به آبیگرها معمولاً با مازاد یا کمبود تحویل توأم بوده و موجب کاهش راندمان یا عملکرد بهره‌برداری می‌گردد. هدف اساسی این تحقیق کمی نمودن عملکرد بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری در شرایط تغییرات نیاز و بهبود آن با اعمال مدیریت مناسب می‌باشد.

در زمینه کمی نمودن عملکرد شبکه‌های آبیاری تا کنون تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. بعنوان نمونه با استفاده از مدل هیدرودینامیک MODIS عملکرد کانال اصلی کشتیا^۱ در بنگلادش برای سه نوع برنامه تحویل آب مورد ارزیابی قرار گرفت. در مطالعه فوق سه نوع روش تحویل گردشی، پیوسته با تغییرات جزئی و پیوسته با تغییرات کلی شبیه‌سازی شد و چگونگی توزیع و تحویل آب به آبیگرها تحت شرایط مذکور بررسی و ارزیابی گردید و مناسب‌ترین روش تحویل آب متناسب با سیستم کنترل مربوطه توصیه شد (منعم، ۱۳۷۱). همچنین با استفاده از مدل هیدرودینامیکی ICSS، عملکرد

روش‌های بهره‌برداری شبکه انتقال و توزیع آب قوری‌چای واقع در استان آذربایجان شرقی ارزیابی شد. در این تحقیق از بین سه روش بهره‌برداری جریان مداوم با دبی ثابت، جریان مداوم با دبی متغیر و جریان متناوب روش توزیع جریان مداوم با دبی متغیر بعنوان بهترین گزینه بهره‌برداری تعیین گردید (کسب‌دوز و همکاران، ۱۳۷۷). در سال ۲۰۰۲ نیز با استفاده از مدل هیدرودینامیک توسعه داده شده، سیستم اتوماسیون حوزه راینلند^۲ در هلند برای چهار ایستگاه پمپاژ با ظرفیت کل ۱۵۰ مترمکعب بر ثانیه ارائه شد. هدف از این مطالعه به جای افزایش ظرفیت پمپاژ، کنترل دقیق سطح آب در کانال‌ها بوسیله اتوماسیون بهره‌برداری از ایستگاه‌های پمپاژ بوده است (شورمانز، ۲۰۰۲). همچنین با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیک در کانال گاورنمنت^۳ در شرق آمریکا و استفاده مؤثر از آن مشخص گردید که با انجام این پروژه می‌توان از تلفات ۲۸۵۰۰ ایکر-فوت آب جلوگیری کرد و آنرا جهت احیاء زیستگاه آبریان به رودخانه کلرادو منحرف نمود (خلسا و همکاران، ۲۰۰۲). با وجود تحقیقات انجام گرفته در موارد اشاره شده در هیچکدام از آنها دستورالعمل بهره‌برداری جهت بهبود عملکرد ارائه نشده است. لذا در این تحقیق در نظر است با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS به ارزیابی عملکرد بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری در شرایط تغییرات نیاز پایین دست پرداخته شود و شیوه مناسب عملیات بهره‌برداری توصیه گردد.

مواد و روش‌ها

معرفی کانال EIR1 شبکه آبیاری دز

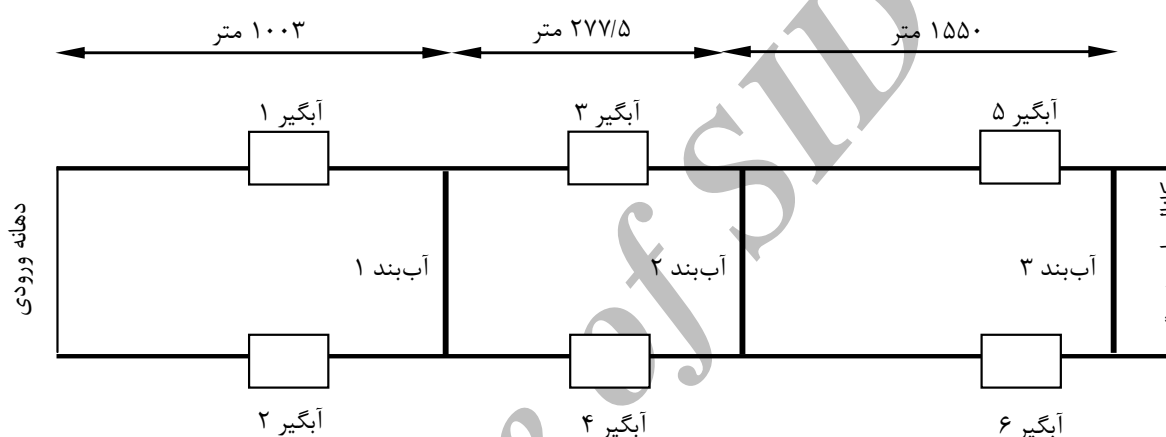
کانال EIR1 واقع در شبکه آبیاری دز یک کانال بتنی بطول ۲۸۳۰/۵ متر با مقطع دوزنقه‌ای و ظرفیت حداکثر ۲/۴۷ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. شکل ۱ نمای کلی کانال را نشان می‌دهد. جدول ۱

2. Rinland
3. Government

1. Koshtia

طول این مسیر متفاوت و حداقل ۰/۰۰۰۱۲ و حداکثر ۰/۰۰۱۲ است. عرض کف از ابتدای کانال تا آب بند ۱ معادل ۱/۵ متر و از این نقطه تا محل آب بند ۳ معادل ۱ متر است. شیب جانبی کانال در تمامی طول مسیر (1V:1.5H) طراحی و اجراء شده است.

نیز مشخصات فیزیکی کانال و سازه‌های قابل تنظیم در کانال را نشان می‌دهد (محسنی موحد، ۱۳۸۱ الف). این کانال مجهز به شش آبگیر ثقلی با دریچه‌های کشویی مستطیلی و دایره‌ای است که آب کشاورزی اراضی پایین دست را تأمین می‌نماید. تنظیم تراز سطح آب در کانال برای هر زوج آبگیر توسط یک سازه تنظیم انجام می‌شود. شیب کانال در



شکل ۱: شمای کلی کانال EIR1 و سازه‌های مربوط.

افزایش یابد و در سناریوهای کاهش دبی ورودی به کانال در حالت اول $1/5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ بوده که باید تا $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ در حالت دوم کاهش یابد. با توجه به جدول ۲ جزئیات ۸ سناریوی در نظر گرفته شده جهت شبیه‌سازی را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- سناریوهای ۱ و ۲ بترتیب افزایش و کاهش نیاز کانال پایین دست با توجه به بسته بودن کلیه آبگیرها می‌باشند.

۲- سناریوهای ۳، ۵ و ۷ افزایش نیاز آبگیرهای ۵ و ۶ در شرایط آبیاری یا عدم آبیاری آبگیرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ می‌باشند.

تشریح گزینه‌های بهره‌برداری

به منظور بررسی رفتار جریان در شرایط تغییرات نیاز و تعیین احجام تلفات و شاخص‌های بهره‌برداری در دو حالت اجرا و عدم اجرای عملیات بهره‌برداری سناریوهای مختلفی از تغییرات نیاز کانال پایین دست و آبگیرهای کانال EIR1 در نظر گرفته شد و با استفاده از مدل ریاضی هیدرودینامیکی ICSS شبیه‌سازی شدند. سناریوهای بررسی شده بطور کلی افزایش و یا کاهش نیاز پایین دست به میزان ۲۰ درصد دبی ورودی به کانال می‌باشند. در سناریوهای افزایشی دبی ورودی به کانال در حالت اول $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ بوده که باید تا $1/2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ در حالت دوم

بدون تاثیر تنظیم سازه‌ها تعیین نمود. سپس، در حالت دوم، متناسب با نتایج بدست آمده در حالت اول یعنی بر اساس زمان رسیدن امواج جریان غیرماندگار به سازه‌ها، میزان تنظیم آب‌بندها و آبیگرها بمنظور تحویل دبی مورد نیاز تعیین شد و این‌بار افزایش یا کاهش جریان ورودی به کانال همراه با عملیات تنظیم سازه‌ها شبیه‌سازی شد (گزینه‌های با انجام عملیات بهره‌برداری). بنابراین در مجموع ۱۴ گزینه مختلف از سناریوهای در نظر گرفته شده شبیه‌سازی گردید که به منظور خلاصه‌سازی و سهولت تشریح نتایج، این گزینه‌ها در جدول ۳ کد گذاری شده‌اند.

۳- سناریوهای ۴، ۶ و ۸ کاهش نیاز آبیگرهای ۵ و ۶ در شرایط آبیگری یا عدم آبیگری آبیگرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ می‌باشند.

شبیه‌سازی گزینه‌های بهره‌برداری

پس از تعیین گزینه‌های مختلف بهره‌برداری برای تعیین مقادیر شاخص‌های بهره‌برداری و زمانبندی اجرای عملیات بهره‌برداری، سناریوهای ۳ تا ۸ در دو حالت مختلف جریان شبیه‌سازی شدند (در سناریوهای ۱ و ۲ کلیه آبیگرها بسته می‌باشند). حالت اول افزایش یا کاهش جریان ورودی به کانال بدون آنکه هیچگونه عملیات تنظیم سازه‌های آبیگر و آب‌بند اجرا شود شبیه‌سازی شد (گزینه‌های بدون انجام عملیات بهره‌برداری) تا بتوان زمان حرکت جریان غیرماندگار در طول کانال را

جدول ۱: مشخصات کانال EIR1 از شبکه آبیاری دز.

بازه	کیلومتر	طول بازه (متر)	رقوم بالا دست (متر)	رقوم پایین دست (متر)	شیب طولی	عرض کف (متر)	سازه بالا دست	سازه پایین دست
۱	۰-۱	۱۰۰۰	۱۵۰/۴۷	۱۵۰/۳۲	۰/۰۰۰۱۵	۱/۵	ورودی با کنترل دبی	آبیگر روزنه‌ای ۱
۲	۱-۱/۰۰۱	۱	۱۵۰/۳۲	۱۵۰/۳۲	۰/۰۰۰۱	۱/۵	-	آبیگر روزنه‌ای ۲
۳	۱/۰۰۱-۱/۰۰۳	۲	۱۵۰/۳۲	۱۵۰/۳۲	۰/۰۰۰۱	۱/۵	-	سازه آب‌بند ۱
۴	۱/۰۰۳-۱/۰۰۷۵	۴/۵	۱۴۹/۸۲	۱۴۹/۸۱	۰/۰۰۰۲۲	۱	-	ادامه کانال
۵	۱/۰۰۷۵-۱/۲۷۷۵	۲۷۰	۱۵۰/۳۲	۱۵۰/۰۳	۰/۰۰۱۱۷	۱	-	آبیگر روزنه‌ای ۳
۶	۱/۲۷۷۵-۱/۲۷۸۵	۱	۱۵۰/۰۳	۱۵۰/۰۲	۰/۰۰۱	۱	-	آبیگر روزنه‌ای ۴
۷	۱/۲۷۸۵-۱/۲۸۰۵	۲	۱۵۰/۰۲	۱۵۰/۰۰	۰/۰۰۱	۱	-	سازه آب‌بند ۲
۸	۱/۲۸۰۵-۱/۲۸۳۵	۳/۵	۱۴۹/۵	۱۴۹/۴۹	۰/۰۰۰۲۸	۱	-	ادامه کانال
۹	۱/۲۸۳۵-۲/۰۱۳	۷۲۹/۵	۱۴۹/۷	۱۴۸/۹۰	۰/۰۰۱۰۹	۱	-	ادامه کانال
۱۰	۲/۰۱۳-۲/۸۲۷	۸۱۴	۱۴۸/۵۷	۱۴۸/۴۷	۰/۰۰۱۰۲	۱	-	آبیگر روزنه‌ای ۵
۱۱	۲/۸۲۷-۲/۸۲۸	۱	۱۴۸/۴۷	۱۴۸/۴۷	۰/۰۰۰۲	۱	-	آبیگر روزنه‌ای ۶
۱۲	۲/۸۲۸-۲/۸۳۰	۲	۱۴۸/۴۷	۱۴۸/۴۷	۰/۰۰۰۵	۱	-	سازه آب‌بند ۳

اول $1/5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ بوده که باید تا $1/2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ در حالت دوم کاهش یابد. با توجه به جدول ۲ جزئیات ۸ سناریوی در نظر گرفته شده جهت شبیه‌سازی را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

سناریوهای بررسی شده بطور کلی افزایش و یا کاهش نیاز پایین دست به میزان ۲۰ درصد دبی ورودی به کانال می‌باشند. در سناریوهای افزایشی دبی ورودی به کانال در حالت اول $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ بوده که باید تا $1/2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ در حالت دوم افزایش یابد و در سناریوهای کاهش دبی ورودی به کانال در حالت

بدون آنکه هیچگونه عملیات تنظیم سازه‌های آبگیر بدون آب‌بند اجرا شود شبیه‌سازی شد (گزینه‌های بدون انجام عملیات بهره‌برداری) تا بتوان زمان حرکت جریان غیرماندگار در طول کانال را بدون تاثیر تنظیم سازه‌ها تعیین نمود. سپس، در حالت دوم، متناسب با نتایج بدست آمده در حالت اول یعنی بر اساس زمان رسیدن امواج جریان غیرماندگار به سازه‌ها، میزان تنظیم آب‌بندها و آبگیرها بمنظور تحویل دبی مورد نیاز تعیین شد و این‌بار افزایش یا کاهش جریان ورودی به کانال همراه با عملیات تنظیم سازه‌ها شبیه‌سازی شد (گزینه‌های با انجام عملیات بهره‌برداری). بنابراین در مجموع ۱۴ گزینه مختلف از سناریوهای در نظر گرفته شده شبیه‌سازی گردید که به منظور خلاصه‌سازی و سهولت تشریح نتایج، این گزینه‌ها در جدول ۳ کد گذاری شده‌اند.

۱- سناریوهای ۱ و ۲ بترتیب افزایش و کاهش نیاز کانال پایین دست با توجه به بسته بودن کلیه آبگیرها می‌باشند.

۲- سناریوهای ۳، ۵ و ۷ افزایش نیاز آبگیرهای ۵ و ۶ در شرایط آبگیری یا عدم آبگیری آبگیرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ می‌باشند.

۳- سناریوهای ۴، ۶ و ۸ کاهش نیاز آبگیرهای ۵ و ۶ در شرایط آبگیری یا عدم آبگیری آبگیرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ می‌باشند.

شبیه‌سازی گزینه‌های بهره‌برداری

پس از تعیین گزینه‌های مختلف بهره‌برداری برای تعیین مقادیر شاخص‌های بهره‌برداری و زمانبندی اجرای عملیات بهره‌برداری، سناریوهای ۳ تا ۸ در دو حالت مختلف جریان شبیه‌سازی شدند (در سناریوهای ۱ و ۲ کلیه آبگیرها بسته می‌باشند). حالت اول افزایش یا کاهش جریان ورودی به کانال

جدول ۲: مشخصات سناریوهای شبیه‌سازی.

نیاز حالت ثانویه (m^3s^{-1})							نیاز حالت اولیه (m^3s^{-1})									
آبگیر ۱	آبگیر ۲	آبگیر ۳	آبگیر ۴	آبگیر ۵	آبگیر ۶	کانال پایین دست	سرآب کانال	آبگیر ۱	آبگیر ۲	آبگیر ۳	آبگیر ۴	آبگیر ۵	آبگیر ۶	کانال پایین دست	سرآب کانال	سناریو
-	-	-	-	-	-	۱/۲	۱/۲	-	-	-	-	-	-	۱	۱	۱
-	-	-	-	-	-	۱/۲	۱/۲	-	-	-	-	-	-	۱/۵	۱/۵	۲
-	-	-	-	۰/۲	۰/۲	۰/۸	۱/۲	-	-	-	-	۰/۱	۰/۱	۰/۸	۱	۳
-	-	-	-	۰/۰۵	۰/۰۵	۱/۱	۱/۲	-	-	-	-	۰/۲	۰/۲	۱/۱	۱/۵	۴
-	-	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۶	۱/۲	-	-	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۶	۱	۵
-	-	۰/۲	۰/۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۷	۱/۲	-	-	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۷	۱/۵	۶
۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۱/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۴	۱	۷
۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۷	۱/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۷	۱/۵	۸

جدول ۳: کدگذاری گزینه‌های مختلف شبیه‌سازی جریان.

کاهش دبی						افزایش دبی							
سناریوی ۸	سناریوی ۶	سناریوی ۴	سناریوی ۲	سناریوی ۷	سناریوی ۵	سناریوی ۳	سناریوی ۱	سناریوی ۳	سناریوی ۵	سناریوی ۷	سناریوی ۱		
O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O**	N*		
۱۴	۱۳	۱۰	۹	۶	۵	۲	۱۲	۱۱	۸	۷	۴	۳	۱

*: بدون انجام عملیات بهره‌برداری = Non operation

** : با انجام عملیات بهره‌برداری = Operation

ماندگار و غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری با انواع شکل مقطع کانال همراه با طیف قابل توجهی از سازه‌ها توأم با جریان‌ات گسترده ورودی و خروجی می‌باشد. شبیه‌سازی جریان ماندگار در این مدل با استفاده از معادلات جریان متغیر تدریجی ارائه شده توسط هندرسون انجام شده است (هندرسون، ۱۹۶۶). همچنین شبیه‌سازی جریان غیرماندگار با حل معادلات غیرماندگار متغیر تدریجی مجاری روباز معروف به معادلات سنت ونانت صورت گرفته است (استرلکوف، ۱۹۶۹). این معادلات با استفاده از روش تفاوت‌های محدود براساس سیستم چهار نقطه‌ای وزنی ارائه شده توسط (آمین، ۱۹۶۸) که از دقت، همگرایی، پایداری و صحت بالایی برخوردار است حل شده‌اند (منعم، ۱۳۷۵).

لازم به ذکر است که با توجه به نتایج تحقیقات قبلی از دقت مدل ICSS اطمینان حاصل گردیده است. در این مورد می‌توان به مقایسه نتایج کمیته کاری مدل‌های ریاضی، جامعه مهندسين عمران کانادا در ارزیابی مدل‌های ریاضی هیدرولیکی با نتایج آزمایشگاهی (ترسک، ۱۹۸۰) و نتایج واسنجی کامل مدل (فرسادی‌زاده، ۱۳۸۵) بمنظور کاربرد مدل در سیستم بهره‌برداری خودکار کانال اشاره نمود. به منظور آزمون مدل با شرایط واقعی و تعیین حدود اطمینان نسبت به کاربرد مدل در مسائل عملی، نتایج شبیه‌سازی مدل با شرایط اندازه‌گیری شده در کانال درجه سه L-72 در شبکه آبیاری قزوین مقایسه گردید (منعم، ۱۳۷۸). این کانال دارای مقطع دوزنقه با عرض کف ۰/۶ متر و شیب جانبی ۱/۵ افقی به ۱ عمودی، ظرفیت ۶۵۰ لیتر بر ثانیه در ابتدا، و طول ۴۸۰۰ متر است که دو هیدروگراف تدریجی و ناگهانی در آن مورد آزمون قرار گرفته است. خطای برآورد عمق جریان در محدوده ۱/۱۸ تا ۲/۶ درصد و خطای برآورد دبی برای هیدروگراف تدریجی که شرایط غالب در کانال‌های آبیاری است در محدوده ۰/۷ تا ۱/۴ درصد و برای هیدروگراف ناگهانی در محدوده ۱/۸ تا ۶/۶ درصد بوده است.

شاخص‌های ارزیابی عملکرد

در این تحقیق، به منظور ارزیابی هر یک از گزینه‌ها، از شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل معرفی شده توسط مولدن و گیتس طبق روابط ۱ و ۲ استفاده شده است (مولدن و گیتس، ۱۹۹۰).

کفایت تحویل (PA): شاخصی است که تناسب مقدار آب واقعی تحویلی به آب مورد نیاز را منعکس می‌کند.

(۱)

$$PA = \frac{1}{T} \sum \left[\frac{1}{R} \sum (Pa) \right]$$

$$Pa = \frac{Qd}{Qr} \quad \text{اگر } Qd \leq Qr$$

$$Pa = 1 \quad \text{در غیر اینصورت}$$

راندمان تحویل (PF): شاخصی است که مازاد آب تحویلی نسبت به آب مورد نیاز را منعکس می‌نماید.

(۲)

$$PF = \frac{1}{T} \sum \left[\frac{1}{R} \sum (Pf) \right]$$

$$Pf = \frac{Qr}{Qd} \leq 1 \quad \text{اگر } Qr \leq Qd$$

$$Pf = 1 \quad \text{در غیر اینصورت}$$

در این روابط Qd و Qr به ترتیب معرف مقدار آب مورد نیاز و مقدار آب منشعب شده در عمل (به طور واقعی) برای انشعاب X در دوره زمانی t بوده و نمادهای $\frac{1}{R} \sum$ و $\frac{1}{T} \sum$ به ترتیب بیان کننده متوسط زمانی و مکانی می‌باشند.

معرفی مدل ICSS

در این تحقیق بمنظور شبیه‌سازی جریان‌ات غیرماندگار در گزینه‌های مختلف از مدل هیدرودینامیک ICSS استفاده شده است. مدل هیدرودینامیکی ICSS در سال ۱۹۸۵ توسط مانز تهیه شد. این مدل قادر به شبیه‌سازی جریان‌ات

مراحل فوق بمنظور کاهش مازاد یا کمبود دبی تحویلی به آبگیرهای مختلف در کلیه گزینه‌های تعیین شده بکار رفته است.

تعیین حجم تلفات و کمبود آب تحویلی

در سناریوهای افزایشی بدلیل ایجاد موج مثبت و در سناریوهای کاهش‌ی بدلیل ایجاد موج منفی در طول کانال مقدار دبی تحویلی به آبگیرها بترتیب افزایش یا کاهش می‌یابد که تحویل آب اضافی به آبگیرها (تلفات) و کاهش آب تحویلی به آبگیرها (کمبود) نامیده می‌شود. در صورت عدم تنظیم سازه‌ها متناسب با شرایط جدید جریان، حجم تلفات یا کمبود آب تحویلی بسیار بیشتر خواهد بود. مقادیر احجام تلفات (اعداد مثبت) و کمبود (اعداد منفی) آب تحویلی به آبگیرهای مختلف و کانال پایین دست در کلیه گزینه‌ها (به جز گزینه ۱ و ۲) تعیین و در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. بعنوان نمونه حجم تلفات در آبگیر ۴ در گزینه ۱۱ (بدون انجام عملیات بهره‌برداری و در حالت تحویل ۶ ساعته آب) برابر سطح زیر منحنی در شکل ۲ و حجم تلفات همین آبگیر در گزینه ۱۲ (پس از اجرای عملیات بهره‌برداری) برابر سطح زیر منحنی در شکل ۳ می‌باشد.

محاسبه مقادیر شاخص‌ها

همانطور که قبلاً گفته شد در این تحقیق بمنظور کمی کردن عملکرد بهره‌برداری کانال، از مقادیر شاخص‌های راندمان (در حالت تحویل مازاد) و کفایت (در حالت تحویل کمبود آب) استفاده شده است. مقادیر این شاخص‌ها برای کلیه آبگیرها و همچنین کل کانال در تمامی گزینه‌ها (به جز گزینه‌های ۱ و ۲) تعیین و در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده‌اند. بدلیل آنکه کفایت تحویل در کلیه سناریوهای افزایشی و راندمان تحویل در کلیه سناریوهای کاهش‌ی ۱۰۰ درصد می‌باشد، از نوشتن این مقادیر در جداول صرف نظر شده است.

بمنظور محاسبه شاخص‌های راندمان و کفایت برای هر کدام از آبگیرهای کانال بصورت جداگانه

برآورد زمانی تغییرات جریان در طول کانال خطایی نداشته است. همچنین در مطالعات قبلی بمنظور کاربرد مدل ICSS در کانال EIR1 با استفاده از اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری مستقیم میدانی شامل دبی ورودی به کانال، دبی هر دریاچه، عمق آب بالادست هر دریاچه و میزان بازشدگی هر دریاچه و در طی اجراهای متعدد مدل ضرایب دریاچه‌ها و ضریب مانینگ کالیبره شدند. معیار آزمون‌های کالیبراسیون انطباق قابل قبول دبی دریاچه‌ها و عمق آب بالادست آنها که توسط مدل محاسبه شده با مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی بوده است بطوریکه حداکثر خطا برای مقادیر دبی ۴ درصد و برای مقادیر عمق ۳ درصد مشاهده شده است (محسنی موحد الف، ۱۳۸۱). نتیجه تحقیقات فوق نشان می‌دهد که مدل دارای دقت خوبی در شبیه‌سازی جریان‌ات غیرماندگار می‌باشد و با اطمینان مناسب می‌توان از آن در مسائل کاربردی در شبکه‌های آبیاری استفاده نمود.

مراحل تعیین دستورالعمل بهره‌برداری

با استفاده از نتایج شبیه‌سازی گزینه‌های مختلف بهره‌برداری از کانال EIR1 توسط مدل ICSS، دستورالعمل‌های بهره‌برداری متناسب با هر گزینه تعیین گردید. بمنظور تهیه دستورالعمل مناسب بهره‌برداری در هر کدام از سناریوهای تعیین شده ابتدا شرایط اولیه آبگیری آبگیرهای مختلف در کانال با تنظیم ارتفاع سازه‌های آب‌بند و بازشدگی دریاچه‌ها تعیین گردید. سپس جریان ورودی در سراب کانال به منظور تأمین تغییرات دبی مورد نیاز آبگیرهای ۵ و ۶ به میزان ۲۰ درصد افزایش یا کاهش داده شد و زمان حرکت جریان غیرماندگار ایجاد شده تا محل سازه‌های مختلف بدون تنظیم این سازه‌ها تعیین و مقادیر دبی و عمق در محل این سازه‌ها بدست آمد. در مرحله بعد، همزمان با افزایش یا کاهش جریان در سراب کانال تنظیم سازه‌ها شامل تغییر در بازشدگی دریاچه‌ها و/یا تغییر ارتفاع آب‌بندها در زمان‌های بدست آمده از مرحله قبل جهت تحویل دبی مورد نیاز آبگیرها صورت گرفت.

اعلام می‌گردد. در مواردی که بیش از یک آبیگر یا همه آبیگرها باز باشند میتوان علاوه بر راندمان هر کدام از آبیگرها راندمان کل کانال را نیز اعلام نمود. در این حالت ابتدا در هر گام زمانی مقادیر $\left(\frac{Q_r}{Q_d}\right)$ برای هر تعداد آبیگر که باز باشند متوسط گرفته شده و سپس مانند حالت تک آبیگر در طول زمان بهره‌برداری متوسط زمانی گرفته می‌شود تا مقدار شاخص کل کانال تعیین گردد.

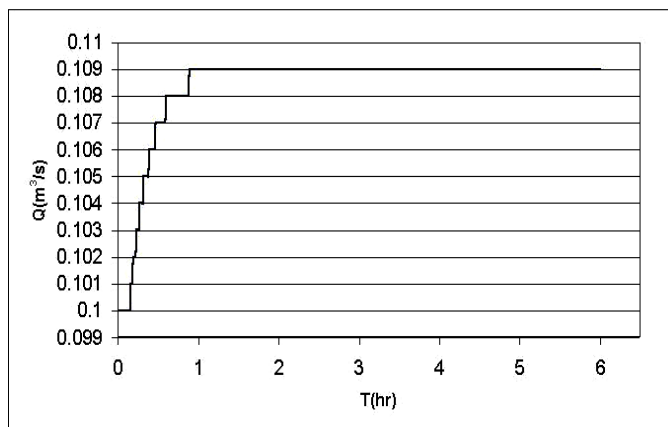
(بعنوان نمونه شاخص راندمان که برای آبیگر شماره ۵ در گزینه ۴ که در جدول شماره ۷ معادل ۰/۹۷ آمده است) مقادیر $\left(\frac{Q_r}{Q_d}\right)$ در گام‌های زمانی محاسباتی (۰/۰۱ ساعت) محاسبه شده‌اند. لازم به ذکر است که مقدار Q_r در طول بهره‌برداری ثابت و طبق سناریوی تعریف شده مشخص می‌باشد. پس از محاسبه این مقادیر در کل زمان بهره‌برداری (۶ ساعت) متوسط زمانی گرفته می‌شود و مقدار شاخص

جدول ۴: حجم مازاد یا کمبود آب قبل از انجام عملیات بهره‌برداری.

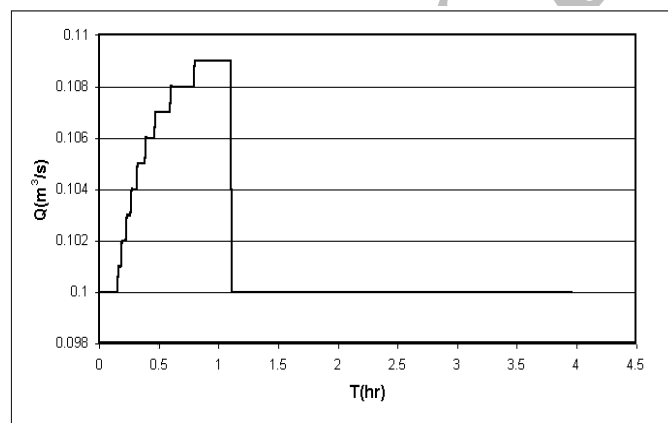
حجم تلفات (مترمکعب)						
مجموع	پایین دست	آبیگر ۴	آبیگر ۳	آبیگر ۲	آبیگر ۱	
۴۱۳۸	۴۱۳۸	-	-	-	-	گزینه ۳
-۷۳۸۶	-۷۳۸۶	-	-	-	-	گزینه ۵
۴۸۹۵	۴۷۵۰/۱	۸۰/۲	۶۴/۷	-	-	گزینه ۷
-۸۸۹۰	-۸۴۵۷/۲۷	-۲۶۳/۶۱	-۱۶۹/۱۲	-	-	گزینه ۹
۳۸۶۱	۳۵۱۴/۱۲	۱۳۷/۷۸	۹۰/۲۳	۵۷/۱	۶۱/۷۷	گزینه ۱۱
-۶۵۲۰	-۶۱۳۶/۵۲	-۱۳۹/۷۰	-۹۸/۵۹	-۷۰/۵۶	-۷۴/۶۳	گزینه ۱۳

جدول ۵: حجم مازاد یا کمبود بعد از انجام عملیات بهره‌برداری.

حجم تلفات (مترمکعب)						
مجموع	پایین دست	آبیگر ۴	آبیگر ۳	آبیگر ۲	آبیگر ۱	
۸۲۷/۶۴	۸۲۷/۶۴	-	-	-	-	گزینه ۴
-۱۵۴۰/۶۶	-۱۵۴۰/۶۶	-	-	-	-	گزینه ۶
۹۲۳/۷	۸۹۴/۳۸	۱۶/۳۸	۱۲/۹۴	-	-	گزینه ۸
-۱۷۲۶/۶۷	-۱۶۳۳	-۵۶/۰۸۸	-۳۷/۵۸۴	-	-	گزینه ۱۰
۶۱۳/۰۰	۵۵۰/۴۷	۲۳/۶۱	۱۷/۲۱۶	۹/۸۲۸	۱۱/۸۸	گزینه ۱۲
-۱۱۸۲/۴	-۱۱۱۰/۸۱	-۲۵/۳۴	-۱۹/۲۶	-۱۳/۱۷	-۱۳/۸۲	گزینه ۱۴



شکل ۲: تغییرات دبی تحویلی به آبگیر ۴ در گزینه ۱۱.



شکل ۳: تغییرات دبی تحویلی به آبگیر ۴ در گزینه ۱۲.

جدول ۶: مقادیر شاخص‌های راندمان و کفایت در حالت عدم انجام عملیات بهره‌برداری.

گزینه‌های افزایشی	آبگیر	راندمان	راندمان کل کانال	گزینه‌های کاهش‌ی	آبگیر	کفایت	کفایت کل کانال
گزینه ۳	۵ و ۶	۰/۹۲	۰/۹۰	گزینه ۵	۵ و ۶	۰/۸۹	۰/۸۹
گزینه ۷	۴	۰/۹۱	۰/۹۱	گزینه ۹	۴	۰/۸۹	۰/۸۸
گزینه ۱۱	۳	۰/۹۱	۰/۹۰	گزینه ۱۳	۳	۰/۹۱	۰/۸۸
	۱	۰/۹۱			۱	۰/۹۲	
	۲	۰/۹۲			۲	۰/۹۱	
	۴	۰/۸۹			۴	۰/۸۹	
	۵ و ۶	۰/۸۸			۵ و ۶	۰/۸۳	

جدول ۷: مقادیر شاخص‌های راندمان و کفایت در حالت انجام عملیات بهره‌برداری.

گزینه‌های افزایشی	آبگیر	راندمان	راندمان کل کانال	گزینه‌های کاهش‌ی	آبگیر	کفایت	کفایت کل کانال
گزینه ۴	۵ و ۶	۰/۹۷	۰/۹۷	گزینه ۶	۵ و ۶	۰/۹۶	۰/۹۶
	۳	۰/۹۷		۳		۰/۹۸	
گزینه ۸	۴	۰/۹۶	۰/۹۶	گزینه ۱۰	۴	۰/۹۴	۰/۹۴
	۵ و ۶	۰/۹۶		۵ و ۶		۰/۹۳	
	۱	۰/۹۶		۱		۰/۹۸	
	۲	۰/۹۵		۲		۰/۹۷	
گزینه ۱۲	۳	۰/۹۶	۰/۹۵	گزینه ۱۴	۳	۰/۹۷	۰/۹۳
	۴	۰/۹۶		۴		۰/۹۶	
	۵ و ۶	۰/۹۴		۵ و ۶		۰/۹۰	

نتایج و بحث

در هر قسمت از کانال، بین زمان رسیدن آثار موج‌های مثبت و منفی و پیک این امواج (ماکزیمم دبی یا می‌نیمم دبی) زمان قابل توجهی طی می‌شود. از آنجا که دستورالعمل بهره‌برداری در اکثر شبکه‌ها نیز براساس زمان رسیدن پیک موج ارائه می‌شود، لذا در این مدت در اثر کمبود یا مازاد تحویل آب به آبگیرهای کانال و یا کانال پائین‌دست، عملکرد کانال به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. از مقایسه نتایج جداول ۴ و ۵ مشاهده می‌شود که احجام تلفات و کمبود آب تحویلی به آبگیرها بعد از انجام عملیات بهره‌برداری بمراتب کمتر از احجام قبل از انجام عملیات بهره‌برداری می‌باشند. همچنین دیده می‌شود که حجم کمبود آب تحویلی ناشی از ایجاد موج منفی در کلیه حالت‌ها بیشتر از حجم مازاد آب تحویلی ناشی از موج مثبت در گزینه مشابه می‌باشد. این امر بدلیل سرعت کمتر حرکت موج‌های منفی نسبت به امواج مثبت می‌باشد. بعنوان نمونه، حجم کمبود آب تحویلی به آبگیر ۴ در گزینه ۱۰ (ایجاد موج منفی) برابر ۵۶/۰۸۸ مترمکعب و حجم مازاد آب تحویلی به همین آبگیر در گزینه ۸ (ایجاد موج مثبت) برابر ۱۶/۳۸ مترمکعب می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌شود با افزایش تعداد آبگیرهایی که

همزمان آبگیری می‌نمایند حجم مازاد یا کمبود آب تحویلی افزایش می‌یابد.

با مقایسه مقادیر ارائه شده در جداول ۶ و ۷، نتایج حاصله را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود:

۱- در تمام سناریوها هر چه تعداد آبگیرهای بیشتری در بالادست باز باشند عملکرد تحویل راندمان و کفایت تحویل به آبگیرهای ۵ و ۶ کم‌تر شده است. بعنوان نمونه در جدول ۶ مقدار راندمان تحویل به آبگیرهای ۵ و ۶ در گزینه ۱۱ برابر ۰/۸۸ و در گزینه ۳ برابر ۰/۹۲ می‌باشد.

۲- در سناریوهایی که آبگیرهای بالادست باز می‌باشند، با حرکت به سمت پایین دست کانال میزان عملکرد آبگیرها کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، گر چه هدف از افزایش یا کاهش جریان در سراب، تغییر تحویل آب به آبگیرهای ۵ و ۶ می‌باشد، اما در صورت باز بودن آبگیرهای بالادست، این تغییرات ابتدا آبگیرهای بالادست را تحت تأثیر قرار داده و سپس به آبگیرهای ۵ و ۶ می‌رسد. بعنوان نمونه، در جدول ۶ در گزینه ۱۳ کفایت تحویل آبگیرهای ۵ و ۶ برابر ۰/۸۳ و آبگیر ۱ برابر ۰/۹۰ بدست آمده است.

۳- در کلیه گزینه‌ها، اجرای عملیات بهره‌برداری موجب بهبود شاخص‌های عملکرد آبگیرها و کل

باشد کارآیی تحویل آب به آبیگرها و کل کانال بالاتر خواهد بود. بعنوان نمونه شکل ۴ تغییرات کفایت تحویل کل کانال در گزینه‌های ۶، ۱۰ و ۱۴ بترتیب با آگیری همزمان آبیگرهای ۲، ۴ و ۶ را نشان می‌دهد.

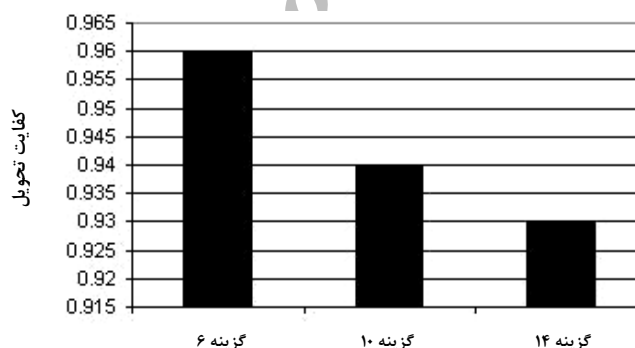
۷- در این تحقیق تعیین عملکرد تحویل و بهبود آن در شرایطی بدست آمده که دبی پایه کانال $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ می‌باشد و درصد افزایش دبی آبیگرهای ۵ و ۶، ۲۰ درصد بوده و یا دبی پایه کانال $1/5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ بوده و درصد کاهش دبی آبیگرهای ۵ و ۶، ۲۰ درصد می‌باشد. بنظر می‌رسد چنانچه دبی پایه کانال بیشتر باشد و درصد تغییرات نیاز بیش از این مقدار باشد تفاوت عملکرد آبیگرهای بالادست و پایین دست، تفاوت عملکرد سیستم در شرایط افزایش و کاهش دبی و میزان بهبود عملکرد تحویل در اثر اجرای عملیات بهره‌برداری مناسب بیشتر خواهد بود.

کانال گردیده است. در کلیه گزینه‌ها حداکثر بهبود عملکرد ۷ درصد می‌باشد.

۴- به دلیل زمان طولانی‌تر حرکت امواج منفی در کانال‌ها، عملکرد تحویل سناریوهای کاهش جریان پایین‌تر از عملکرد تحویل سناریوهای افزایش جریان است. بعنوان نمونه همانطور که از جداول ۶ و ۷ دیده می‌شود کفایت کانال در کلیه گزینه‌های کاهشی کم‌تر از راندمان کانال در گزینه‌های مشابه افزایشی می‌باشد.

۵- اجرای عملیات بهره‌برداری مناسب موجب بهبود عملکرد تحویل می‌گردد. بعنوان نمونه راندمان کل کانال در حالت اجرای عملیات بهره‌برداری در گزینه ۱۴ برابر ۰/۹۳ و در صورت عدم اجرای عملیات بهره‌برداری (گزینه ۱۳) برابر ۰/۸۸ می‌باشد. میزان بهبود عملکرد می‌تواند معیاری جهت انتخاب عملیات بهره‌برداری مناسب باشد.

۶- در مجموع می‌توان اظهار داشت هر چه تعداد آبیگرهایی که همزمان آب دریافت می‌کنند کم‌تر



شکل ۴: تغییرات کفایت تحویل در گزینه‌های مختلف

بالادست و پایین دست و تفاوت عملکرد سیستم در شرایط افزایش یا کاهش جریان ضعیف‌تر از وضعیت مورد بررسی خواهد بود. همچنین کاربرد عملیات بهره‌برداری مناسب در این شرایط موجب بهبود چشمگیر و قابل توجه عملکرد کانال خواهد شد که می‌تواند معیار مناسبی جهت اینگونه بررسی‌ها و توجیه اجرای عملیات بهره‌برداری در شرایط واقعی باشد.

۸- در این تحقیق، برای سهولت شبیه‌سازی و بررسی موضوع، بخشی از کانال EIR1 از شبکه آبیاری دز با ۶ آبیگر در نظر گرفته شد. در شرایط واقعی طول کانال‌ها و تعداد آبیگرهایی که همزمان آگیری می‌نمایند، بیشتر می‌باشند. در این شرایط، عملکرد کانال در حالت بهره‌برداری معمول از نظر حجم مازاد یا کمبود آب، کفایت و راندمان تحویل آب، تفاوت عملکرد آبیگرهای

منابع

۱. کسب‌دوز، ش.، منعم، م. ج. و کوچک‌زاده، ص. ۱۳۷۷. کاربرد مدل هیدرودینامیک ICSS-POM در تعیین مناسب‌ترین گزینه توزیع آب در شبکه آبیاری قوری‌چای. مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی. تهران. ۲۱-۱۳.
۲. فرسادی‌زاده، د. ۱۳۸۵. کنترل کانال‌های آبیاری با استفاده از روش بهینه‌سازی عددی. پایان نامه دکتری، تأسیسات آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۳. محسنی‌موحد، س. ا. ۱۳۸۱ (الف). تهیه مدل ریاضی بهینه‌سازی عملکرد هیدرولیکی کانال‌های آبیاری با استفاده از روش آنیلینگ شبیه‌سازی شده (SA) و تعیین ارزش نسبی شاخص‌های ارزیابی. پایان نامه دکتری، آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۴. محسنی‌موحد، س. ا. و منعم، م. ج. ۱۳۸۱ (ب). بهینه‌سازی عملکرد بهره‌برداری کانال‌های آبیاری با استفاده از روش SA. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، شماره ۴۴، ۳۵۷۵-۳۵۶۵.
۵. منعم، م. ج. ۱۳۷۵. معرفی مدل مشابه‌سازی شبکه‌های آبیاری و بهینه‌سازی بهره‌برداری از آنها. مجموعه مقالات هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران. ۲۳-۱.
۶. منعم، م. ج. ۱۳۷۸. آزمون کاربرد مدل ریاضی ICSS-POM در شرایط واقعی کانال‌های آبیاری. مجموعه مقالات دومین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه علم و صنعت ایران. ۱۲۴-۱۱۹.
7. Amein, M. 1968. An implicit method for numerical flood routing. *J. Water Resources Research*. 4(4): 719-726.
8. Henderson, F. M. 1966. *Open channel flow*. Macmillan Publishing Co. New York.
9. Manz, D. H. 1985. *System analysis of irrigation conveyance system*. PhD thesis, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
10. Khalsa, R. D., Styles, S., Burt, C. and Norman, B. 2002. Installation control structures on the government highline canal. Conference on benchmarking irrigation system performance using water measurement and water balances, San Luis Obispo, CA, 30-41.
11. Molden, D. J. and Gates, T. K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. *J. Irrigation and Drainage Eng.*, 116(6): 804-822.
12. Monem, M. J. and Schuurmans, W. 1992. Performance of canal delivery strategies and control system. International Seminar on the Application of Mathematical Modelling for the Improvement of Irrigation Canal Operation, Montpellier, France, 307-315.
13. Schuurmans, W., Leeuwen, P. and Kruiningen, F. E. 2002. Automation of the Rijnland storage basin, the Netherlands. *Lowland technology international*, 13-20.
14. Strelkoff, T. 1969. One dimensional equation of open channel flow. *J. Hydraulics Division*., 7(5): 861-876.
15. The Canadian society for civil Engineering Task Committee on River Models. 1990. Comparative evaluation of river models, Vol. V of the proceedings of the annual Conference of the CSCE, May 1990, Hamilton, Ontario, Canada., 282-300.
16. Tresk, A. 1980. Experimental Uperpristung numerischer Berechnung suertatinen von Hochwasserwellen, in Blind: Report of Hydraulic Research station Tu Munchen, 44: 1-33.

Quantifying operation performance of irrigation canals in response to demand variation using hydrodynamic model and analysis of unsteady flow

Monem¹, M. J., Ghodousi², H. and Emadi³, A. R.

Abstract

Because of water requirement increase, the efficiency of irrigation water must improve especially in areas with limited water resources. In order to improve physical performance of hydraulic systems, some efforts has been done, but the lack of fiscal resources is the main problem for performance improvement of irrigation networks. Therefore, the proper management of system is the practical method for efficiency improvement. One of the major sources of water loss in irrigation canals is unsteady flow. Water delivery and distribution schedules are one of the sources of unsteady flow in irrigation networks. In this research, for quantifying operational performance, unsteady flow in E1R1 canal of Dez irrigation network is simulated using ICSS hydrodynamic model. Performance indicators are determined under two conditions of operation and non-operational of structures and 6 hours water delivery. The results show that using hydrodynamic model and analysis of unsteady flow can quantify operation performance of irrigation canals. Furthermore the application of suitable operation instruction in response to unsteady flow can improve the performance of the system.

Keywords: performance improvement, hydrodynamic model, irrigation network, unsteady flow

-
1. Associate Professor, Department of Hydro-structures, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University
 2. Assistant Professor, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Agriculture, Zanjan University
 3. Assistant Professor, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Agriculture, Mazandaran University