



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳

صفحه‌های ۲۲۹-۲۴۲

ارزیابی شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌های نیرپیک (مورد مطالعه: شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین)

میناسادات سیدجوادی^{۱*} و محمود مشعل^۲

۱. کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۹/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۶/۲۴

چکیده

با توجه به بازده کم توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی ایران، شبیه‌سازی جریان و حساسیت‌سنجی سازه‌های آبی شبکه‌ها به‌عنوان یک رویکرد جدید برای بررسی عملکرد طرح‌های آبی کشور مطرح است. این تحقیق، به‌علت تحویل و توزیع نامناسب آب به‌خصوص در پایین‌دست شبکه آبیاری و زهکشی ورامین به بررسی حساسیت‌سنجی سازه‌های آبیگیر موجود در شبکه می‌پردازد. این حساسیت‌سنجی با بررسی داده‌های آبی واقعی و مقایسه آنها با مقدار آب مورد نیاز برای الگوی کشت شبکه صورت گرفته است. شبیه‌سازی و بررسی شبکه با استفاده از مدل هیدرودینامیکی سوپک و روابط معرفی شده برای حساسیت‌سنجی سازه‌های آبیگیر انجام گرفته است. بررسی‌ها و آنالیز حساسیت هیدرولیکی در سازه‌های شبکه آبیاری ورامین نشان دادند که سازه‌های نیرپیک موجود، دارای حساسیت زیادی هستند. طبق معادلات بررسی شده، حساسیت سازه‌های نیرپیک نسبت به عمق بالادست و مقدار بازشدگی دریچه‌های مدول نیرپیک بیشتر در سازه‌های انتهایی رخ داده است. برای بهره‌برداری بهینه از شبکه آبیاری ورامین بهترین روش، تأمین عمق آب برای پایین‌دست هر کانال است. در این شرایط است که عمق آب در تمامی آبیگیرها تأمین شده و در مقدار بازشدگی مدول‌ها نیز تغییری ایجاد نمی‌شود.

کلیدواژه‌ها: آبیگیر، آنالیز حساسیت، بهره‌برداری، عملکرد شبکه، مدل هیدرودینامیکی.

۱. مقدمه

با توجه به بازده اندک توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی ایران، شبیه‌سازی جریان و حساسیت‌سنجی سازه‌های آبی شبکه‌ها، رویکردی جدید برای بررسی عملکرد طرح‌های آبی کشور به‌شمار می‌رود. سازه‌های تنظیم و کنترل به دلیل اهمیت در تنظیم و کنترل سطح آب و دبی آبیگرها، تأثیر بسزایی در افزایش بازده و کاهش مصرف آب دارند و با کنترل و تنظیم مناسب و به‌موقع آنها، می‌توان از هدررفت آب جلوگیری کرد و مدیریت توزیع آب را ارتقا داد. با وجود سطح اولیه مدرن‌سازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی در ایران، به دلیل عملکرد ضعیف شبکه‌ها، بازده کل آبیاری اندک بوده و در نتیجه تلفات آب در بخش کشاورزی بسیار زیاد است (۳). از بین سازه‌های هیدرولیکی، تنظیم مدول‌های نریپیک^۱ و عمق بالادست آنها تأثیر بسزایی در افزایش بازده کاهش مصرف آب دارد. به دلیل تنوع سازه‌های هیدرولیکی و روش‌های مختلف بهره‌برداری، کنترل و تعیین رفتار جریان سازه‌های مختلف در یک شبکه آبیاری به صورت دستی مشکل است. از آنجا که بهره‌برداری صحیح و مناسب از این سازه‌ها، مدیریت شبکه و توزیع به‌موقع آب و کاهش تلفات را امکان‌پذیر می‌کند، به نظر می‌رسد شناسایی نقایص و مشکلات این سازه‌ها از لحاظ انتخاب نوع، طراحی، ساخت، نصب و بهره‌برداری، به افزایش بازده شبکه‌ها و جلوگیری از تلفات آب بسیار کمک می‌کند.

مطالعه جریان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی با استفاده از روابط جریان‌های دائمی و غیردائمی صورت می‌پذیرد. روابط جریان‌های دائمی، اغلب در طراحی سیستم‌های آبیاری کاربرد دارند و متخصصان طراح و حتی متولیان بهره‌برداری، به خوبی آنها را درمی‌یابند. کاستی این

روابط، محدودیت کاربری در فرایند بهره‌برداری است، زیرا در حال حاضر امکان مطالعه روند انتشار و توسعه اختلالات^۲ در شبکه‌های آبیاری با استفاده از آنها میسر نیست. دانش انتشار یا تحلیل اختلالات در طول کانال‌های آبیاری، موضوعی مهم در زمینه پایش^۳ و دستیابی به بهره‌برداری بهینه سیستم است (۲). روابط جریان غیردائمی با وجود پیچیدگی‌های خاصی که دارند، در تحلیل جریان توانمندند و فراگیری کاربری آنها را محدود می‌کند. شیوه آنالیز حساسیت^۴ که نوعی شیوه نوین بینابینی - بین این دو روش مطالعه جریان - به‌شمار می‌رود، از اواخر دهه ۹۰ میلادی نظر تعدادی از متخصصان آبیاری را به خود معطوف کرده است. در این روش با استفاده از روابط جریان دائمی و وضعیت ساختار فیزیکی شبکه، واکنش سیستم به تغییرات و اختلالات ورودی و تحلیل جریان ارزیابی می‌شود (۶). حساسیت، قابلیت پاسخگویی به تأثیرات و فشارهای بیرونی است. در این روش، رفتار سیستم نسبت به تغییرات و اختلالات پارامترهای ورودی سنجیده می‌شود. شاخص حساسیت هیدرولیکی یک سازه آبیاری، نسبت تغییرات نسبی یا مطلق پارامترهای هیدرولیکی خروجی از سازه به تغییرات نسبی یا مطلق پارامترهای هیدرولیکی ورودی به سازه تعریف می‌شود (۵).

مطالعه جریان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی با استفاده از روابط جریان دائمی و غیردائمی انجام می‌گیرد. در طراحی شبکه‌های آبیاری از روابط جریان دائمی استفاده می‌شود. این روابط توسط طراحان و متخصصان بهره‌برداری به خوبی فهمیده می‌شود، اما اجرای برنامه‌های آبیاری و عملیات بهره‌برداری، سبب ایجاد جریان غیردائمی

2. Perturbation

3. Monitoring

4. Sensitivity Analysis Approach

1. NEYR PIC

انعطاف‌پذیری را تابعی از نوع سازه‌ها در نظر گرفت که بسته به نوع سازه‌های تنظیم و توزیع و وضعیت جریان، مقادیر مختلف صفر، واحد، بزرگ‌تر و کوچک‌تر از واحد خواهد داشت. آلبینسون مطالعاتی را درباره حساسیت سازه‌های تنظیم‌کننده^۳ و تحلیل در زمینه ترکیب تأثیرات حساسیت سازه‌های مجاور تنظیم‌کننده انجام داده است (۳). در ادامه تحقیقات انجام‌گرفته، در رابطه ارائه‌شده محبوب و گوالاتی به‌جای عمق نرمال، عمق واقعی جریان در بالادست آبگیر را قرار دادند و آن را شاخص حساسیت آبگیرها پیشنهاد کردند (۱۳). در تعریف دیگری از حساسیت، به‌جای تغییرات نسبی عمق جریان از تغییرات مطلق عمق جریان استفاده شد. محققان اصول آنالیز حساسیت دریچه‌ها را برای نوسانات و اختلالات عمق جریان سازه‌ها توسعه دادند و در مطالعه کانال‌هایی از شبکه‌های ماهویل و کیریندویای^۴ سری لانکا و شبکه^۵ فوردوا^۵ پاکستان به‌کار بردند (۱۱). با توجه به مطالعات، تحقیق حاضر به بررسی حساسیت‌سنجی سازه‌های آبگیر موجود در شبکه آبیاری و زهکشی ورامین که از شبکه‌های نوین ایران است می‌پردازد.

این تحقیق، به‌علت تحویل و توزیع نامناسب آب به‌خصوص در پایین‌دست شبکه، به شبیه‌سازی جریان موجود در کانال‌ها و شناسایی حساس‌ترین سازه‌های آبگیر پرداخته است. شبیه‌سازی و بررسی شبکه آبیاری و زهکشی ورامین با استفاده از مدل هیدرودینامیکی سوپک و روابط معرفی‌شده برای حساسیت‌سنجی سازه‌های آبگیر صورت گرفت. براساس نتایج به‌دست‌آمده، برنامه‌ریزی جدیدی نسبت به تحویل و توزیع آب به آب‌بران برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه مطرح شده است.

در سطح شبکه می‌شود، که تحلیل آن با استفاده از روابط جریان دائمی میسر نیست. مدل‌های هیدرودینامیکی توانایی شبیه‌سازی جریان شبکه، ارزیابی عملکرد شبکه و رفتارسنجی هیدرولیکی سازه‌های موجود را به‌خوبی دارند. اما محدودیت دسترسی، پیچیدگی و نیاز به تخصص، سبب شده که بهره‌برداران شبکه‌های آبیاری به استفاده از این مدل‌ها تمایل چندانی نداشته باشند (۱۲). کنترل جریان به‌صورت دستی در یک شبکه آبیاری و زهکشی به توزیع ناعادلانه آب در بین متقاضیان منجر می‌شود. از این‌رو با پیشرفت علم و پیدایش کامپیوتر و قدرت فوق‌العاده تحلیل مسائل عددی، این امکان فراهم آمد که با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیکی و کنترل‌گرهای موضعی و سراسری، فرایند بهره‌برداری بهینه برای توزیع عادلانه آب مورد نیاز متقاضیان یک شبکه آبیاری و زهکشی شبیه‌سازی و تسهیل شود.

مطالعات اولیه در زمینه حساسیت آبگیرها^۱ به سال ۱۹۵۱ برمی‌گردد که محققان تعریفی از حساسیت مجاری تخلیه‌کننده بیان داشتند و از آن برای بررسی مجاری تخلیه جریان در چند کانال آبیاری از شبکه‌های آبیاری هند استفاده کردند. در تعریف بیان‌شده، نسبت تغییرات نسبی دبی تخلیه‌کننده به تغییرات نسبی عمق جریان به عمق نرمال کانال تغذیه، حساسیت تخلیه‌کننده‌ها معرفی شد (۹). با مطالعه حساسیت سازه‌های آبیاری توسط هورست، شاخص انعطاف‌پذیری^۲ به‌منظور مطالعه وضعیت انتشار تغییرات اعمالی در دبی ورودی کانال تعریف شد، که عبارت است از نسبت تغییرات نسبی دبی آگیری به تغییرات نسبی دبی جاری در کانال تغذیه. او در این تئوری که آن را تئوری پاسخگویی سیستم نامید، تغییرات شاخص

3. Cross Regulator

4. Mahavil & Kirinedoya

5. Fordova network

1. Off takes

2. Flexibility Index

۲. مواد و روش‌ها

بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری، نتیجه یک فرایند تصمیم‌گیری است که در آن سه عنصر وضعیت فیزیکی موجود سازه‌ها، ظرفیت کنترل و رفتار هیدرولیکی سیستم اهمیت زیادی دارند. این سه عنصر به‌نوعی در مفهوم حساسیت هیدرولیکی سازه‌ها مستتر است و از این رو حساسیت هیدرولیکی سازه‌ها مهم‌ترین عامل مربوط به خصوصیات هیدرولیکی سیستم به‌شمار می‌رود. از این رو تحقیق حاضر به بررسی و آنالیز حساسیت سازه‌های آبیاری شبکه ورامین می‌پردازد (۶). دشت ورامین در بخش شمالی ایران و در دامنه جنوبی البرز واقع شده که در حدود ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی تهران در $40^{\circ} 51^{\circ}$ طول شرقی و بین $35^{\circ} 05'$ و $35^{\circ} 30'$ عرض شمالی واقع است. وسعت اراضی خالص تحت آبیاری این شبکه حدود ۵۰۰۰۰ هکتار است که نیاز آبی سالانه آن حدود ۶۰۰ میلیون متر مکعب برآورد شده است. این شبکه براساس جریان دائمی آب، و به‌صورت شبانه‌روزی (۲۴ ساعته) طراحی شده و دارای ۷۶۰ کیلومتر کانال انتقال و زهکش است که حدود ۵۰۰ کیلومتر آن را کانال‌های درجه ۳ و ۴ تشکیل می‌دهد؛ همچنین دارای حدود ۲۰۰۰ دریاچه و ابنیه فنی است. این تحقیق بر روی سه کانال درجه دو به نام‌های کانال شریف‌آباد (SH)، کانال AU و کانال BV به ترتیب واقع در محدوده ابتدایی، میانی و انتهایی کانال اصلی AB شبکه آبیاری ورامین که دارای طولی برابر با ۱۳ کیلومتر، عرض کف متغیر بین ۲/۴-۳/۶ متر، ۲۹ دراپ، و میانگین دبی عبوری ۲۶ متر مکعب است، صورت گرفته است. مشخصات کانال‌های مورد مطالعه در جدول ۱ بیان شده است. کلیه کانال‌ها دارای مقطع دوزنقه‌ای بتنی با شیب جانبی ۱:۱/۵ و ضریب زبری ۰/۰۱۵ است و محل قرارگیری سازه‌های تنظیم‌کننده از نوع سرریز نوک‌اردکی حدود ۲ متر پایین‌تر از سازه‌های آبگیر با دریاچه‌های نیرپیک در کانال است (۴).

همان‌طور که ذکر شد، در شبکه آبیاری ورامین، آب به‌صورت ۲۴ ساعته در اختیار آب‌بران قرار داده می‌شود و در بیشتر ساعات به‌صورت هرزاب هدر می‌رود. از این رو، طبق مطالعات انجام گرفته و تحقیقاتی که از شبکه به‌عمل آمده است، نتیجه گرفته شد که تحقیق حاضر در مورد مقدار بازشدگی سازه‌های نیرپیک صورت گیرد. زیرا بنا بر بررسی‌ها، در این شبکه مقدار بازشدگی دریاچه‌های نیرپیک براساس مقدار آب وارد شده در کانال‌ها است و کلیه دریاچه‌های یک آبگیر نیرپیک به‌صورت کامل بازند، و این امر سبب می‌شود آب اضافی وارد کانال‌های بالادست شود و آب‌بران پایین‌دست آب کافی در اختیار نداشته باشند. این امر در صورتی است که اگر مقدار بازشدگی دریاچه‌های نیرپیک براساس قاعده کلی آنها که به‌ازای هر دسی متر، ۲۰ لیتر بر ثانیه آب از خود عبور می‌دهند باشد، آب به‌صورت مطلوب تری در اختیار آب‌بران قرار خواهد گرفت (۴،۷). بنابراین به بررسی داده‌های واقعی آب تحویلی شبکه و مقایسه این داده‌ها با مقدار آب مورد نیاز هر کدام از آبگیرها براساس الگوی کشت و دور تناوب هفت‌روزه اراضی زیر کشت آنها با بهره‌گیری از مدل هیدرودینامیکی سوبک پرداخته شده است.

مدل سوبک یک بسته نرم‌افزاری است که قابلیت کاربری در حوضه‌های مختلف مدیریت رودخانه‌ها، مناطق شهری و روستایی را برای مجاری روباز دارا است. این مدل توسط مؤسسه هیدرولیک دلفت^۱ با همکاری دانشگاه تیودلفت هلند توسعه یافته است. در این مدل هفت مدول مختلف وجود دارد که با توجه به اهداف شبیه‌سازی از حالت ترکیبی این مدول‌ها نیز می‌توان استفاده کرد. مدول Water Flow به‌منظور شبیه‌سازی جریان‌های دائمی و غیردائمی مجاری روباز به‌کار گرفته می‌شود.

1. WL/Delft Hydraulics, 2000

جدول ۱. مشخصات کانال‌های درجه ۲ مورد مطالعه شبکه آبیاری ورامین (۴)

ظرفیت آبیگر (lit/s)	نوع درجه آبیگر	طول سرریز (m)	ارتفاع سرریز (m)	کیلومتر از آبیگر	نام آبیگر	شیب طولی کانال (m/m)	عرض کف کانال (m)	عمق نرمال کانال (m)	طول کانال (km)	ظرفیت کانال (m ³ /s)	نام کانال
۳۰۰	XX _۲	۸۷۰	۰/۶۰	۰+۸۰۰	SH1						
۱۸۰	XX _۲	۸۳۰	۰/۵۰	۱+۱۰۰	SH2						
۱۸۰	XX _۲	۸۳۰	۰/۵۰	۱+۷۰۰	SH3	۰/۰۰۰۰۹	۱/۲	۰/۹	۶	۲	SH
۱۸۰	XX _۲	۸۳۰	۰/۵۰	۲+۹۰۰	SH5						
۱۸۰	XX _۲	۸۰	۰/۵۰	۲+۳۰۰	SH7						
۲۴۰	XX _۲	۰/۱۳	۰/۶۸	۰+۳۸	U1						
۲۸۰	XX _۲	۶۰/۱۲	۰/۶۸	۱+۲۶۲	U2						
۳۰۰	XX _۲	۶۰/۱۲	۰/۹۱	۱+۶۱۳	U3	۰/۰۰۰۰۹	۰/۹	۰/۸-۱/۳	۲/۴	۱/۸	AU
۱۸۰	XX _۲	۳۰/۸	۰/۵۵	۳+۱۲۴	U4						
۳۰۰	XX _۲	۰/۵	۰/۵۰	۴+۲۹۳	U5						
۴۲۰	XX _۲	۳۰/۱۷	۰/۸۲	۰+۴۰	V1						
۲۰۰-۱۵۰۰	XX _۲ &C _۱	۳۰/۱۷	۱/۳۴	۲+۲۱۷	V2						
۳۰۰	XX _۲	۷۰/۸	۰/۵۰	۳+۷۸۴	V3	۰/۰۰۰۰۹	۰/۹	۰/۹۵-۱/۴۵	۲/۶	۲/۵۵	BV
۳۶۰	XX _۲	۰/۴	۰/۶۰	۴+۶۷۸	V4						
۳۶۰	XX _۲	۰/۴	۰/۵۵	۶+۰۶۸	V5						

مدیریت آب و آبیاری

فراهم کرده است. امکان شبیه‌سازی انواع مختلف سازه آبگیر، سرریزها، پمپ‌ها، آبریزهای عمودی و مایل، سیفون معکوس، کالورت، آکادوک، مخازن کنترل، دریچه‌های چنددهانه و کانال‌های با سطح مقطع مرکب وجود دارد (۱۴).

مدول‌های نیرویک نوعی از تجهیزات آبگیری‌اند که به وسیله آنها می‌توان تقریباً دبی کنترل‌شده‌ای را (مشروط به رعایت دستورالعمل هیدرولیکی مربوط به این آبگیر) دریافت کرد. انواع مدول‌های متداول در شبکه‌های آبیاری عبارتند از:

الف) مدول نیرویک با دونقابه؛

ب) مدول نیرویک با یک‌نقابه.

شکل ۱ نمایی از آبگیرهای یک‌نقابه و دونقابه را نشان می‌دهد. این تجهیزات در تپ‌ها و با اندازه‌های مختلف که با علامت خاصی که معرف دبی اسمی واحد عرض آنهاست مشخص می‌شوند. این تجهیزات بدون هیچ‌گونه حرکت قطعات (به جز باز و بسته کردن دریچه آن) دبی تقریباً ثابتی را بدون توجه به تغییرات سطح آب در بالادست آبگیر از خود عبور می‌دهند (۱).

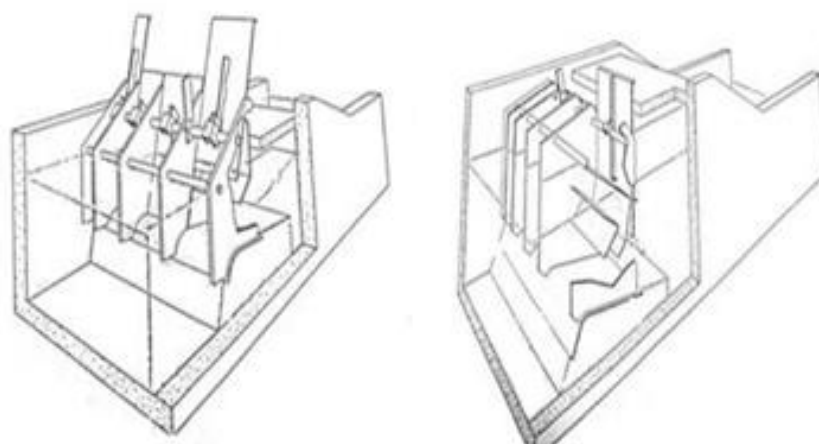
برای بررسی وضعیت شرح‌داده‌شده در شبکه، دو گزینه بهره‌برداری از شبکه با توجه به داده‌های واقعی (سال‌های آبی ۱۳۸۸، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰) و داده‌های محاسبه‌شده، بررسی و شبیه‌سازی شدند. به این صورت که مقدار بازشدگی هر کدام از آبگیرها طبق داده‌های واقعی و بهره‌برداری‌شده از شبکه با توجه به تناوب هفت‌روزه و دبی‌های تحویلی آنها بررسی شد. در مورد داده‌های محاسبه‌شده نیز براساس الگوی کشت اراضی تحت پوشش هر آبگیر، مقدار آب مورد نیاز آنها توسط نرم‌افزار Crop Wat محاسبه و براساس قاعده کلی مدول‌های نیرویک، مقدار بازشدگی آنها طبق استاندارد محاسبه و در مدل شبیه‌سازی شد. نمونه‌ای از دبی‌های تحویلی و محاسبه‌شده در این تحقیق در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

در این مدل برای حل معادلات سنت و نانت از شمای محاسباتی جدیدی موسوم به شمای دلفت^۱ که یک شیوه حل ضمنی در قالب یک شبکه متناوب است، استفاده می‌شود. به‌کارگیری شمای دلفت در حل معادلات، قابلیت شبیه‌سازی پدیده‌های مختلفی نظیر امواج حاصل از برگشت آب، جریان‌های بسیار کم در حد خشکی کانال و جریان‌های فوق‌بحرانی را با دقت زیادی برای این مدل فراهم کرده است. امکان شبیه‌سازی انواع مختلف سازه آبگیر، سرریزها، پمپ‌ها، آبریزهای عمودی و مایل، سیفون معکوس، کالورت، آکادوک، مخازن کنترل، دریچه‌های چنددهانه و کانال‌های با سطح مقطع مرکب وجود دارد (۱۴).

مدل سوبک یک بسته نرم‌افزاری است که قابلیت کاربری در حوضه‌های مختلف مدیریت رودخانه‌ها، مناطق شهری و روستایی را برای مجاری روباز دارا است. این مدل توسط مؤسسه هیدرولیک دلفت^۲ با همکاری دانشگاه تیودلفت هلند توسعه یافته است. در این مدل هفت مدول مختلف وجود دارد که با توجه به اهداف شبیه‌سازی از حالت ترکیبی این مدول‌ها نیز می‌توان استفاده کرد. مدول **Water Flow** به منظور شبیه‌سازی جریان‌های دائمی و غیردائمی مجاری روباز به کار گرفته می‌شود. در این مدل برای حل معادلات سنت و نانت از شمای محاسباتی جدیدی موسوم به شمای دلفت^۳ که یک شیوه حل ضمنی در قالب یک شبکه متناوب است، استفاده می‌شود. به‌کارگیری شمای دلفت در حل معادلات، قابلیت شبیه‌سازی پدیده‌های مختلفی نظیر امواج حاصل از برگشت آب، جریان‌های بسیار کم در حد خشکی کانال و جریان‌های فوق‌بحرانی را با دقت زیادی برای این مدل

1. Delft Hydraulic Scheme
2. WL/Delft Hydraulics, 2000
3. Delft Hydraulic Scheme

ارزیابی شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌های نیروپیک (مورد مطالعه: شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین)



ب) مدول یکنقابه

الف) مدول دونقابه

شکل ۱. نمایی از مدول‌های نیروپیک

جدول ۲. میانگین دبی تحویلی از طرف شبکه به آبیگرهای کانال BV در اردیبهشت سال ۱۳۸۸ (دبی در ماه اردیبهشت به کانال ۰/۵۵ متر مکعب برثانیه)

نام آبیگر	V1	V2	V3	V4	V5
$Q(\frac{m^3}{s})$	۰/۳۴	۰/۴۰	۰/۲۶	۰/۹۵	۰/۳۲

جدول ۳. دبی تحویلی به آبیگرهای کانال BV در شبیه‌سازی تناوب هفت‌روزه براساس الگوی کشت

نام آبیگر (m^3/s)	V1	V2	V3	V4	V5
ظرفیت مورد نیاز ۷ روز اول	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۲۴	۰/۱۶
ظرفیت مورد نیاز ۷ روز دوم	۰/۲۹	۰/۲	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۹۱
ظرفیت مورد نیاز ۷ روز سوم	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۹

هیدرولیکی موجود استفاده شده است که در ادامه به توضیح آنها پرداخته می‌شود. برای شبیه‌سازی و بررسی سناریوهای مورد نظر به واسنجی و صحت‌سنجی مدل پرداخته شده است. سرریز

شبیه‌سازی جریان شبکه براساس داده‌های واقعی و داده‌های الگوی کشت، به صورت غیرماندگار در گام‌های زمانی پنج دقیقه انجام گرفته است. برای بررسی عملکرد این سناریوها در شبکه از شاخص‌های حساسیت‌سنجی

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳

$$S_{IOr} = \frac{\partial o/o}{\partial I/I} \quad (3)$$

در روابط بالا، S_{IOa} : شاخص حساسیت مطلق؛ و S_{IOr} : شاخص حساسیت نسبی است.

شاخص حساسیت دبی تحویلی آنگیر به تغییرات مطلق عمق آب بالادست سازه

دبی عبوری از سازه آنگیری در وضعیت آزاد جریان، تابع عمق آب بالادست و مقدار بازشدگی آن است؛ به طوری که اگر مقدار بازشدگی سازه ثابت باشد و عمق آب بالادست آنگیر به دلیل اختلال در دبی ورودی به کانال اصلی تغییر کند، مقدار دبی عبوری از آنگیر نیز تغییر کرده و عملکرد هیدرولیکی شبکه را متأثر می‌کند. با استفاده از رابطه ۴ می‌توان مقدار تأثیر تغییرات عمق آب بالادست سازه بر دبی آنگیر را بررسی کرد.

$$S_{hq} = \frac{d_q / q}{dH_{US(i)}} \quad (4)$$

در معادله بالا q : دبی اولیه عبوری؛ dq : تغییرات دبی در بالادست سازه؛ و dH_{US} : تغییرات عمق آب بالادست سازه است.

$$S_{Wq} = \frac{d_q / q}{dW} \quad (5)$$

جدول ۴. طبقه‌بندی حساسیت سازه‌های آنگیر (۱۱)

شاخص حساسیت	طبقه‌بندی حساسیت
> ۱	حساسیت کم
۱-۲	حساسیت متوسط
< ۲	حساسیت زیاد

در این جدول Q : مقدار دبی در کانال اصلی؛ q : دبی عبوری از دریچه؛ و W : مقدار بازشدگی از دریچه است.

ثابت سد انحرافی احداث شده بر روی شبکه موجب ایجاد تراز ثابت آب بالادست شده و به عنوان وضعیت مرز بالادست در شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی به کار گرفته شده است. با توجه به وجود سازه‌های کنترل دبی، که از نوع سرریزهای نوکاردرکی اند، دبی ثابتی در نظر گرفته شده و در مدل هیدرودینامیکی سوبک شبیه‌سازی شده است. به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل سوبک از شاخص‌های آماری حداکثر خطا (ME)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، بازده شبیه‌سازی (EF) و ضریب خطای پسماند استفاده شده است (CRM) (۸). برای واسنجی مدل از دوره یکماهه داده‌های واقعی بهره‌برداری (اردیبهشت ۱۳۸۸) استفاده شده است؛ بدین صورت که داده‌های ۱۵ روز اول برای واسنجی و داده‌های ۱۵ روز دوم برای صحت‌سنجی استفاده شده است.

۱.۲. شاخص‌های حساسیت‌سنجی هیدرولیکی

شاخص‌های حساسیت‌سنجی هیدرولیکی را می‌توان در سطوح سازه، بازه و مجموعه‌ای از بازه‌ها گسترش داد (رابطه ۱).

$$S_{IO} = \frac{\partial o}{\partial I} \quad (1)$$

که در آن S_{IO} : شاخص هیدرولیکی متغیر خروجی نسبت به متغیر ورودی؛ ∂o : تغییرات پارامتر هیدرولیکی خروجی؛ و ∂I : تغییرات پارامتر هیدرولیکی ورودی است. در واقع شاخص حساسیت هیدرولیکی نشان می‌دهد که اگر متغیر هیدرولیکی ورودی به مقدار ΔI تغییر کند، متغیر هیدرولیکی خروجی به چه مقدار تغییر خواهد کرد. رینالت و هماکمارا شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی مشابهی را مطابق روابط (۲) و (۳) ارائه کرده‌اند (۱۱).

$$S_{IOa} = \frac{\partial o/o}{\partial I} \quad (2)$$

مدیریت آب و آبیاری

جدول ۵. شاخص‌های مختلف حساسیت در سطح سازه

عنوان شاخص حساسیت	رابطه محاسباتی	محقق
دبی تحویلی آبگیر به تغییرات مطلق عمق بالادست آب	$S_{hq(a)} = \frac{dq_0/q_0}{dH_{US(0)}}$	کوچک‌زاده و منتظر (۱۰)
دبی تحویلی آبگیر به تغییر بازشدگی دریچه	$S_{Wq} = \frac{dq_0/q_0}{dW_0}$	رینالت و هماکمارا (۱۱)

جدول ۶. پارامترهای آماری واسنجی و صحت‌سنجی مدل سوپک در کانال‌های شبکه مطالعه‌شده

پارامتر آماری	کانال SH		کانال AU		کانال BV	
	واسنجی	صحت‌سنجی	واسنجی	صحت‌سنجی	واسنجی	صحت‌سنجی
ME(m ³ /s)	۰/۰۲۵	۰/۰۳۰	۰/۰۲۶	۰/۰۳۳	۰/۰۲۸	۰/۰۳۱
RMSE(m ³ /s)	۰/۹۹۶	۱/۱۱۶	۱/۰۸۶	۱/۱۱۲	۱/۰۷۹	۱/۱۱۴
EF	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶	۰/۹۹۷	۰/۹۹۸
CRM	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۱

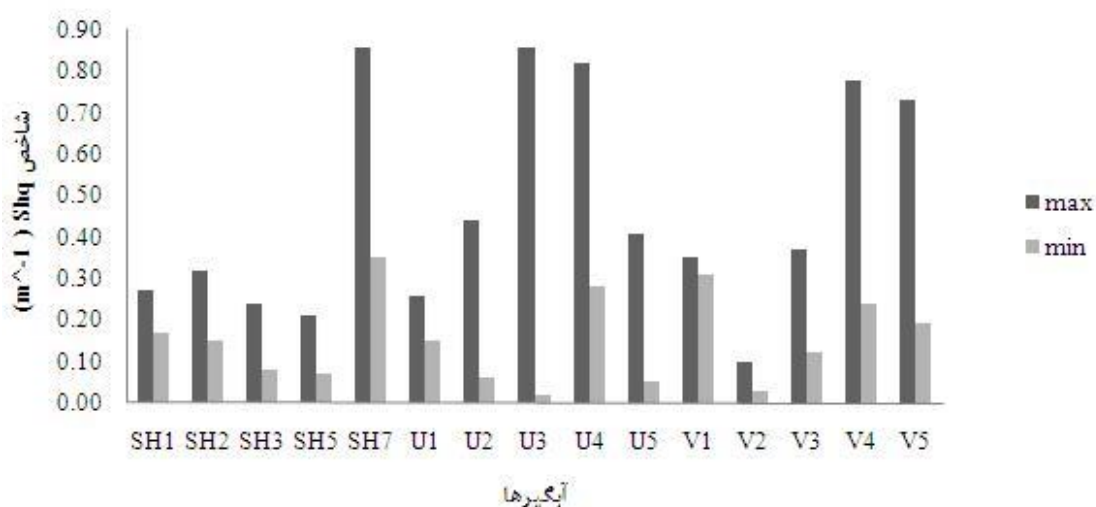
۳. نتایج و بحث

مقادیر میانگین شاخص‌های آماری برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل (شدت جریان عبوری از بازه‌های کانال‌ها) در هر یک از کانال‌های SH، AU، BV در جدول ۶ نشان داده شده است. مقادیر بیانگر این مطلب است که مدل به‌خوبی واسنجی شده و از این‌رو می‌تواند برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف برای شبکه آبیاری ورامین به‌کار گرفته شود و از دقت مطلوبی برخوردار باشد. در ادامه به بررسی نتایج به‌دست‌آمده از مدل برای سناریوهای مطرح‌شده پرداخته شده است.

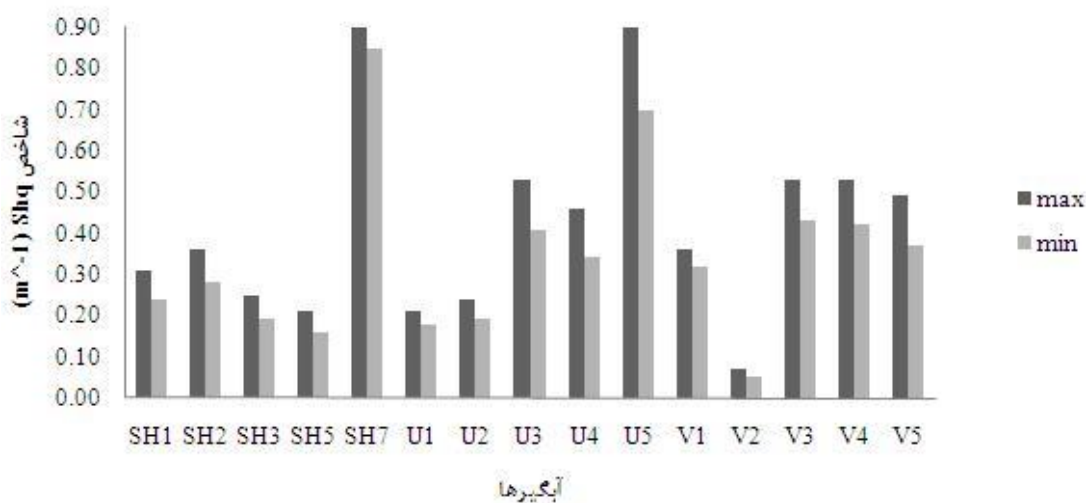
سازه نیرپیک طوری طراحی می‌شود که دبی عبوری نسبت به تغییرات عمق آب بالادست، از مقطع سازه تغییر زیادی نداشته باشد. بنابراین انتظار می‌رود که این سازه نسبت به تغییرات عمق آب بالادست، حساسیت چندانی در مقادیر شاخص S_{hq} از خود نشان ندهد. در تحقیق حاضر به شبیه‌سازی دو نوع داده واقعی و محاسباتی برای حساسیت‌سنجی سازه‌های نیرپیک در شبکه آبیاری ورامین

پرداخته شده است. نتایج شبیه‌سازی در بین داده‌های واقعی و محاسبه‌شده نشان می‌دهند (شکل‌های ۲ و ۳) در کانال AU سازه نیرپیک U3 با دارا بودن S_{hq} برابر ۰/۰۲ کمترین مقدار و به‌تبع آن کمترین حساسیت را نسبت به تغییرات عمق آب بالادست دارد. حساسیت کم سازه نیرپیک U3 به‌دلیل قرارگیری در میانه کانال AU است، زیرا سازه تنظیم‌کننده پایین‌دست این سازه می‌تواند در زمان مناسبی آب مورد نیاز سازه نیرپیک را تأمین کند و در نتیجه تغییر زیادی در عمق ایجاد نمی‌شود. در کانال BV سازه نیرپیک V2 با دارا بودن S_{hq} برابر ۰/۰۵، کمترین حساسیت را به تغییرات عمق آب بالادست در میان تمامی سازه‌های موجود در کانال BV دارد. زیرا در سرریزهای نیرپیک، افزایش ظرفیت دریچه‌ها سبب کاهش حساسیت می‌شود و سازه نیرپیک V2 نیز به‌دلیل داشتن اراضی تحت پوشش زیاد دارای بیشترین ظرفیت در میان سازه‌های موجود کانال BV بوده و از نوع مدول CI است.

مدیریت آب و آبیاری



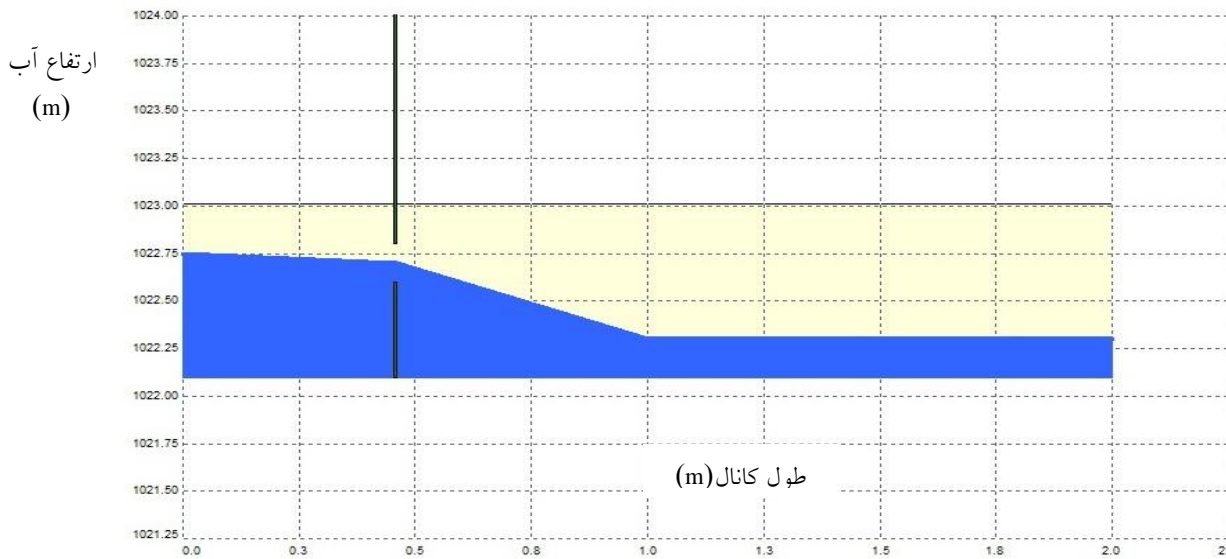
شکل ۲. شاخص حساسیت دبی تحویلی سازه آبگیر به تغییرات مطلق عمق بالادست سازه (داده‌های واقعی)



شکل ۳. شاخص حساسیت دبی تحویلی سازه آبگیر به تغییرات مطلق عمق بالادست سازه (داده‌های محاسبه شده)

سازه نیرپیک SH7 به دلیل عمق کم آب در کانال و عبور دبی از مقطع سرریز سازه است، زیرا عمق جریان به حدی نرسیده است که تیغه‌های این مدول موجب کنترل جریان عبوری و کاهش تأثیر تغییر عمق آب در کانال شود و در نتیجه سازه به عنوان یک سرریز عمل می‌کند (شکل ۴).

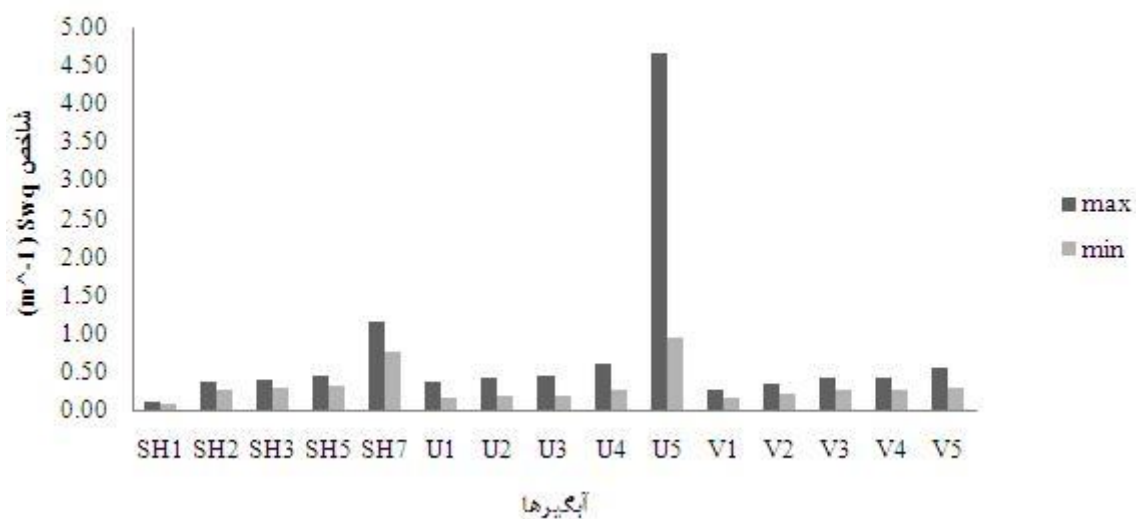
با توجه به نتایج به دست آمده از کانال SH، سازه نیرپیک SH7 به ازای $0/01$ (m) تغییر عمق آب بالادست، $1/4$ درصد تغییر در دبی عبوری را داراست که در دامنه متوسط قرار دارد. این مقدار، بالاترین حساسیت در بین نتایج به دست آمده از کانال SH است. زیاد بودن حساسیت



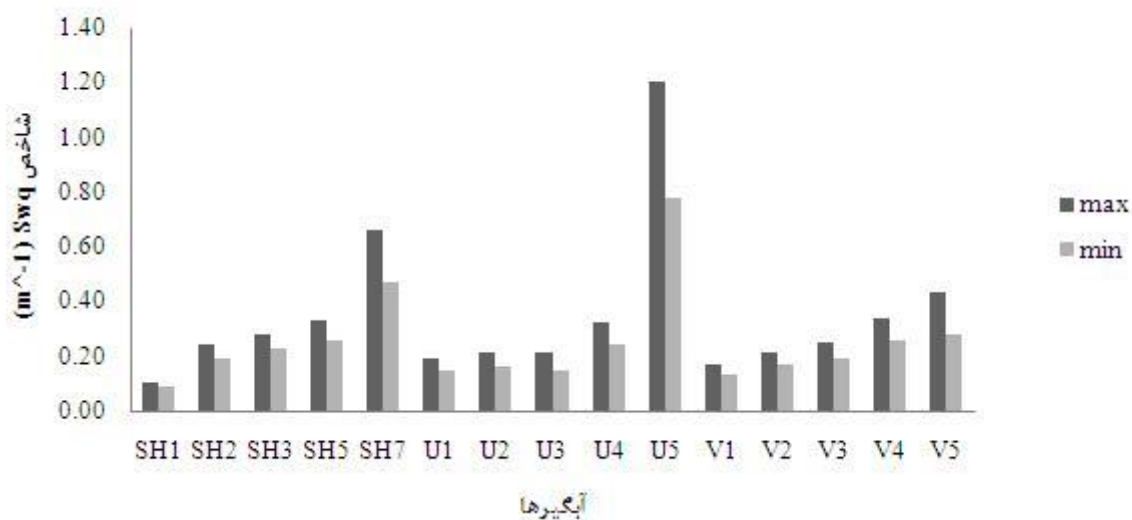
شکل ۴. عملکرد سازه نریپیک SH7 در مدل سوپک (عدم کارکرد تیغه‌های مدول در اثر کم بودن عمق جریان)

تنظیم خروجی کانال AU صورت گرفته باشد و تأثیری در سازه نریپیک U1 نداشته باشد. در کانال SH بیشترین کمترین حساسیت شاخص حساسیت دبی تحویلی آنگیر به تغییر بازشدگی دریچه به ترتیب برای سازه‌های نریپیک SH7 و SH1 است. سازه نریپیک SH7 با دارا بودن مقادیر Swq برابر $1/14$ (داده واقعی) و $0/66$ (داده محاسبه شده) بیشینه حساسیت را در این شاخص داشته است. با توجه به مقدار شاخص در داده‌های محاسبه شده و دامنه موجود بین این ارقام، می‌توان به این نتیجه رسید که اگر مقدار آب تحویلی شبکه به سازه‌های نریپیک برابر با مقدار آب مورد نیاز سازه‌ها براساس الگوی کشت باشد، حساس‌ترین سازه نیز ممکن است در دبی عبوری خود تغییرات زیادی نداشته باشد. سازه نریپیک SH1 با مقدار $0/09$ برای Swq کمترین حساسیت را در داده‌های واقعی و محاسبه شده، نسبت به بازشدگی دریچه داشته و دبی عبوری از این سازه تغییرات زیادی نداشته است.

در ادامه به بررسی نتایج شبیه‌سازی شاخص حساسیت دبی تحویلی آنگیر به تغییر بازشدگی دریچه در بین داده‌های واقعی و محاسبه شده پرداخته می‌شود (شکل‌های ۵ و ۶). در کانال AU در مورد شاخص ذکر شده، سازه نریپیک U5 با دارا بودن مقادیر Swq برابر $4/65$ (داده واقعی) و $1/20$ (داده محاسبه شده) بیشترین حساسیت را به تغییرات بازشدگی دریچه از خود نشان داده است. حساسیت زیاد نشان‌دهنده این است که مقدار بازشدگی دریچه موجود در سازه، ارتفاع آب بالادست را کاهش داده است و در نتیجه تغییرات چشمگیری در مقدار دبی عبوری خواهد داشت. سازه نریپیک U1 به ترتیب با مقادیر Swq برابر $0/17$ (داده واقعی) و $0/15$ (داده محاسبه شده) کمترین حساسیت تغییرات بازشدگی دریچه را در کانال AU دارد. حساسیت کم این سازه به علت قرارگیری آن در ابتدای کانال AU است، زیرا تنظیمات مناسب برای آنگیری سازه U1 توسط سازه تقسیم کانال AU صورت می‌گیرد. این امر سبب می‌شود تغییرات ارتفاع در سازه



شکل ۵. شاخص حساسیت دبی تحویلی آبگیر به تغییر بازشدگی دریاچه (داده‌های واقعی)



شکل ۶. شاخص حساسیت دبی تحویلی آبگیر به تغییر بازشدگی دریاچه (داده‌های محاسبه شده)

بیشترین تغییر دبی عبوری متأثر از تغییرات بازشدگی دریاچه متعلق به داده‌های محاسبه شده است. سازه نیرپیک V1 با مقادیر ۰/۱۶ (واقعی) و ۰/۱۳ (محاسبه شده) کمترین تغییر را در دبی عبوری با توجه به تغییرات بازشدگی از

تحلیل نتایج به دست آمده از کانال BV نشان می‌دهد سازه نیرپیک V5 در داده‌های واقعی و محاسبه شده، به ترتیب با مقادیر S_{wq} برابر ۰/۵۵ و ۰/۴۳ حساس‌ترین سازه آبگیر است. براساس نتایج می‌توان اذعان داشت که

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳

ابتدایی، حساسیت بسیار کمی به بازشدگی دارند. براساس یافته‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که، بازشدگی سازه‌ها باید به‌صورتی تنظیم شود که دبی عبوری همه سازه‌های آبیگر تأمین شود و این مقدار بازشدگی در هر یک از مدول‌ها براساس ظرفیت مورد نیاز پایین‌دست آنها صورت گیرد، زیرا در این شبکه همه سازه‌ها در حالت واقعی و اجرایی به‌صورت یکسان باز می‌شوند، در صورتی که امکان دریافت آب بیش از نیاز در برخی از آبیگرها وجود دارد. این عمل، خود دلیلی است که آب مورد نیاز پایین‌دست شبکه تأمین نشود و بالادست شبکه نیز هدررفت زیادی داشته باشد. بنابر نتایج به‌دست‌آمده می‌توان برنامه‌ریزی جدیدی نسبت به تحویل و توزیع آب به مدیریت شبکه آبیاری و زهکشی ورامین انجام داد. برای بهره‌برداری بهینه از شبکه، بهتر است براساس مقدار ظرفیت مورد نیاز اراضی پایین‌دست، آب در اختیار آبران قرار گیرد. زیرا نتایج نشان می‌دهد که در هر دو معادله حساسیت‌سنجی براساس عمق بالادست و مقدار بازشدگی مدول‌ها، سازه‌های انتهایی حساسیت بیشتری دارند. در نتیجه بهترین روش تأمین عمق آب برای پایین‌دست تحویل و توزیع آب براساس نیاز پایین‌دست هر کانال است. در این وضعیت عمق آب در همه آبیگرها تأمین می‌شود و در مقدار بازشدگی مدول‌ها نیز تغییری ایجاد نمی‌شود.

منابع

۱. بیرامی م ک (۱۳۸۸) سازه‌های انتقال آب. چاپ هشتم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان. ۴۶۳ صفحه.

خود نشان داده است و حساسیت کمی به تغییرات بازشدگی دارد. سازه نیرپیک SH1، حساس‌ترین سازه نسبت به تغییرات بازشدگی دریچه در کل شبکه آبیاری ورامین است. کم بودن حساسیت این سازه نیرپیک به دلیل قرارگیری در ابتدای محل آبیگری کلی شبکه است، زیرا در هر وضعیتی، آب مورد نیاز این آبیگر تأمین بوده است و در نتیجه تغییرات زیادی در دبی عبوری، و به تبع آن در مقدار بازشدگی دریچه آن ایجاد نمی‌شود.

۴. نتیجه‌گیری

بررسی‌ها و آنالیز حساسیت هیدرولیکی در سازه‌های شبکه آبیاری و زهکشی ورامین در این تحقیق نشان داد که سازه‌های نیرپیک موجود در این شبکه، حساسیت زیادی دارند. براساس نتایج، حساسیت سازه‌های نیرپیک نسبت به عمق بالادست در بیشتر سازه‌های انتهایی رخ داده است. در کانال SH، مدول نیرپیک SH7، در کانال AU مدول نیرپیک U3 و در کانال BV مدول نیرپیک V5 به ترتیب مدول‌های انتهایی، میانی و انتهایی کانال‌های بررسی‌شده در این تحقیق‌اند، که حساسیت زیادی به عمق بالادست در بررسی داده‌های واقعی و محاسبه‌شده نشان داده‌اند. حساسیت زیاد به تغییرات عمق بالادست بدین معناست که به‌علت قرار گرفتن این مدول‌ها در قسمت‌های انتهایی و میانی کانال‌ها، عمق آب در کانال کم شده و دبی عبوری از مقطع سازه، از قسمت سرریز سازه عبور کرده است و این سازه‌ها به‌عنوان سرریز عمل می‌کنند. به‌عبارت دیگر، عمق جریان به‌حدی نرسیده است که تیغه‌های این مدول موجب کنترل جریان عبوری و کاهش تأثیر عمق آب در کانال شود.

در کل بررسی‌های صورت‌گرفته در شاخص حساسیت دبی تحویلی آبیگر به تغییرات بازشدگی دریچه، مشاهده شده است که حساس‌ترین سازه در انتهای هر یک از کانال‌ها قرار گرفته است و سازه‌های

7. FAO 63(2007) Modernizing Irrigation Management – the MASSCOTE Approach Mapping System and Services for Canal Operation Techniques. 227 pages.
 8. Jabro JD Toth JD and Fox RH (1998) Evaluation and comparison of five simulation models for estimating water drainage fluxes under corn. J. Environmental Quality. 27.1376-1381.
 9. Ghumman AR, Khan Z and Turrall H (2009) Study of feasibility of night-closure of irrigation canals for water saving. Agriculture Water Management. 96(2009): 457-464.
 10. Montazar A and Kouchakzadeh S (2005) Application of hydraulic sensitivity indicators in canal assessment. Irrigation and Drainage. 54: 443-454.
 11. Renault D, Hemakumara H M (1999) Irrigation Offtakes Sensitivity, J. Irrig. Drain Eng., 125(3), 131–136.
 12. Renault D (2000) Aggregated hydraulic sensitivity indicators for irrigation system behavior. Agricultural Water Management. 43(2):151-171.
 13. Shanani L (1992) Planning and Management of Irrigation Systems in Developing Countries. Agricultural Water Management. 22(1 and 2).
 14. WL/Delft Hydraulic (2000) Sobek Manual and Technical Reference The Netherlands.
۲. سیدموسوی س م (۱۳۹۱) طراحی و ارزیابی سامانه‌های کنترل خودکار در شبکه‌های آبیاری و زهکشی - مطالعه موردی: کانال اصلی شبکه آبیاری و زهکشی سد دوستی. دانشگاه تهران. تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
 ۳. کوچک‌زاده ص. و حیدری م (۱۳۹۱) گزارش نهایی بررسی آزمایشگاهی کارایی روابط حساسیت هیدرولیکی برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های روباز در جریان غیرماندگار. مجری طرح دانشگاه تهران. تهران.
 ۴. گزارش شرکت بهره‌برداری و آبیاری استان تهران (۱۳۷۹) حوزه مدیریت آبیاری جنوب شرق تهران. ۱۲۰ صفحه.
 ۵. منتظرع. ، کوچک‌زاده ص. و امید م ح (۱۳۸۵) توسعه تعدادی از شاخص‌های حساسیت هیدرولیکی سازه‌ای و کاربرد آنها در تحلیل فرایند بهره‌برداری کانال‌های آبیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال دهم. شماره سوم (الف): ۱۲۱-۱۳۷.
 ۶. منتظرع (۱۳۸۳). توسعه یک مدل بهره‌برداری کانال‌ها مبتنی بر حساسیت‌سنجی هیدرولیکی سازه‌های آبی. دانشگاه تهران. تهران. رساله دکتری.