

ارزیابی عملکرد هیدرولیکی ساختمان‌های آبگیر و تنظیم سطح آب در شبکه‌های آبیاری زاینده‌رود و درودزن

حمیدرضا سالمی*

* نگارنده مسئول: استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، نشانی: اصفهان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، ص. پ. ۱۹۹-۸۱۷۸۵، دورنگار: ۰۲۲(۷۷۵۷)۳۱۱(۰) پیام‌نگار: hr_salemiuk@yahoo.com تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۹

چکیده

کنترل ناصحیح و بی‌دقتی در تنظیم و توزیع جریان در شبکه‌های مدرن تاکنون موجب پایین آمدن راندمان توزیع و به‌دنبال آن بروز مشکلاتی در بهره‌برداری اقتصادی از شبکه‌های آبیاری شده است. نظر به اهمیت موضوع ارزیابی سامانه‌های کنترل جریان، در این مطالعه دو سامانه کنترل از نوع نیربیک (شبکه آبیاری زاینده‌رود اصفهان) و طراحی دفتر عمران اراضی ایالات متحده (شبکه آبیاری درودزن فارس) بررسی و سازه‌های مناسب از لحاظ هیدرولیکی توصیه شده است. ضمن بازدیدهای مکرر از این دو شبکه، با استفاده از آلبوم‌ها و پلان نقشه‌های طراحی، تعدادی از ساختمان‌های تنظیم سطح آب و سازه‌های تنظیم جریان به‌عنوان سازه‌های نمونه انتخاب گردیدند. بده واقعی، یعنی همان بده تحویلی به مزارع، با بده اسمی مقایسه شد. افت انرژی در ساختمان‌های کنترل جریان (دریچه‌های مدول نیربیک از نوع C2, L2, XX2، دریچه‌های C.H.O، دریچه‌های آمیل، اویو، کشویی و سرریزهای نوک اردکی) برای محدوده‌ای مشخص از بده کانال‌ها اندازه‌گیری و با افت انرژی مجاز که با استفاده از روابط تئوری افت انرژی بده به‌دست آمده، مقایسه شد. در این مطالعه، از مشخصه‌های کی‌دو و خطای نسبی به‌منظور تجزیه و تحلیل استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تفاوت مقادیر بده اسمی و مقادیر بده واقعی در شبکه درودزن در سطح احتمال ۵ درصد ($P \leq 0.05$) معنی‌دار است. این تفاوت در شبکه زاینده‌رود معنی‌دار نیست. با توجه به معنی‌دار نبودن تفاوت مقادیر بده اسمی و بده واقعی و مقادیر کمتر خطای نسبی در شبکه زاینده‌رود، دریچه‌های مدول نیربیک به‌عنوان برترین سازه تنظیم جریان معرفی شدند. همچنین، دریچه آمیل و سرریزهای نوک اردکی به‌لحاظ داشتن حداقل درصد خطای نسبی و معنی‌دار نشدن تفاوت افت انرژی مجاز و افت انرژی اندازه‌گیری شده، به‌عنوان برترین تنظیم‌کننده‌های سطح آب پیشنهاد شدند.

واژه‌های کلیدی

سازه‌های تنظیم‌کننده جریان، شبکه آبیاری، عملکرد هیدرولیکی

مقدمه

مدرن شده‌اند، و راندمان انتقال در این شبکه‌ها قابل قبول است، ولی نبودن کنترل و دقت در توزیع آب سبب کاهش راندمان توزیع و هدر رفت سرمایه‌های ملی می‌شود. برای جلوگیری از بروز این مشکل باید در طراحی و انتخاب ساختمان‌های تنظیم‌کننده سطح آب^۱ و سازه‌های

کانال‌های آبرسانی و سازه‌های وابسته باید وظیفه انتقال، توزیع و تنظیم جریان را به‌طور مؤثر و مفید با حداقل عملیات نگهداری انجام دهند. اکثر سدهای کشور با صرف هزینه‌های بسیار سنگین دارای شبکه آبیاری

هیدرولیکی جریان آب در شبکه‌های آبیاری است. از این‌رو ارزیابی کمی و دقیق عملکرد روش‌های طراحی شبکه‌ها، مستلزم تعیین رفتار هیدرولیکی جریان شبکه در طول زمان است.

در تحقیقات جوان و همکاران (Javan *et al.*, 2002) به‌منظور ارزیابی عملکرد مدیریت آب در شبکه آبیاری درودزن فارس از شاخص کفایت^۴ استفاده شده است. بر این اساس بازده کلی شبکه، که حاصل ضرب بازده‌های انتقال، توزیع و کاربرد است، محاسبه شد. شاخص کفایت شاخصی است که تناسب مقدار واقعی آب تحویلی را به مقدار آب مورد نیاز منعکس می‌کند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که توزیع و انتقال آب در این شبکه وضعیتی نامطمئن دارد. راندمان کلی پروژه در سال‌های خشک و مرطوب به‌ترتیب ۴۶/۲۸ و ۴۶/۸۶ درصد گزارش شده است.

بدون کسب اطلاعات کافی از حساسیت‌های سازه‌های موجود در شبکه، شناخت عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های آبیاری مقدور نیست. تحقیقات رنوا و همکاران (Renault *et al.*, 2001) در مورد شاخص حساسیت^۵ به‌منظور بررسی تغییرات این شاخص در سازه‌های مختلف کانال‌ها نشان می‌دهد که دو فاکتور مهم یکی نوع جریان عبوری از سازه آبرگیر (عبور آب از روی سازه و زیر سازه) و دیگری بار انرژی آب بر این شاخص تأثیرگذارند. در این تحقیق معلوم شده که این شاخص تابعی از میزان بده عبوری از سازه است و با کاهش عمق جریان، افزایش می‌یابد. شاخص‌های حساسیت در ارزیابی پتانسیل سازه‌ها و بازه‌های کانال به عملیات بهره‌برداری، کارایی قابل توجهی دارند. تعیین این شاخص به مدیران در شرایط بهره‌بردار کمک می‌کند تا با مقایسه سازه‌های مختلف، سازه‌های حساس را مشخص کنند و کنترل و بازرسی بیشتری بر آنها داشته باشند یا برای تعمیر و تعویض سازه‌های حساس تصمیم‌گیری کنند.

تنظیم‌کننده جریان^۱ (آبرگیرها)^۲ کاملاً دقت شود تا در آینده شبکه‌های آبیاری با مسایلی همچون غیر قابل استفاده بودن بعضی از این سازه‌ها مواجه نشوند. قبل از طراحی شبکه آبیاری، تصمیم‌گیری در خصوص عملکرد، اجزای تشکیل‌دهنده (دستی یا اتوماتیک)، و نحوه انتخاب سازه‌ها به‌منظور تنظیم سطح آب و آبرگیری اهمیت به‌سزایی دارد و بررسی لازم برای تعیین سامانه‌های کنترل جریان آب و انتخاب یک سامانه کنترل مناسب برای توزیع دقیق‌تر آب، الزامی است. عملکرد خوب این سازه‌ها، از وقوع مشکلاتی مانند برداشت غیر مجاز آب و تنظیم نشدن دقیق و به‌موقع جریان جلوگیری خواهد کرد. بررسی‌های منعم و همکاران (Monem *et al.*, 2000) نشان می‌دهد که عملکرد اغلب شبکه‌های آبیاری در کشور پایین‌تر از حد انتظار است. در تحقیق فوق، بررسی عملکرد شبکه آبیاری قزوین نشان می‌دهد که عملکرد سامانه از دیدگاه فنی - هیدرولیکی ۶۲ درصد بوده است که در طبقه خوب قرار می‌گیرد. عملکرد این شبکه از دیدگاه فنی بالاترین و از دیدگاه مدیریتی حداقل تعیین شده است.

در بسیاری از کشورها از جمله ایران، عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی پایین‌تر از استانداردهاست. تحویل و توزیع نامناسب آب علاوه بر ایجاد نارضایتی بین کشاورزان پایین‌دست و پایین آمدن عملکرد محصول آنها، موجب افزایش تلفات آب در سطح شبکه نیز می‌شود (Tabaee & Montazar, 2013). دانشمندان علم آبیاری، برای برآورد عملکرد شبکه‌های آبیاری شاخص‌هایی متعدد در نظر گرفته‌اند که مهم‌ترین این شاخص‌ها را مولدن و گیتس^۳ در سال ۱۹۹۰ معرفی کرده‌اند بدین‌گونه که از طریق شاخص‌های کفایت تحویل آب، قابلیت اطمینان و عدالت، به ارزیابی عملکرد تحویل آب در شبکه‌های آبیاری پرداخته می‌شود (Molden & Gates, 1990). عملکرد روش بهره‌برداری در شبکه انتقال و توزیع آب تابع رفتار

1- Discharge Regulator Structures
3- Molden and Gates
5- Sensitivity Indicator

2- Turnouts
4- Adequacy Indicator

کانال‌های آبیاری هست. امروزه این سامانه جدید و پیشرفته به‌عنوان تنظیم‌کننده نوع سوم به‌وسیله شرکت نیرپیک با استفاده از اصول هیدرومکانیک در کشورهای مختلف از جمله فرانسه، الجزایر، مراکش، اسپانیا، پرتغال، برزیل و ایالات متحده آمریکا توسعه داده شده و در صدها کانال‌های آبیاری نصب گردیده است.

یکی دیگر از سامانه‌های کنترل جریان از پایین دست که به‌وسیله دفتر عمران اراضی ایالات متحده^۱ ارائه و عملکرد هیدرولیکی آن مطالعه شده است، سامانه EL-FLO نام دارد. این سامانه در آمریکا به‌منظور توسعه و کنترل محلی برای بهره‌برداری از سامانه توزیع آب بر اساس نیاز در کانال‌های شیب‌دار مورد آزمایش قرار گرفت ولی مورد بهره‌برداری واقع نشد (Burt et al., 2001).

در پژوهشی دیگر، یک دریچه کنترل سطح آب از بالادست از نوع نیرپیک در شرایط جریان مستغرق و آزاد به کمک مدل ریاضی شبیه‌سازی شد. حرکت این دریچه‌ها با یک حجم شناور و یک دریچه ایجاد شد که تحت تأثیر فشار هیدرولیکی است. نتایج مدل با استفاده از قانون تعادل و قانون بده نشان داد که سامانه‌های اتوماتیک نیرپیک در شبکه‌های آبیاری مدرن می‌توانند به‌منظور کنترل سطح آب و جریان به‌کار گرفته شوند (Belaud et al., 2008).

جورابلو و سرکارده (Jorabloo & Sarkardeh, 2010) برای ارزیابی عملکرد هیدرولیکی و شناخت عوامل مؤثر در بهره‌وری شبکه‌های مدرن آبیاری، شش نوع مدول نیرپیک را در شبکه آبیاری گرمسار بررسی کردند. مدول‌های نیرپیک که مانند سرریز عمل می‌کنند در حد بسیار بالایی به تغییرات عمق آب بالادست حساس‌اند. از این رو باید شرایط هیدرولیکی برای تبدیل حالت سرریزی به مجرای عبور آب ایجاد گردد. این موضوع مهم با تنظیم دقیق دریچه‌های آمیل نسبت به تراز سطح آب در ورودی کانال اصلی در شرایط عمق آب حداقل و حداکثر تأمین می‌شود.

در بررسی نه شبکه آبیاری که در اسپانیا انجام شد، شاخص‌های عملکرد با استفاده از روش آنالیز چند متغیره خوشه‌بندی^۱ ارزیابی شدند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که نواحی آبیاری با عملکرد هیدرولیکی پایین‌تر، امکان استفاده از روش‌های مدرن آبیاری را ندارند. همچنین، تکرار فرایند ارزیابی دقیق عملکرد شبکه‌ها در دوره‌های زمانی مشخص ابزاری در ارتقای عملکرد نواحی آبیاری معرفی شده است (Rodríguez et al., 2008).

سامانه‌های نیرپیک^۲ که سامانه کنترل حجم ثابت نیز نامیده می‌شوند، در سال ۱۹۶۰ به‌وسیله مشاور سوگرا^۳ از طریق برنامه شبیه‌سازی هیدرولیکی ارائه شده است. طراحی اولیه این سامانه‌ها را شرکت نیرپیک در سال ۱۹۱۷ در گرونوبل، فرانسه به‌عهده داشته است. این سامانه سطح آب را به‌نحوی تنظیم می‌کند که در هر زمان حداکثر آبیگری ممکن باشد و حجم ثابت آب را در امتداد بالادست و یا پایین دست جریان آب حفظ کند. سال‌ها بعد سامانه کنترل بر اساس نیاز به‌عنوان یک راه حل اقتصادی، معرفی شد که کاربرد رضایت‌بخشی داشت (Kraatz & Mahajan, 1975; Belaud et al., 2008).

در زمینه عملکرد هیدرولیکی دریچه‌های خودکار دو منظوره در قالب سازه‌های تنظیم‌کننده سطح آب می‌توان به تحقیقات کاسان و همکاران (Cassan et al., 2010) در پروژه باسرون لانگداک، یکی از شبکه‌های آبیاری جنوب فرانسه، اشاره کرد. سه سامانه کنترل شبکه شامل: ۱- کنترل بالادست-پایین دست (دریچه‌های هیدرومکانیکی)، ۲- کنترل بالادست اتوماتیک و ۳- کنترل پایین دست اتوماتیک، برای کانال اصلی پروژه انتخاب و به کمک مدل هیدرودینامیکی ارزیابی شدند. بر اساس نتایج مطالعه فوق، به‌رغم پیچیدگی دریچه‌های خودکار هیدرومکانیک، مشخص شد که سامانه اول یعنی تبدیل‌شونده بالادست-پایین دست (دریچه‌های هیدرومکانیکی) قادر به ایجاد یک تراز آب مطمئن در

1- Clustering
3- Sugrah

2- Neyrpic
4- U.S.B.R

عبور آب ایجاد می‌کنند. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که دریچه‌های تک نقابه، نسبت به دریچه‌های دو نقابه، در برابر تغییرات عمق آب روی تاج سرریز حساسیت بیشتری دارند. در تحقیقی دیگر روی این دریچه‌ها در شبکه آبیاری طالقان رود، کاربرد مدول‌های نیرپیک در شبکه‌های جدیدالاحداث توصیه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشتر خطاهای مشاهده شده به نحوه ساخت و تغییرات ضرایب هیدرولیکی مربوط است. همچنین پیشنهاد شده که جزئیات ساختمانی مدول‌های نیرپیک اصلی که در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار داشته‌اند و منحنی نظری سازنده برای آن ارائه شده در اختیار دستگاه‌های اجرایی و بهره‌بردارانی قرار داده شود تا با مقایسه مدول‌های موجود، از حدود کارایی آنها اطلاع حاصل شود (Razavi- Nabavi, 1994).

با کمبود روزافزون آب، تمایل در چند کشور جهان به سوی روش کنترل دینامیکی معطوف شده است، در این روش که، بهره‌برداری بر اساس کنترل رایانه‌ای و خودکار پیش می‌رود، امکان کنترل از راه دور میسر خواهد شد، و بده جریان و سطح آب به‌طور مداوم و خودکار در حالت بهینه نگهداری می‌شود. بهره‌برداری از این سامانه که در فرانسه مورد استفاده قرارگرفت رضایت‌بخش اعلام شده است (Merrey, 1996).

تحقیقات انجام شده در شبکه‌های آبیاری دز، سفیدرود، دشت قزوین و ورامین نشان می‌دهد که در روش کنترل جریان به‌صورت کاملاً دستی^۱، هزینه‌ی احداث پایین بوده ولی بهره‌برداری از آن پر زحمت است. توزیع آب در حالت کنترل جریان به‌وسیله‌ی توزیع‌کننده‌های هیدرولیکی منصفانه تشخیص داده شده است. در این توزیع‌کننده‌ها ارتفاع آب به‌نحوی طراحی می‌شود که ارتفاع لازم برای آبدگیر تأمین شود. مطالعه فوق استفاده از سامانه‌ی تمام اتوماتیک^۲ را برای شرایطی مناسب می‌داند که کانال‌ها، سازه‌های وابسته، و تمامی سامانه‌های

در این مطالعه میانگین تغییرات بده در دریچه‌های مدول نیرپیک به‌ازای نوسانات سطح آب به‌میزان ۱۵ سانتی‌متر بالاتر از حد استاندارد (۵-۱۰ درصد) گزارش شده است. باید توجه داشت که وجود مقادیر زیاد رسوب در شبکه و تعمیر و نگهداری نامناسب سازه‌های فرسوده از دلایل اصلی این مشکل در شبکه آبیاری گرمسار است.

زحمت‌کش و منتظر (Zahmatkesh & Montazar, 2011) با بررسی شاخص‌های ارزیابی عملکرد هیدرولیکی در کانال اصلی نارمادا در کشور هند، که یکی از بزرگ‌ترین شبکه‌های آبیاری جهان است، نشان دادند که سامانه‌های کنترل از پایین‌دست ترکیبی پس‌خورد و پیش‌خورد، در کنترل جریان و مستهلک کردن اغتشاشات و اختلالات سازه‌های تنظیم‌کننده از دقت و پتانسیل قابل توجهی برخوردار هستند و امکان تحقق توزیع تقاضا مدار و ارتقاء راندمان سیستم توزیع کانال را فراهم می‌کنند.

اونال و همکاران (Unal et al., 2004) در شبکه آبیاری ۱۳۰۰۰ هکتاری گدیز واقع در غرب ترکیه طی یک تحقیق دو ساله دریافتند که ظرفیت آب تحویلی به کانال‌های درجه ۳ برای پاسخگویی به نیاز آبی محصولات کشت شده کافی نیست. این محققان گزارش دادند که افزایش ظرفیت کانال‌های موجود در شبکه و یا احداث کانال‌های جدید مجهز به سامانه‌های کنترل جریان تمام اتوماتیک راه‌حل این مشکل خواهد بود.

در گزارش تحقیقاتی کاظمی محسن‌آبادی و همکاران (Kazemimohsenabadi et al., 2007) در باره‌ی شبکه آبیاری دشت قزوین گفته شده است که به‌واسطه‌ی استغراق برخی از دریچه‌های مدول نیرپیک در پایین‌دست و نیز تخلیه نشدن کامل رسوبات از داخل کانال‌های مجاور آبدگیرها، در دریچه‌های یک یا دو نقابه (XX1 و XX2)، نسبت به بده اسمی و محاسباتی، بده کمتری وارد کانال‌های پایین‌دست می‌شود. در این شبکه، دریچه‌های تنظیم‌کننده آمیل نیز افتی بیش از افت اسمی در مسیر

به‌عنوان مثال مطالعه جورابلو و سرکارده (Jorabloo & Sarkardeh, 2010) در شبکه آبیاری گرمسار نشان می‌دهد که در اندازه‌گیری بده عبوری توسط مدول‌های نیروپیک و امکان وقوع اختلالات سازه‌ای در این روش طراحی (نیروپیک) دشواری‌هایی وجود دارد. تحقیقات انجام شده در شبکه‌های آبیاری دز، سفیدرود، دشت قزوین و ورامین نیز نشان می‌دهد که در روش‌های کنترل جریان دستی شامل دریاچه‌های کشویی و قطاعی (طراحی دفتر عمران اراضی ایالات متحده) هزینه‌ی احداث پایین است که با نگاهی مثبت مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در هر حال، باور عمومی در خصوص آبگیرهای غیر مدول در شرایط نوسان سطح آب، ایجاد ظرفیت عبوری متغیر و فقدان دقت کافی در تنظیم بده برداشتی بوده در حالی که عملکرد مدول‌های نیروپیک در شرایط فوق قابل قبول است (فرضیه پژوهش).

با توجه به این حقیقت که نوع سامانه کنترل جریان در هر شبکه آبیاری، رابطه‌ای مستقیم با عملکرد شبکه دارد (Burt, 1988) و نیز به‌منظور افزایش راندمان بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری، بهتر است قبل از انتخاب یک سامانه طراحی سازه‌های کنترل‌کننده جریان و سطح آب، به ارزیابی دقیق عملکرد هیدرولیکی سازه در ارتباط با هر روش طراحی پرداخته شود تا انتخاب بهترین سامانه و سازه کنترل جریان امکان‌پذیر گردد. برای رسیدن به این هدف، در این تحقیق سازه‌های تنظیم‌کننده سطح آب و تنظیم جریان در شبکه‌های آبیاری زاینده‌رود اصفهان (طراحی نیروپیک) و درودزن فارس (طراحی اداره عمران اراضی ایالات متحده) از نظر عملکرد هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفتند و دریاچه‌های آبگیر و سازه‌های تنظیم‌کننده‌ای تعیین شده‌اند که از لحاظ دقت تحویل بده و تنظیم تراز آب دقت لازم را دارند.

الکتریکی در بهترین شرایط بهره‌برداری عمل کنند (Ghamarnia, 1991).

مطالعات مهندسی مشاور زاینده‌آب درباره دریاچه‌های قطاعی نشان می‌دهد که این دریاچه‌ها به دلیل کندی کار، انبساط و انقباض کابل دریاچه‌ها در فصول مختلف و به دنبال آن ایجاد خطا در اندازه‌گیری گشودگی دریاچه در شبکه آبیاری شمال اصفهان (برخوار) قابل توصیه نیستند. گزارش این مهندسی مشاور همچنین نشان می‌دهد که با توجه به دقت، سهولت بهره‌برداری، هزینه‌های ثانویه پایین‌تر مربوط به تعمیرات و نگهداری و نیز دوام و مصونیت آبگیرهای نوع مدول نیروپیک، این آبگیرها برتر شناخته می‌شوند و برای شبکه آبیاری جدیدالاحداث برخوار توصیه می‌شوند (Anon, 1991).

در تحقیقات قبلی به ارزیابی کمی و کیفی عملکرد روش‌های طراحی سازه‌های تنظیم سطح آب و سازه‌های آبگیری و عملکرد مدیریت آب در شبکه‌های آبیاری داخل و خارج کشور پرداخته شده است. در ارزیابی‌ها از شاخص‌های عملکرد، کفایت تحویل آب، قابلیت اطمینان، عدالت و حساسیت در سطح کانال‌های آبیاری استفاده شده است. پژوهش‌ها در شبکه‌های آبیاری گدیز ترکیه، جنوب فرانسه، نارمادای هند و برخوار اصفهان، بالا بودن دقت عملیات بهره‌برداری و توزیع دقیق‌تر و منصفانه‌تر آب را در سازه‌های طراحی شده مطابق استاندارد شرکت نیروپیک تأیید کرده‌اند. در این تحقیقات سامانه‌های کنترل جریان تمام اتوماتیک، کنترل پایین‌دست و بالادست اتوماتیک شامل مدول‌های نیروپیک و تنظیم‌کننده سطح آب آمیل و آویو پیشنهاد شده است. از سوی دیگر در پژوهش‌هایی با دیدگاهی متفاوت، به پایین بودن بازده توزیع آب اشاره شده و دلیل آن را مدیریت و عملکرد ضعیف دریاچه‌های آبگیر در سامانه تحویل آب و تعمیر و نگهداری نامناسب سازه‌های فرسوده اعلام کرده‌اند.

مواد و روش‌ها**معرفی شبکه‌های آبیاری مورد بررسی**

زاینده‌رود از قدیم با سود بردن از قواعد طومار شیخ بهائی، تنها منبع تأمین آب سطحی در حوزه آبخیز زاینده‌رود بوده است. به‌منظور تأمین مصارف آب شرب، صنعت و کشاورزی در منطقه، تونل‌های شماره ۱ و ۲ کوه‌رنگ مقادیر قابل توجهی آب را از سرشاخه‌های رودخانه کوه‌رنگ به دره زاینده‌رود منتقل می‌کنند. مجموع آورد این تونل‌ها و جریان طبیعی رودخانه زاینده‌رود یک بده متوسط سالیانه را به‌صورت کنترل شده و به‌میزان ۳۸ مترمکعب در ثانیه از سد زاینده‌رود رها می‌سازد. سد زاینده‌رود روی رودخانه زاینده‌رود در ۱۱۰ کیلومتری غرب اصفهان بنا شده است. ارتفاع سد ۱۰۰ متر و طول تاج ۴۵۰ متر است. حجم ذخیره ۱۲۵۰ میلیون مترمکعب بوده و ظرفیت تخلیه سیلاب‌های طغیانی را به‌میزان ۱۵۰۰ مترمکعب در ثانیه را دارد. شبکه آبیاری زاینده‌رود اصفهان که شامل دو سد انحرافی نکوآباد و آبشار و چهار رشته کانال آبرسان اصلی است، منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۹۳ هزار هکتار را از اراضی دشت مرکزی اصفهان در بر می‌گیرد. کانال‌های چپ و راست نکوآباد با ظرفیت ۵۰ و ۱۵ مترمکعب بر ثانیه به‌منظور آبیاری ۴۸ و ۱۵ هزار هکتار زمین در طرفین سد نکوآباد، احداث شده‌اند. همچنین، دو رشته کانال هر یک با ظرفیت حداکثر ۱۵ مترمکعب بر ثانیه، دو منطقه به وسعت کل ۳۰ هزار هکتار را در طرفین سد آبشار آبیاری می‌کنند (Anon, 1973). سازه‌های تنظیم‌کننده سطح آب در این شبکه دریاچه‌های آمیل^۱، آویو^۲ و سرریزهای ثابت بتونی (نوک اردکی)^۳ هستند و ساختمان‌های آبخیز شامل دریاچه‌های مدول نیرپیک از نوع XX_2 ، L_2 و C_2 هستند. روش کنترل در این شبکه به‌صورت کنترل از بالادست است ولی در بعضی از کانال‌های درجه دو، از سامانه کنترل پایین‌دست استفاده شده است. طول کانال‌های اصلی

(درجه یک) و درجه دو به‌ترتیب ۱۶۱/۱۷ و ۱۷۴/۹۰ کیلومتر است.

رودخانه کر که می‌توان آن را یکی از مهم‌ترین منابع آبی استان فارس به‌حساب آورد در جهت شمال غربی استان به سمت جنوب شرقی، بین ارتفاعات سلسله کوه‌های زاگرس از رودخانه اوجان امتداد می‌یابد و پس از الحاق به شعبه‌های چند رودخانه در محل حسین‌آباد به دریاچه سد درودزن می‌ریزد. آب ذخیره شده در پشت سد، پس از مشروب ساختن اراضی زیر شبکه (ناحیه رامجرد) از طریق رودخانه اصلی به سمت پل‌خان جریان می‌یابد. سد خاکی درودزن سدی است همگن با زهکش مرکزی که وظیفه زهکشی داخلی را انجام می‌دهد. ارتفاع سد ۶۰ متر و طول تاج ۷۱۰ متر است. حجم ذخیره آب در پشت این سد ۹۹۳ میلیون مترمکعب و ظرفیت تخلیه سیلاب‌های طغیانی آن ۳۱۰۰ مترمکعب در ثانیه است. محدوده‌ای که طرح شبکه آبیاری درودزن در آن اجرا شده بخشی از جلگه وسیع مرودشت است که در کل ۷۲۰۰۰ هکتار مساحت دارد. کانال اصلی به طول ۲۲/۵ کیلومتر، آب را از سد درودزن به محلی به‌نام آب‌پخش هدایت کرده و در کیلومتر ۱۰/۴۹ تحویل کانال سمت چپ بالایی می‌دهد. در آب‌پخش، سه انشعاب اصلی به‌نام کانال سمت راست اولیه، کانال سمت راست ثانویه، و کانال سمت چپ اولیه جمعاً به طول ۹۰ کیلومتر احداث شده است. روی کانال‌های مذکور انشعاب‌های متعددی برای هدایت آب به مزارع کشاورزی اجرا شده است. مجموع طول کانال‌های احداث شده در چهار واحد عمرانی این شبکه حدود ۴۶۳ کیلومتر است (Anon, 1993).

انتخاب سازه‌های مورد ارزیابی

در شبکه آبیاری زاینده‌رود به‌منظور تنظیم جریان عبوری از مدول‌های نیرپیک استفاده شده است. از انواع این مدول‌ها می‌توان به دریاچه‌های XX_2 ، L_2 و C_2 اشاره کرد. این دریاچه‌ها بده کنترل شده‌ای را تحویل مزارع

سازمان آب منطقه‌ای اصفهان و فارس و بررسی نقشه‌های پروفیل طولی کانال‌های مورد مطالعه، تعدادی از انواع مختلف تنظیم‌کننده‌ها و آبیگرهای مورد استفاده در دو شبکه به‌طور تصادفی به‌عنوان سازه‌های نمونه انتخاب شدند.

بعد از شناخت و بررسی شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه و اخذ اطلاعات ضروری در خصوص ساختمان‌های کنترل جریان، تحقیقات در دو بخش جریان عبوری (بده) و افت انرژی به شرح زیر آغاز شد:

بررسی دقت جریان عبوری از دریچه‌های آبیگر

به‌منظور بررسی دقت بده تحویلی به کشاورزان، آبیگرهای متعددی در دو شبکه مورد مطالعه انتخاب و با اندازه‌گیری سرعت جریان با مولینه مدل AOTT-C20 از نوع مغناطیسی و سطح مقطع جریان، بده واقعی تعیین شد. دقت این مولینه در نتایج واسنجی $0/05$ متر بر ثانیه تعیین شد. مقادیر سرعت جریان در پایین‌دست هر دریچه، در سه مقطع عرضی و در دو تکرار اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها برای عمق‌های کمتر از 50 سانتی‌متر در $0/6y$ از سطح آب و برای عمق‌های بیشتر از 50 سانتی‌متر در $0/2y$ و $0/8y$ از سطح آب اجرا شد.

در شبکه زاینده‌رود دریچه‌های نیرپیک بده مورد نیاز زارعین تنظیم و تحویل متقاضیان می‌شود. ظرفیت مدول‌های استاندارد نیرپیک (بده اسمی) با ذکر تعداد دریچه، ظرفیت هر دریچه و عمق آب بالادست بر حسب تیپ‌های مختلف، به‌صورت دفترچه‌های راهنما در کارخانه‌های سازنده تهیه شده که در شرکت‌های بهره‌برداری مورد استفاده تکنسین‌ها و میراب‌هاست (Shantia, 1990). این مشخصه در مورد دریچه‌های روزنه‌ای با ارتفاع ثابت (C.H.O) بر اساس استانداردهای طراحی U.S.B.R برای اندازه‌های مختلف در جدول‌های مشخصات فنی توسط جاستین و همکاران (Justin et al., 1972) ارائه شده است.

می‌دهند. تغییرات میزان بده دریافتی بر طبق توصیه کارخانه‌های سازنده در حد $5 \pm$ تا $10 \pm$ درصد است (Shantia, 1990). بعد از شناخت و بررسی قسمت‌های مختلف شبکه و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در خصوص سازه‌ها و تأسیسات وابسته کانال‌های P_6, P_8, P_{11}, P_{13} و کانال‌های اصلی چپ و راست نکوآباد (NRMC, NLMC) انتخاب شدند. تعداد دریچه‌های آمیل، XX_2, L_2, C_2 ، آویو و سرریزهای نوک اردکی که برای نمونه‌برداری کدگذاری شدند به ترتیب $34, 16, 20, 32, 18$ و 15 عدد است. البته هنگام عملیات داده‌برداری، به دلیل مشکلات فنی از جمله خرابی سازه‌ها، فقدان آب در کانال و عدم پذیرش بعضی از داده‌ها، تعداد نمونه‌ها به میزان 4 درصد تقلیل یافت.

تأسیسات کنترل‌کننده جریان که روی شبکه درودزن اعم از کانال‌های اصلی، کانال‌های درجه یک، دو و انشعاب‌های درجه سه و چهار تعبیه شده‌اند شامل دریچه قطعی^۱، دریچه روزنه با بار آبی ثابت^۲، چک (آب‌بند)^۳ و آب‌بند و نهر پله^۴ هستند. کلیه این سازه‌ها بر اساس ضوابط دفتر عمران اراضی ایالات متحده طراحی و اجرا شده‌اند. در این تحقیق کانال‌های $T_{12}Q_{10}, T_{12}Q_2, T_{12}, T_{25}, L.H.38, T_{12}Q_6, T_{12}Q_{12}$ ، $T_{11}Q_2$ و $T_{52}Q_2$ به‌منظور بررسی عملکرد هیدرولیکی سازه‌های کنترل جریان انتخاب شدند. تعداد 29 دریچه آبیگر CHO و 17 تنظیم‌کننده کشویی برای نمونه کدگذاری شدند که به دلایلی که پیش‌تر از آنها یاد شد، در موقع داده‌برداری به‌طور میانگین 5 درصد از کل سازه‌های منتخب تقلیل یافتند.

با توجه به بروز نارسایی‌ها در خصوص عملکرد بهره‌برداری سازه‌های مورد ارزیابی که موجب تحویل و توزیع نامناسب آب و به تبع آن افزایش تلفات آب و نارضایتی کشاورزان پایین‌دست در دو شبکه مورد بررسی گردید، با استفاده از آلبوم نقشه‌های موجود در آرشیو

1- Radial Gate
3- Check

2- Constant Head Orifice (C.H.O)
4- Check & Drop

الف) تنظیم‌کننده آویو مدل $\left(\frac{110}{200}\right)$ (رابطه ۱):

$$H_1 = \left(\frac{Q}{6.4r^2}\right) \quad (1)$$

ب) تنظیم‌کننده آویو مدل $\left(\frac{90}{63}\right)$ (رابطه ۲):

$$H_1 = \left(\frac{Q}{3.2r^2}\right) \quad (2)$$

که در آن،

H_1 = افت انرژی (سانتی‌متر)؛ Q = بده جریان (لیتر در ثانیه)؛ و r = شعاع شناور در دریچه (دسی‌متر) است.

در مدل سازه، اعداد ۱۱۰ و ۹۰ نماد شعاع شناور به سانتی‌متر و اعداد ۲۰۰ و ۶۳ نشان‌دهنده عرض مقطع معبر به دسی‌متر است. رابطه افت انرژی بده در دریچه‌های آمیل نیز از نمودار مشخصات فنی این دریچه‌ها استخراج شد (Ankum, 1991).

در مورد دریچه‌های مدول نیرپیک (تیپ‌های مختلف) و سرریزهای نوک اردکی، حدود تغییرات مجاز سطح آب در بالادست و پایین‌دست سازه، به‌عنوان معیار افت انرژی مجاز در نظر گرفته شد. به‌منظور مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده با داده‌های مورد انتظار از مشخصه‌های درصد خطای نسبی^۴ و شاخص کی‌دو (مربع کای)، که نیکویی برازش نیز نامیده می‌شود، استفاده شد (رابطه‌های ۳ و ۴).

بررسی افت انرژی در دریچه‌های آبیگر و ساختمان‌های تنظیم سطح آب

در شبکه آبیاری زاینده‌رود به کمک دوربین ترازیب و با دقت در حد میلی‌متر، افت انرژی حاصل از سازه‌های آمیل، آویو، سرریزهای نوک اردکی و دریچه‌های مدول نیرپیک XX_2 و L_2 و C_2 در تکرارهای مختلف اندازه‌گیری شد. همچنین، در شبکه آبیاری درودزن افت انرژی در تعدادی دریچه کشویی و C.H.O در تکرارهای مختلف اندازه‌گیری شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل نتایج اخذ شده مربوط به مقادیر اندازه‌گیری شده افت انرژی و بده عبوری، ابتدا روابط تئوری افت - بده برای سازه‌های مورد مطالعه از منابع علمی استخراج گردید (Ankum, 1991). یک برنامه رایانه‌ای در نرم‌افزار S.A.S^۱ تدوین شد که در آن سازه‌های کنترل جریان در دو شبکه مورد مطالعه در نه گروه طبقه‌بندی شدند. با وارد کردن میزان هر مشخصه (بده یا سرعت و اختلاف ارتفاع سطح آب بالادست و پایین‌دست) و تعیین کد^۲ دریچه مورد نظر، میزان افت انرژی دریچه محاسبه می‌شد. به کمک این برنامه مقایسه افت موجود در ساختمان‌های کنترل جریان امکان پذیر شد.

- با استفاده از رابطه برنولی^۳ و تدوین رابطه تراز انرژی بین سطح آب بالادست و پایین‌دست دریچه‌های کشویی، رابطه افت انرژی - بده در این سازه‌ها به‌دست آمد (Salemi, 1995).

- رابطه افت انرژی - بده مربوط به دریچه‌های آویو:

$$e_r = \frac{\text{مقادیر مجاز (مورد انتظار) - مقادیر اندازه‌گیری شده}}{\text{مقادیر اندازه‌گیری شده}} \times 100 \quad (3)$$

$$X^2 = \frac{\sum (\text{مقادیر مورد انتظار - مقادیر اندازه‌گیری شده})^2}{\text{مقادیر مورد انتظار}} \quad (4)$$

1- Statistical Analysis System
3- Bernoulli

2- Code
4- Relative Error (e_r)

شبکه آبیاری درودزن

در این شبکه از آبگیرهای C.H.O به‌عنوان تجهیزات تنظیم‌کننده جریان استفاده شده است. نتایج مقایسه بده اسمی و بده واقعی در جدول ۲ حاکی از دقت اندازه‌گیری این دریچه‌ها در حد پایین و در حد ۸۳ درصد است. نتایج اخذ شده نشانگر معنی‌دار شدن تفاوت بده اسمی و بده واقعی در سطح احتمال ۵ درصد است. همچنین مقدار کی‌دو مساوی ۱۹/۷ به‌دست آمده است.

ارزیابی افت انرژی موجود در ساختمان‌های کنترل جریان

در این بخش از تحقیقات، اختلاف ارتفاع سطح آب در بالادست و پایین‌دست ساختمان‌های کنترل جریان در کانال‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری و با مقادیر افت انرژی مجاز، اخذ شده از روابط و نمودارهای موجود برای سازه‌های مختلف مقایسه شد. مقایسه نتایج مقدار افت انرژی اندازه‌گیری شده و مقدار افت انرژی مجاز در سازه‌های مورد مطالعه در جدول‌های ۳ تا ۷ ارائه شده است. همان‌گونه که از مقادیر اندازه‌گیری شده و مقدار مجاز افت انرژی در جدول‌های مذکور معلوم می‌شود، خطای نسبی در تنظیم‌کننده‌های آویو، به‌عنوان ساختمان‌های کنترل از پایین‌دست، مقادیر بالایی دارد. این شاخص در دریچه‌های آویو مدل 110/200 و 90/63 به‌ترتیب ۴۵/۵ و ۴۳/۷ درصد به‌دست آمده است. شاخص کی‌دو (χ^2) در خصوص این دریچه‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است و به‌همین دلیل این دریچه‌ها توصیه نمی‌شوند. خطای نسبی در دریچه‌های آمیل و سرریزهای نوک اردکی که به‌عنوان ساختمان‌های کنترل جریان از بالادست عمل می‌کنند در حد پایین بوده (۲۰-۱۳ درصد) و شاخص کی‌دو (χ^2) در خصوص افت انرژی در این دو نوع سازه معنی‌دار نشده است. تفاوت افت انرژی مجاز و افت انرژی اندازه‌گیری شده

آزمون‌های تک متغیره کی‌دو و خطای نسبی از نوع غیر پارامتریک هستند و برای ارزیابی هم‌قواری متغیرهای اسمی به‌کار می‌روند. در این پژوهش که داده‌ها از دو جنس واقعی و مورد انتظار هستند، به‌منظور تعیین صحت داده‌های واقعی، روش‌های مذکور مناسب‌ترین آزمون آماری بوده و کاربرد زیادتری نسبت به آزمون‌های دیگر دارد (Cochran & Cox, 1992). همچنین، در آزمون کی‌دو چنانچه سطح معنی‌داری کمتر از میزان خطا باشد، وجود تفاوت بین توزیع فراوانی مشاهده شده و مورد انتظار استنباط می‌شود. از آن‌جا که این آزمون معمولاً در سطح خطای ۵ درصد در نظر گرفته می‌شود، برای رسیدن به این نتیجه، سطح معنی‌داری باید کمتر از ۰/۰۵ باشد.

نتایج و بحث

نتایج این تحقیق در دو قسمت ارائه شده است: ارزیابی دقت جریان عبوری از آبگیرها و ارزیابی افت انرژی موجود در ساختمان‌های کنترل جریان.

ارزیابی دقت جریان عبوری از دریچه‌های آبگیر

یکی از قسمت‌های مهم ارزیابی عملکرد هیدرولیکی ساختمان‌های کنترل جریان، بررسی دقت جریان عبوری از مدول‌های نیرپیک و آبگیرهای روزنه‌های با ارتفاع ثابت (C.H.O) است که نتایج این بررسی در دو شبکه ارائه می‌شود.

شبکه آبیاری زاینده‌رود

دریچه‌های مدول نیرپیک بده کنترل شده را تحویل مزارع می‌دهند، در جدول ۱، نتایج مربوط به این آزمایش ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده از این جدول حاکی از دقت بالای اندازه‌گیری مدول‌های نیرپیک در حد ۹۴ درصد است. با توجه به مقدار χ^2 (کی‌دو)، تفاوت مقادیر بده اسمی و بده واقعی در این شبکه معنی‌دار نشد. مقدار کی‌دو مساوی با ۱۵/۱ به‌دست آمده است.

آویو در شبکه آبیاری زاینده‌رود تا آن جا حاد شده که سالهاست تعدادی از آنها از کار افتاده و عملاً از سامانه کنترل جریان خارج شده‌اند. دریچه‌های آبگیر I₂ و C₂ با خطای نسبی پایین و نداشتن تفاوت معنی‌دار، برای بده‌های بالا مناسب هستند. نتایج نشان می‌دهد که دریچه‌های مدول نیرپیک از لحاظ دقت تحویل بده در شرایط مطلوبی قرار دارند. از میان تنظیم‌کننده‌ها، سرریزهای نوک اردکی و دریچه‌های آمیل با توجه به دو مشخصه خطای نسبی و کی‌دو، در اندازه‌گیری دقت لازم را دارا هستند.

در تنظیم‌کننده‌های کشویی معنی‌دار و خطای نسبی در این تنظیم‌کننده‌ها بسیار بالاست. از بین آبگیرهای با بده پایین، آبگیرهای C.H.O دارای مقادیر بالای کی‌دو (χ^2) و خطای نسبی بالا هستند، در حالی که تفاوت مقدار افت انرژی اندازه‌گیری شده و مقدار افت انرژی مجاز در آبگیرهای XX₂ معنی‌دار نشده است. از دلایل مهم خطای زیاد در سازه‌های مذکور مشکلات نصب و تنظیمات اولیه آنهاست. بهره‌برداری غیراصولی و اهمیت ندادن به توصیه‌های فنی شرکت‌های سازنده از دیگر دلایل این خطاهاست. این مسئله در خصوص تنظیم‌کننده‌های

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمایش‌های تعیین دقت بده در مدول‌های نیرپیک

نام کانال	بده اسمی (لیتر در ثانیه)	بده واقعی (لیتر در ثانیه)	خطای نسبی (درصد)
P13-XX2	۶۷	۶۰	-۱۰/۴
P13-XX2	۸۱/۶	۸۰	-۲
P11-XX2	۱۸۲/۹	۱۸۰	-۱/۶
P8-XX2	۶۰	۵۵/۹	-۶/۸
P6-XX2	۲۰/۴	۲۰	-۲
P6-L2	۲۵۰	۲۴۰	-۴
P6-L2	۲۱۰	۲۰۰	-۴/۸
NLMC	۱۶۰	۱۵۰	-۶/۲
NRMC	۹۷/۴	۹۰	-۷/۶
P8-XX2	۲۴/۵	۲۰	-۱۸/۴
P11-C2	۱۰۵۷	۱۰۰۰	-۵/۴
P11-C2	۱۱۸۴	۱۱۰۰	-۷/۱
P11-C2	۱۳۴۷/۵	۱۳۰۰	-۳/۵
$\bar{e}_r = 6.1\%$		$\chi^2 = 15.1$	

جدول شماره ۲- نتایج حاصل از آزمایش‌های دقت بده در آبگیرهای C.H.O

نام کانال	بده اسمی (لیتر در ثانیه)	بده واقعی (لیتر در ثانیه)	خطای نسبی (درصد)
T12	۶۱/۵	۸۰	۳۰
T12	۱۴۰	۱۵۰	۷/۱
T12	۱۶۰	۱۷۵/۴	۹/۶
T12Q2	۱۰۰	۱۱۰/۴	۱۰/۴
T12Q10	۸۲/۶	۱۰۱	۲۲/۳
T12Q12	۶۱/۳	۶۹/۹	۱۴
T12Q10	۵۵	۶۸/۵	۲۴/۵
T12Q2	۴۷/۷	۵۸	۲۱/۶
T12Q2	۳۸	۴۴	۱۵/۸
$\bar{e}_r = 17.3\%$		$\chi^2 = 19.7$	

* میانگین خطای نسبی

جدول ۳- مقایسه نتایج مقدار افت انرژی اندازه گیری شده و مقدار افت انرژی مجاز در دریچه های کشویی

آبگیر C.H.O					تنظیم کننده سطح آب از نوع کشویی				
خطای نسبی (درصد)	افت انرژی اندازه گیری شده (سانتی متر)	افت انرژی مجاز (سانتی متر)	بده (لیتر در ثانیه)	کانال	خطای نسبی (درصد)	افت انرژی اندازه گیری شده		بده (لیتر در ثانیه)	کانال
						افت انرژی مجاز (سانتی متر)	خطای نسبی (درصد)		
۳۵/۹	۲۲	۱۴/۱	۴۱۰	L.H.38	۱۷/۷	۱۵/۲	۱۲/۵	۴۵۰	T12Q6
۴۶/۲	۱۹	۱۰/۲	۲۳۷	T25	۳۵	۱۸/۵	۱۲/۰۰	۴۱۰	T12Q6
۴۰/۷	۱۵	۸/۹	۱۱۸	T12Q10	۴۳/۸	۲۱	۱۱/۸	۳۶۰	T12Q6
۳۵/۲	۱۴	۹/۱	۲۰۰	T52Q2	۳۶/۹	۱۸/۲	۱۱/۴	۳۰۰	T12Q6
۲۶/۳	۱۳	۹/۶	۲۷۰	T52Q2	۳۶/۲	۱۷	۱۰/۹	۳۰۰	T12
۴۱/۱	۱۲/۱	۷	۸۴	T12Q12	۳۳/۶	۱۴	۹/۳	۲۲۰	T12
۳۷/۶	۱۱	۶/۹	۸۰	T12Q12	۳۷	۱۳/۵	۸/۵	۲۰۰	T12
۴۳/۳	۹	۵/۱	۷۵	T12Q12	۳۳/۷	۱۳/۲	۸/۸	۲۱۰	T12
۳۷/۶	۹/۱	۵/۷	۶۹	T12Q2	۳۵/۵	۱۳	۸/۴	۱۰۵	T12Q12
۳۱/۸	۸/۵	۵/۸	۶۴	T12Q2	۳۲/۶	۱۰/۵	۷/۸	۸۱	T12Q12
۳۰/۸	۷/۱	۴/۹	۶۵	T12Q2	۳۳/۷	۹	۶	۶۰	T12Q12
۱۱	۶	۵/۳	۴۸	T12Q2 T12Q2	۳۹/۳	۸/۴	۵/۱	۵۰	T12Q10
۲۳	۵	۳/۹	۴۹	T12Q2	۳۰/۸	۶/۱	۴/۲	۴۲	T12Q10
$\chi^2 = ۳۳/۸$		$\bar{e}_r = ۳۳/۹ \%$			$\chi^2 = ۳۶/۱$		$\bar{e}_r = ۳۴/۶ \%$		

۹۲

جدول ۴- مقایسه نتایج مقدار افت انرژی اندازه‌گیری شده و مقدار افت انرژی مجاز در دریچه‌های نیربیک

خطای نسبی (درصد)	XX2				خطای نسبی (درصد)	L2				خطای نسبی (درصد)	C2			
	افت انرژی اندازه‌گیری شده (سانتی‌متر)	افت انرژی مجاز (سانتی‌متر)	بده (لیتر در ثانیه)	کانال		افت انرژی اندازه‌گیری شده (سانتی‌متر)	افت انرژی مجاز (سانتی‌متر)	بده (لیتر در ثانیه)	کانال		افت انرژی اندازه‌گیری شده (سانتی‌متر)	افت انرژی مجاز (سانتی‌متر)	بده (لیتر در ثانیه)	کانال
۸/۱	۱۲/۳	۱۱/۳	۳۴۰	P13	۱۰/۴	۲۳	۲۰/۶	۱۵۵۰	P13	۱۳	۳۸/۳	۳۳/۳	۳۲۰۰	NRMC
۱۴/۴	۱۳/۲	۱۱/۳	۳۴۰	P13	۱۴/۹	۲۴/۲	۲۰/۶	۱۵۵۰	P13	۱۵	۳۹/۲	۳۳/۳	۳۱۰۰	NRMC
۲۲	۱۵/۴	۱۲	۳۴۰	P11	۱۲/۵	۲۴	۲۱	۱۶۰۰	P8	۱۰	۳۳/۳	۳۰	۳۷۰۰	NRMC
۲۰	۱۴/۶	۱۲	۴۸۰	P6	۱۷	۲۶/۵	۲۲	۱۵۰۰	P8	۷/۸	۳۲/۶	۳۰	۲۸۵۰	P13
۱۴/۹	۱۱/۷	۱۰	۴۸۰	NRMC	۱۴	۲۵/۶	۲۲	۱۳۰۰۰	P11	۱۲/۵	۴۰	۳۵	۲۴۰۰	P8
۱۵/۴	۱۳	۱۱	۴۸۰	NRMC	۱۸/۸	۲۸/۳	۲۳	۱۲۶۰	P11	۱۴/۵	۳۸/۶	۳۳	۳۷۹۰	P8
۱۷/۷	۱۵/۸	۱۳	۴۸۰	NRMC	۱۳/۸	۲۳/۹	۲۰/۶	۱۲۰۰	P11	۱۵	۳۸/۹	۳۳	۳۶۱۰	P6
۲۴	۱۵/۸	۱۲	۵۰۰	P8	۱۳/۲	۲۴/۲	۲۱	۱۴۵۰	P6	۹/۳	۳۷/۵	۳۴	۳۹۲۰	NRMC
۱۶/۳	۱۳/۵	۱۱/۳	۳۴۰	P8	۱۳/۴	۲۳/۸	۲۰/۶	۱۴۰۰	P6	۵	۳۶	۳۳/۳	۳۵۵۰	NLMC
	$\chi^2 = 5$	$\bar{e}_r = 17\%$				$\chi^2 = 6$		$\bar{e}_r = 14.2\%$			$\chi^2 = 5.8$		$\bar{e}_r = 11.7\%$	

جدول ۵- مقایسه نتایج مقدار افت انرژی اندازه گیری شده و مقدار افت انرژی مجاز در دریچه های آویو

Avio (90/63)					Avio (110/200)				
خطای نسبی (درصد)	افت انرژی اندازه گیری شده (سانتی متر)	افت انرژی مجاز (سانتی متر)	بده (لیتر در ثانیه)	کانال	خطای نسبی (درصد)	افت انرژی اندازه گیری شده (سانتی متر)	افت انرژی مجاز (سانتی متر)	بده (لیتر در ثانیه)	کانال
۵۶/۷	۳	۱/۳	۳۰۰	P6	۵۷	۴	۱/۷	۱۱۰۰	P8
۵۰	۴/۸	۲/۴	۴۵۰	P6	۶۰/۳	۵/۸	۲/۳	۱۲۰۰	P8
۴۹/۳	۷/۳	۳/۷	۵۰۰	P6	۵۷/۷	۷/۸	۳/۳	۱۵۰۰	P8
۴۵/۴	۹/۹	۵/۴	۶۳۰	P6	۴۵	۹/۳	۵/۱	۱۸۵۰	P8
۳۶/۷	۱۵	۹/۵	۸۰۰	P6	۴۱/۴	۱۴	۸/۲	۲۴۰۰	P6
۳۶/۶	۲۳/۵	۱۴/۹	۱۰۵۰	P8	۴۰/۲	۱۷/۴	۱۰/۴	۲۸۵۰	P6
۲۹/۲	۲۴	۱۷	۱۱۰۰	P8	۳۶/۸	۲۲	۱۳/۹	۳۰۰۰	P6
۵۰	۳۰	۲۰	۱۱۵۰	P8	۳۹/۸	۲۶	۱۵/۶	۳۲۰۰	P6
۳۹/۱	۳۱/۳	۲۲/۵	۱۵۵۰	P8	۳۱/۶	۲۵	۱۷/۱	۳۵۰۰	P6
$\chi^2 = ۲۸/۵$			$\bar{e}_r = ۴۳/۷ \%$		$\chi^2 = ۳۴/۴$			$\bar{e}_r = ۴۵/۵ \%$	

جدول ۶- مقایسه نتایج مقدار افت انرژی اندازه‌گیری شده و مقدار افت انرژی مجاز در دریچه‌های آمیل

خطای نسبی (درصد)	Amil (D400)				خطای نسبی (درصد)	Amil (D450)				خطای نسبی (درصد)	Amil (D560)			
	افت انرژی اندازه‌گیری شده (سانتی‌متر)	افت انرژی مجاز (سانتی‌متر)	بده (لیتر در ثانیه)	کانال		افت انرژی اندازه‌گیری شده (سانتی‌متر)	افت انرژی مجاز (سانتی‌متر)	بده (لیتر در ثانیه)	کانال		افت انرژی اندازه‌گیری شده (سانتی‌متر)	افت انرژی مجاز (سانتی‌متر)	بده (لیتر در ثانیه)	کانال
۱۲/۷	۲۶/۷	۲۳/۳	۶۸۰۰	NRMC	۱۹/۷	۲۴/۳	۱۹/۵	۹۰۰۰	NLMC	۲۱/۷	۶۲/۲	۴۸/۷	۱۶۳۰۰	NLMC
۱۶/۴	۵۹/۸	۵۰	۹۵۰۰	NLMC	۸/۷	۱۶	۱۴/۶	۷۹۵۰	NLMC	۱۲	۲۵/۹	۲۲/۸	۱۴۵۰۰	NLMC
۹/۷	۱۹/۹	۱۸	۵۹۰۰	P6	۲۵/۹	۱۵/۲	۱۳/۲	۷۷۰۰	NRMC	۱۳/۲	۳۹/۹	۲۰/۸	۱۴۰۰۰	NLMC
۱۳/۹	۱۸/۵	۱۵/۹	۵۶۰۰	P6	۷/۶	۱۱/۹	۱۱	۷۰۰۰	P6	۱۷/۶	۲۱	۱۷/۳	۱۲۵۰۰	NRMC
۲۱/۳	۱۴/۹	۱۱/۷	۵۰۰۰	P8	۱۷/۹	۲۹	۲۳/۸	۱۰۲۰۰	NLMC	۷/۱	۱۴	۱۳	۱۱۰۰۰	NRMC
۲۱/۴	۱۱/۷	۹/۲	۴۹۰۰	P13	۲۰/۴	۴۴	۳/۵	۴۵۰۰	P8	۱۴/۹	۱۱/۷	۱۰	۱۰۴۰۰	NRMC
۲۱/۹	۹	۷	۴۵۰۰	P6	۶/۳	۸/۱	۷/۶	۶۱۰۰	P11	۲۳/۲	۱۰/۱	۷/۸	۹۰۰۰	NRMC
۳۵/	۲۱/۱	۱۳/۷	۶۰۰۰	P11	۲۸/۸	۷/۳	۵/۲	۵۱۰۰	P13	۱۸/۹	۶۹/۱	۵۶	۱۹۷۰۰	NLMC
۲۵/	۳۰	۲۲/۵	۶۵۰۰	P11	۳۴/۹	۶/۱	۴	۴۷۰۰	P13	۳۰/۵	۷/۲	۵	۸۰۰۰	NLMC
$\chi^2 = 11/1$		$\bar{e}_r = 20/3$ %			$\chi^2 = 7/1$		$\bar{e}_r = 18/9$ %		NLMC	$\chi^2 = 10/7$		$\bar{e}_r = 17/6$ %		

جدول ۷- مقایسه نتایج مقدار افت انرژی اندازه‌گیری شده و مقدار افت انرژی مجاز در سرریزهای نوک اردکی

خطای نسبی (درصد)	سرریز نوک اردکی			کانال
	افت انرژی اندازه‌گیری شده (سانتی‌متر)	افت انرژی مجاز (سانتی‌متر)	بده (لیتر در ثانیه)	
۱۲	۶۵	۵۷/۲	۶۲۰۰	NLMC
۱۱/۳	۵۳	۴۷	۵۹۰۰	NLMC
۶/۹	۴۵	۴۱/۹	۵۰۰۰	NRMC
۱۰	۴۲	۳۷/۸	۴۳۰۰	NRMC
۱۲	۳۹	۳۴/۳	۴۶۵۰	NRMC
۱۸/۳	۴۱	۳۳/۵	۴۱۰۰	P11
۲۲/۲	۳۷	۲۸/۸	۳۲۰۰	P8
۱۵/۶	۲۸/۲	۲۳/۸	۲۵۰۰	P8
۱۰/۱	۲۴/۷	۲۲/۲	۱۷۰۰	P13
۱۰/۳	۲۲/۳	۲۰	۱۴۶۰	P13
	$\chi^2 = ۸/۷$		$\bar{e}_r = ۱۳\%$	

اتوماتیک هیدرومکانیکی (آمیل) با وجود مشکلاتی که برایشان ایجاد می‌شود (از جمله دستکاری وزنه‌های تعادل توسط کشاورزان، مختل شدن تنظیم سطح آب در بالادست، و احتیاج به سرویس دائمی)، به‌طور خودکار و بدون استفاده از نیروی محرکه خارجی، به‌سادگی سطح آب در سراب را، مستقل از بده ورودی، ثابت نگاه می‌دارند. این دریچه‌ها به‌وسیله یک حجم شناور و یک دریچه ولگاتر^۱ که تحت تأثیر فشار هیدرولیکی است، حرکت می‌کنند. تنظیم‌کننده‌های آویو در این مطالعه، همان‌گونه که در جدول ۵ ارائه شده است، دقت مطلوب را ندارند و در حال حاضر در شبکه آبیاری زاینده‌رود با مشکلاتی روبه‌رو هستند. مسئولان شبکه تایید می‌کنند که از این دریچه‌ها به‌دلایل فنی بهره‌برداری نشده است. البته در سامانه کنترل از پایین دست اگر نیاز قطعات زراعی با توجه به اصول صحیح تشخیص داده شود و شبکه آبیاری نیز قادر به تأمین و تحویل به‌موقع نیازهای مزبور باشد، این روش کنترل کارایی زیادی خواهد داشت (Zahmatkesh & Montazar, 2011). لازمه اجرای این نحوه کنترل، آگاهی کشاورزان از تشخیص میزان و مدت

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که دریچه‌های مدول نیریک XX₂، L₂ و C₂ با دقت بالا (حدود ۹۴ درصد) برای آبگیری بسیار مناسب هستند. میانگین خطای نسبی در این آبگیرها حدود ۶ درصد است. دلیل این خطا در اندازه‌گیری بده، که معمولاً کاهش نیز هست، را می‌توان یکی به گیر کردن دریچه‌ها در محل رفت و برگشتشان (به‌علت زنگ‌زدگی) و دیگری به رسوب اشاره کرد. در مورد دریچه‌های XX₂، مشکل گرفتگی لوله‌های آبگیر نیز دلیل دیگری در ایجاد خطاست. دقت اندازه‌گیری دریچه‌های C.H.O پایین است، به‌طوری‌که میانگین خطای نسبی در اندازه‌گیری‌ها برابر ۱۷/۳ درصد به‌دست آمد. فقدان حوضچه، حذف دریچه دوم و اشل از روی این دریچه‌ها، و اجرا نشدن طرح اصلاحی احداث پارشال فلوم از دلایل پایین بودن کیفیت اندازه‌گیری آب تحویلی به کشاورزان در شبکه آبیاری درودزن است.

از بین سازه‌های تنظیم‌کننده سطح آب، سرریزهای نوک اردکی و تنظیم‌کننده‌های آمیل، که هر دو به سامانه کنترل از بالادست اختصاص دارند، با خطای نسبی پایین برای شبکه‌های آبیاری قابل استفاده هستند. دریچه‌های

کمتر از حدودی است که در کاتالوگ آورده شده است. از این رو همواره در سیستم توزیع آب با کسری موازنه بده تحویلی از سد و بده توزیع شده در کانال مواجه‌اند، که باعث کاهش قابل توجه درآمد نیز شده است. این موضوع با نتایج تحقیق حاضر در جدول ۱ سازگاری کامل دارد.

نتیجه‌گیری

فقدان اطلاعات فنی صحیح، بی‌دقتی در تنظیم سازه‌های مورد مطالعه، تعمیر نشدن به موقع و نگهداری نامناسب سازه‌های فرسوده، کنش و تأثیرات هیدرولیکی متقابل سازه‌ها و اختلاف بین سطح تکنیک سازه‌های مدرن و شرایط موجود مدیریتی در کشور از مهم‌ترین عواملی هستند که بر عملکرد سامانه‌های توزیع و انتقال تأثیر می‌گذارند. این موضوع در شرایطی حادث می‌شود که شبکه‌های آبیاری به شیوه‌ی دستی بهره‌برداری شوند (شبکه آبیاری درودزن)، هر چند بهره‌برداری دستی از کانال‌ها هنوز روشی معمول در شبکه آبیاری مذکور محسوب می‌شود. از این رو می‌توان امیدوار بود که بهبود عملکرد این سامانه‌ها با به خدمت گرفتن نتایج این پژوهش میسر شود.

خلاصه نتایج این تحقیق به شرح زیر است:

- دریاچه‌های مدول نیرپیک XX_2 و L_2 و C_2 با میانگین خطای نسبی پایین و دقت بالای اندازه‌گیری (۹۴ درصد) و نیز معنی‌دار نشدن شاخص نیکویی برآزش کی‌دو ($\chi^2 = 15/1$)، به‌عنوان تجهیزات مناسب برای عبور دادن بده نسبتاً ثابت از دهانه آبیاریها در شبکه‌های آبیاری جدید قابل توصیه‌اند.

- دقت اندازه‌گیری دریاچه‌های C.H.O در شبکه آبیاری درودزن پایین است به‌طوری‌که میانگین خطای نسبی در اندازه‌گیری‌های مربوط به این سازه برابر ۱۷/۳ درصد به‌دست آمد. فقدان حوضچه، حذف دریاچه دوم و اشل از

زمان نیاز به آب آبیاری و برقراری سامانه مناسب بین ادوات تنظیم جریان و مراکز کنترل و سرانجام انعطاف‌پذیری شبکه در پاسخگویی به تأمین بده‌های مورد نیاز است.

سامانه کنترل جریان از بالادست در مدیریت بهره‌برداری و انتقال در تمام نواحی بزرگ آبیاری جهان رایج است. آسانی و قابل فهم بودن این سامانه توزیع برای کاربران و کاربرد آن در شبکه‌های دارای کمبود آب از مزایای این سامانه است. در مطالعاتی به کمک مدل هیدرودینامیکی معلوم شد که سامانه‌های اتوماتیک نیرپیک را باید در شبکه‌های آبیاری مدرن به‌کار برد (Belaud et al., 2008). این موضوع با نتایج حاصل در این بررسی سازگاری دارد. تحقیقات انجام شده در شبکه‌های ورامین و قزوین مؤید نتایج اخذ شده در خصوص شبکه درودزن فارس است. یافته‌ها نشان می‌دهد که هزینه احداث در کنترل دستی پایین ولی بهره‌برداری از آن پر زحمت است. در این مطالعه توزیع آب به‌وسیله توزیع‌کننده‌های هیدرولیکی منصفانه تشخیص داده شد (Ghamarnia, 1991). تحقیق انجام شده در شبکه آبیاری طالقان‌رود (Razavi- nabavi, 1994) به مانند این تحقیق، کاربرد مدول‌های نیرپیک را توصیه کرده است (Cassan et al., 2010). مغایرت یافته‌های جورابلو و سرکارده (Jorabloo & Sarkardeh, 2010) در خصوص پایین بودن دقت اندازه‌گیری در مدول‌های نیرپیک در شبکه آبیاری گرمسار ناشی از وجود مقادیر زیاد رسوب در شبکه و تعمیر و نگهداری نامناسب سازه‌های فرسوده در این شبکه آبیاری است. در شبکه آبیاری زاینده‌رود جزئیات ساختمانی مدول‌های آزمایشگاهی و منحنی‌های مربوط در اختیار مهندسين مشاور (ناظر فنی) شبکه قرار داده شده است. بر اساس تحقیق فوق، مدیران آبیاری به تجربه دریافته‌اند که دقت اندازه‌گیری مدول‌های نیرپیک

تنظیم سطح آب در بالادست، و احتیاج به سرویس دائمی، می‌توانند به‌طور خودکار و بدون استفاده از نیروی محرکه خارجی، به‌سادگی سطح آب در سراب را، مستقل از بده ورودی، ثابت نگاه دارند. از این‌رو کاربرد سازه‌های مذکور به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های سطح آب در سامانه کنترل از بالادست در شبکه‌های آبیاری جدید پیشنهاد می‌شود.

- تنظیم‌کننده‌های آویو به‌عنوان ساختمان‌های کنترل از پایین‌دست، خطای نسبی بالایی دارند. ($e_r = 44/6\%$). شاخص کی‌دو در خصوص این دریچه‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده لذا با توجه به این واقعیت که در حال حاضر اکثر شبکه‌های آبیاری کشور به‌دلیل مشکل بحران آب قادر به تأمین و تحویل به‌موقع نیازهای آبی قطعات زراعی پایین‌دست نیستند، کاربرد این سازه آبی توصیه نمی‌شود.

روی بیش‌تر این دریچه‌ها و اجرا نشدن طرح اصلاحی احداث پارشال فلوم، از دلایل پایین بودن کیفیت اندازه‌گیری آب تحویلی به کشاورزان در این شبکه است.

- نظر به الویت اجرای سامانه‌های کنترل خودکار در شبکه آبیاری، سرریزهای نوک اردکی و تنظیم‌کننده‌های آمیل با خطای نسبی پایین ($1/9$ و $13/9$) و معنی‌دار نشدن شاخص کی‌دو ($8/7$ و $9/1$) می‌توانند به‌عنوان یک زمینه فعالیت تحقیقاتی جدید در بخش آب کشور مطرح باشند. در مورد سرریزهای نوک اردکی لازم است یادآوری شود که ضمن سادگی در امر بهره‌برداری، از نظر امور اجرایی هم احتیاج به دقت بالایی ندارند و از ایجاد تلاطم جلوگیری می‌کنند. دریچه‌های اتوماتیک هیدرومکانیکی (آمیل) با وجود مشکلاتی که برایشان ایجاد می‌شود از جمله دست‌کاری وزنه‌های تعادل توسط کشاورزان، مختل شدن

قدردانی

از استاد گرانقدر آقای دکتر محمود جوان دانشیار بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز، کارشناسان محترم شرکت‌های آب منطقه‌ای اصفهان و فارس و همچنین مدیریت و کارکنان محترم مهندسين مشاور زاینده‌آب (وابسته به وزارت نیرو) برای رهنمایی‌ها و مساعدت‌های اجرائی‌شان سپاسگزاری می‌نماید.

مراجع

- Ankum, Jr. P. 1991. Flow Control in Irrigation System. Delft University of Technology. Delft. The Netherlands.
- Anon. 1973. Zayandehrud Project. Isfahan Regional Water Office. Report No. 18. (in Farsi)
- Anon. 1991. The First Phase Studies of Borkhar Irrigation Network. Zayndab Consulting Engineers. Isfahan Regional Water office. (in Farsi)
- Anon. 1993. Annual Report of Fars Management Operation Company. Fars Regional Water Office. No. 5. (in Farsi)
- Belaud, G., Litrico, X., De Graaf, B. and Baume, J. P. 2008. Hydraulic modeling of an automatic upstream water-level control gate for submerged conditions. J. Irrig. Drain. Eng. 134 (3): 315-326.
- Burt, C. 1988. Management of Farm Irrigation System. Agricultural Engineering Department. California Polytechnic State University. Sanluis Obispo. CA.

- Burt, C., Angold, R., Lehmkuhl, M. and Styles, S. 2001. Flap gate design for automatic upstream canal water level control. *J. Irrig. Drain. Eng.* 127(2):84-91.
- Cassan, L., Baume, J. P., Belaud, G., Litrico, X. and Malaterre, P. O. 2011. Hydraulic modelling of a mixed water level control hydro-mechanical gate. *J. Irrig. Drain. Eng.* 137(7): 446-453.
- Cochran, W. G. and Cox, G. M. 1992. *Experimental Designs*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Ghamarnia, H. 1991. Hydraulic investigation of discharge regulator structures and their performance in irrigation networks. M. Sc. Thesis in Irrigation and Drainage. Tehran University. Tehran. (in Farsi)
- Javan, M., Sanaee-Jahromi, S. and Fiuzat, A. A. 2002. Quantifying management of irrigation and drainage systems. *J. Irrig. Drain. Eng.* 128(1): 19-25.
- Jorabloo, M. and Sarkardeh, H. 2010. Hydraulic evaluation of Neyrpic-Modules at water distribution network of Garmsar plain. *World Appl. Sci. J.* 10(11): 1363-1367.
- Justin, J., Courtney, N. and Taleghani- Daftari, F. 1972. *Manual for operation and maintenance of Droodzan canal system*. Philadelphia. USA.
- Kazemimohsenabadi, S., Amiri, A. and Seyahi, M. K. 2007. Performance analysis of water management and drainage structures and provide new relations to the valves in the Qazvin network. *Proceeding of the Second National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management*. Jan. 27-29. Shahid Chamran University. College of Water Sciences and Engineering. Ahwaz. Iran. (in Farsi)
- Kraatz, D. B. and Mahajan, V. I. K. 1975. *Small hydraulic structures*. Irrigation and Drainage Paper No. 26-2. F. A. O. Rome.
- Merrey, D. J. 1996. *Institutional Design principles for accountability on large irrigation systems*. Research Report. International Irrigation Management Institute (IIMI). Colombo. Sri Lanka.
- Molden, D. J. and Gates, T. K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation-waterdelivery systems. *J. Irrig. Drain. Eng.* 116(6): 804-823.
- Monem, M. J., Ghaheri, A., Badzahr, H., Gharavi, T., Borhan, A., Zolfaghari, A., Sabeti, A. and Ehsani, M. 2000. Performance evaluation of Ghazvin irrigation network, using PAIS model. *Proceeding of the 10th seminar of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage*. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Razavi-Nabavi, M. 1994. *The empirical coefficients in Neyrpic module*. M. Sc. Thesis in Irrigation and Drainage. Terbiat Modares University. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Renault, D., Hakeem Khan, A., Hemakumara, M. H. and Asghar-Memon, M. 2001. Assessing sensitivity factors of irrigation delivery structures. *J. Irrig. Drain. Eng.* 127(6): 346-354.
- Rodríguez-Díaz, J. A., Camacho-Poyato, E., López-Luque, R. and Pérez-Urrestarazu, L. 2008. Benchmarking and multivariate data analysis techniques for improving the efficiency of irrigation districts: An application in Spain. *Agric. Sys.* 96, 250-259.
- Salemi, H. R. and Javan, M. 1995. *Evaluation of hydraulic performance and operation of flow control structures in Doroodzan and Zayandeh rud irrigation network*. Research Report. Agricultural Research and Education Organization. Tehran. Iran. (in Farsi)
- Shantia, H. 1990. *Neyrpic Module, Design and Performance*. Khagehenasir-e-Tussi University. Tehran. Iran. (in Farsi)

- Tabaee, K. and Montazar, A. 2013. Actual performance evaluation of Varamin irrigation network. Proceeding of the First Seminar of Iranian National Water and Wastewater Engineering. Kerman. (in Farsi)
- Unal, H. B. Asik, S., Avci, M., Yasar, S. and Akkuzu, E. 2004. Performance of water delivery system at tertiary canal level: a case study of the Menemen Left Bank irrigation system, Gediz basin, Turkey. Agric. Water Manage. 65, 155-171.
- Zahmatkesh, M. and Montazar, A. A. 2011. Performance assessment of some irrigation networks in the world using benchmarking and data mining techniques. J. Water Soil. 25, 1042-1057.

Hydraulic Performance of Water Level Regulators and Off-take Structures in Zayandeh Rud and Doroodzan Networks

H. R. Salemi*

* Corresponding Author: Assistant Professor, Esfahan Agriculture and Natural Resources Research Center, P. O. Box: 199, Esfahan, Iran. E-mail: hr_salemiuk@yahoo.com

Received: 9 March 2013, Accepted: 30 November 2013

Administrative regulations for water flow decrease distribution efficiency and effect the economical operation of irrigation networks. Complications in distribution systems and the decrease in availability of water require study of the hydraulic performance of existing flow control structures. Control systems designed by Neyrpic (Zayandeh Rud network) and USBR (Doroodzan network) were investigated and suitable hydraulic structures were considered. The Neyrpic modules and CHO gates were used as intakes. Amil and Avio gates, static weir and sliding gate were chosen as water level regulator structures. The delivered flow rate and energy loss were analyzed for these systems and the nominal and actual flow rates to farmers were compared. Energy loss in the flow control structures (XX2, L2, C2, C.H.O, Amil, Avio, static weir and sliding gates) were measured at different flow rates and compared with allowable loss values calculated using energy loss-flow rate relationships. This analysis combined with the relative error(er) and χ^2 allowed assessment of the most accurate and suitable system for delivering water from off-takes and water level regulators. A significant difference ($p \leq 0.05$) was found for the flow rate in Doroodzan network, but not in the Zayandeh Rud network. Considering these results and the low error values for Zayandeh Rud network, the XX2, L2, C2 gates are recommended for discharge regulation. Amil gates and duckbill weirs are also recommended because of the minimum error and insignificant head loss in these structures.

Keywords: Flow control structures, Hydraulic performance, Irrigation network