تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۱۹/ شماره ۷۰/بهار ۱۳۹۷/ص ۱۶-۱

مقایسهٔ عملکرد آبگیرهای مدول نیرپیک با سامانهٔ توزیع تناسبی (لت) در فرآیند تحویل آب تحت نوسانات دبی ورودی (مطالعهٔ موردی کانال اصلی شبکهٔ رودشت حوضهٔ زاینده‌رود)

سیدمهدی هاشمی شاهدانی[1*]، مهدی اروجلو[2]، سونیا صادقی[3] و اسماعیل ادیب‌مجد[4]

۱ و ۲ به ترتیب: استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳- کارشناس ارشد سازه‌های آبی و استاد مدعو گروه مهندسی عمران، آموزشکده فنی و حرفه‌ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بابل، مازندران، ایران
۴- کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، اصفهان، ایران
تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱۸

چکیده

شبکهٔ آبیاری رودشت در پایین‌دست رودخانهٔ زاینده‌رود واقع شده است و کلیهٔ نوسانات آبدهی رودخانه عیناً به شبکه وارد می‌شود. این امر سبب ایجاد جریان ورودی نوسانی به کانال اصلی شده و از این‌رو بهبود شیوهٔ بهره‌برداری به‌منظور کاهش اثر نوسانات ورودی در دستور کار بهره‌برداری این شبکه قرار گرفته است. در این تحقیق، بهره‌گیری از سامانه توزیع تناسبی، با نام بومی سامانهٔ لت در اصفهان، که به‌عنوان یکی از جدی‌ترین گزینه‌های جایگزینی دریچه‌های مدول نیرپیک در کانال اصلی شبکهٔ رودشت معرفی شده است، بررسی شد. برای این منظور مدل‌های ریاضی بهره‌برداری کانال اصلی شاخهٔ شمالی شبکهٔ رودشت برای سامانهٔ آبگیری موجود، شامل آبگیرهای نیرپیک، و سامانه تناسبی ایجاد شد و عملکرد بهره‌برداری آنها در یک دورهٔ واقعی بهره‌برداری در شرایط جریان ورودی نوسانی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد کفایت، راندمان و عدالت مورد آزمون قرار گرفت. نتایج تحقیق حاکی از آن است که در شرایط نوسانات شدید جریان ورودی، شاخص کفایت تحویل آب برای آبگیرهای پایین‌دست و شاخص راندمان برای آبگیرهای بالادست در هر دو سامانه تقریباً یکسان به‌دست آمده است. همچنین شاخص عدالت توزیع، با اجرای سامانهٔ تناسبی در مقایسه با سامانهٔ آبگیر نیرپیک به‌میزان ۱۹ درصد کاهش عملکرد نشان داده است. جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهند که به‌کارگیری سامانهٔ لت به‌عنوان آبگیر کانال اصلی تحت جریان ورودی نوسانی، در هر دو سناریوی نوسانات ورودی ملایم (۲۵ درصد) و شدید (تا ۷۵ درصد)، در مقایسه با سامانه آبگیرهای نیرپیک، سبب وخامت فرآیند توزیع آب شده است. بنابراین با توجه به شرایط بهره‌برداری شبکه آبیاری رودشت، سامانه لت گزینه مناسب تحویل و توزیع آب در این شبکه نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی

آبگیر نیرپیک، سامانهٔ توزیع تناسبی، شبکهٔ آبیاری رودشت، نوسانات ورودی

مقدمه

شبکهٔ آبیاری رودشت وظیفهٔ آبرسانی به آخرین دشت آبخور زاینده‌رود را به‌عهده دارد. مشکل موجود در بهره‌برداری کنونی این شبکه، نوسانات جریان ورودی به شبکه است. این مشکل در سال‌های اخیر و به‌دلیل کاهش دبی انتقال یافته به محل شبکه، و در نتیجه عرضهٔ کم‌آب، تشدید یافته است.

عامل تأثیرگذار دیگر در ایجاد نوسانات ورودی به

* نگارنده مسئول: mehdi.hashemy@ut.ac.ir
http://doi: 10.22092/aridse.2017.106705.1097

شبکهٔ آبیاری رودشت، فقدان کنترل دقیق بر میزان برداشت آب در نهرهای سنتی واقع در مسیر رودخانهٔ زاینده‌رود و در بالادست شبکه است. بر اساس بازدیدهای میدانی و مصاحبه با کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای اصفهان که در جریان این تحقیق صورت گرفته است، تخریب فراوان سردهنه‌های ساخته شده در طول مسیر رودخانه برای برداشت‌های انهار سنتی (شامل تخریب تاج سرریزها، تخریب دریچه‌های قطاعی و کشویی نصب شده و در مواردی انداختن کیسه‌های شنی روی سرریزهای بالادست به منظور کاهش آبگیری بالادستی‌ها) سبب شده تا نتوان تخمین درستی از میزان آب برداشت شده در بالادست شبکهٔ رودشت به‌دست آورد. بنابراین، با عنایت به نبود سامانهٔ متمرکز تحویل آب به نهرهای سنتی در طول مسیر که بتواند تخمین واقع‌بینانه‌ای از میزان برداشت آب تا ورودی شبکهٔ آبیاری رودشت داشته باشد، مشکل نوسانات جریان ورودی شبکهٔ آبیاری رودشت کماکان پابرجاست.

بررسی خصوصیات فیزیکی و فنی کانال اصلی شاخهٔ شمالی، شامل نوع سازه‌های کنترل و تنظیم سطح آب که از سرریزهای نوک اردکی است، و نیز تعداد زیاد آنها به نسبت تعداد دریچه‌های آبگیر نیرپیک، احتمال ایجاد و تشدید نوسانات احتمالی رقوم سطح آب در داخل کانال را بسیار ناچیز می‌کند. بنابراین، برای بهبود پدیدهٔ جریان ورودی نوسانی اهتمام ویژه‌ای شده و به‌سبب وخیم شدن مشکل مذکور، گزینه‌های جایگزینی سامانهٔ تحویل و توزیع آب، شامل گزینه‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای، در حال بررسی است.

یکی از گزینه‌هایی که برای این منظور به‌طور جدی مطرح شده است و کشاورزان منطقه نیز به‌سبب عملکرد مطلوب آن در گذشته از حامیان پیاده‌سازی آن هستند، سامانهٔ تحویل و توزیع تناسبی، معروف به سامانهٔ لت در اصفهان است. اساس کار سامانهٔ لت توزیع تناسبی آب بر پایهٔ تقاضا در محل آبگیر (مقدار حقابه و مقدار اشتراک آب برای کشاورزانی که حقابه‌ای ندارند) است که در آن دریچه‌های نیرپیک با سرریزهای با عرض متناسب با مقدار تقاضا جایگزین خواهند شد. حامیان پیاده‌سازی سامانهٔ لت معتقد هستند که دریچه‌های نیرپیک موجود در شبکهٔ رودشت، بر پایهٔ مقدار معینی از دبی ورودی به شبکه باز می‌شوند. بنابراین چنانچه در دبی ورودی به شبکه تغییرات و نوسانی ایجاد شود باید برای تحویل عادلانهٔ آب به بهره‌برداران دریچه‌ها نیز هر بار تنظیم مجدد شوند که این کار با توجه به گستردگی شبکه و تعداد زیاد دریچه‌ها در زمان کوتاه امکان‌پذیر نیست، به‌ویژه آنکه به‌طور طبیعی بخشی از نوسان دبی در ساعت‌هایی از شبانه روز رخ می‌دهد که امکان تغییر دریچه‌های شبکه مقدور نیست. بنابراین برای جلوگیری از اثر نوسانات آب در شبکه و به حداقل رساندن آن، با توجه به سابقهٔ دیرینهٔ استفاده از سامانهٔ لت در حوضهٔ زاینده‌رود، راه برون‌رفت از این وضعیت را بازگشت به روش آبگیری سابق یعنی سامانهٔ لت می‌دانند.

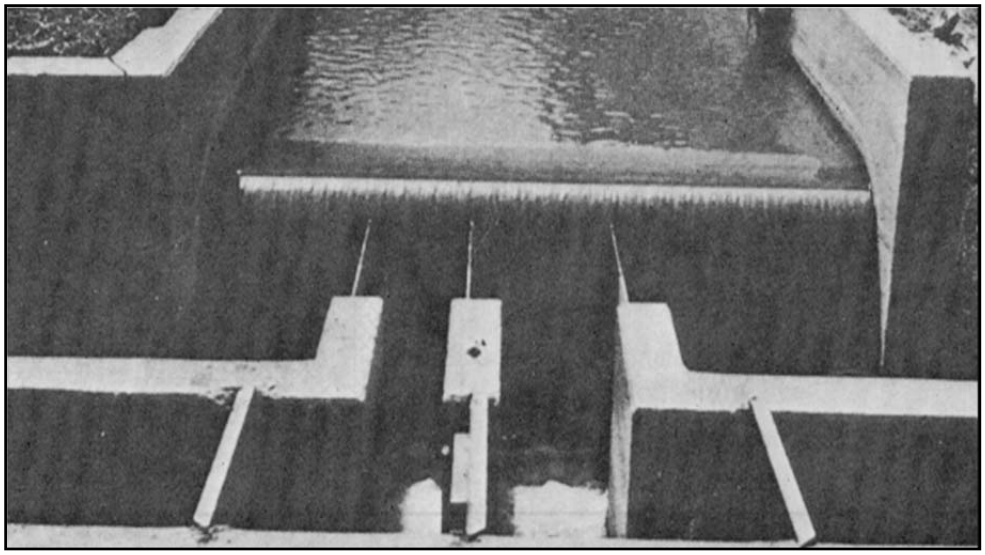
استفاده از سیستم توزیع آب تناسبی سابقه‌ای طولانی در شبکه‌های آبیاری دارد. نمونه‌ای از استفاده این سیستم در شبکه‌های آبیاری هریانا[1] و راجستا[2] در هندوستان (Malhotra, 1988) و شبکهٔ آبیاری پنجاب[3] در پاکستان (Bhutta *et al.*, 1992) گزارش شده است. در مناطق مذکور روند توزیع آب در سامانه‌های توزیع آب از نوع روش واربندی[4] و بر اساس روش تحویل و توزیع گردشی است. بزرگترین مزیت روش توزیع تناسبی در سه شبکهٔ آبیاری مذکور، توزیع یکسان کمبود یا مازاد آب بین همهٔ واحدهای کشاورزی در مواقع خشکسالی و پرآبی برشمرده شده است (Mollinga, 2003). در تحقیقی مشابه، استفاده از سیستم توزیع آب تناسبی برای توزیع آب در کانال‌های فرعی شبکهٔ آبیاری فیوم[1] در مصر با هدف توزیع یکسان آب بین واحدهای درجهٔ سه زراعی بررسی شده

1- Haryana
2- Rajstha
3- Punjab
4- Warabandi

است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که هرگونه غیریکنواختی توزیع آب در کانال‌های اصلی آبیاری به‌طور مستقیم بر مدیریت آب در واحدهای زراعی تأثیر می‌گذارد (De-Veer *et al*., 1993).

توزیع عادلانهٔ آب بین همهٔ آب‌بران کانال آبیاری یکی از بزرگترین هدف‌های بهره‌برداری کانال‌های آبیاری است که مستلزم نوسازی، بهسازی و توسعهٔ زیرساخت شبکه، شامل سازه‌های کنترل و تنظیم و آبگیرها است. با این حال، مشکل اساسی پیش روی بهره‌بردارن شبکه آن است که مسئولیت بهره‌برداری، تأمین هزینه‌های نگهداری و پشتیبانی سامانه‌های جدید چگونه مشخص شود (Perry, 1995). اما در کانال اصلی آبیاری رودشت، علاوه بر آنچه گفته شد، وجود مشکلات اقتصادی فراوان و در نتیجه مقدور نبودن افزایش آب‌بها و ناتوانایی در تأمین امنیت تجهیزات نصب شده سبب شده تا بهره‌گیری از سامانه‌های نوین بهره‌برداری تقریباً امکان‌پذیر نباشد. بنابراین، استفاده از روش‌های ساده‌تر بهره‌برداری مدنظر بهره‌بردارن این شبکه قرار گرفته است.

سامانهٔ توزیع تناسبی به‌عنوان یکی از گزینه‌های مدرن‌سازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری مطرح است. بزرگترین مزیت این روش، تقسیم خودکار آب به کمک سرریزهای با عرض متناسب با دبی تحویلی (در محل آبگیر) یا دبی عبوری به پایین‌دست کانال (دبی عبوری از سازه‌های تنظیم)، مطابق شکل ۱، بدون نیاز به بهره‌بردار است (Amiri-Tokaldani *et al*., 2013). با این همه، ناممکن بودن کنترل جریان توسط بهره‌بردار و تحویل آب به‌صورت حجمی در کانال‌های آبیاری، بزرگترین عیب روش تناسبی به‌شمار می‌آید.



شکل ۱- نمونه‌ای از سازهٔ تقسیم تناسبی آب مورد استفاده در شبکه‌های آبیاری (Van den Bosch *et al*., 1993)

این تحقیق به ارزیابی عملکرد هر دو سامانهٔ آبگیری واقع در کانال اصلی شاخهٔ شمالی شبکهٔ آبیاری رودشت، شامل دریچه‌های نیرپیک و سامانهٔ تناسبی، می‌پردازد. بررسی عملکرد سامانهٔ کنترل تناسبی در شرایط دبی ورودی با نوسانات ملایم و شدید در کانال آبیاری و نیز طراحی و ارزیابی سامانهٔ مذکور برای کانال اصلی آبیاری شبکهٔ رودشت از نوآوری‌های این تحقیق به‌شمار می‌آید. برای این منظور، با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS، مدل ریاضی بهره‌برداری کانال مذکور برای هر دو سامانه مورد بحث به‌طور جداگانه ایجاد گردید.

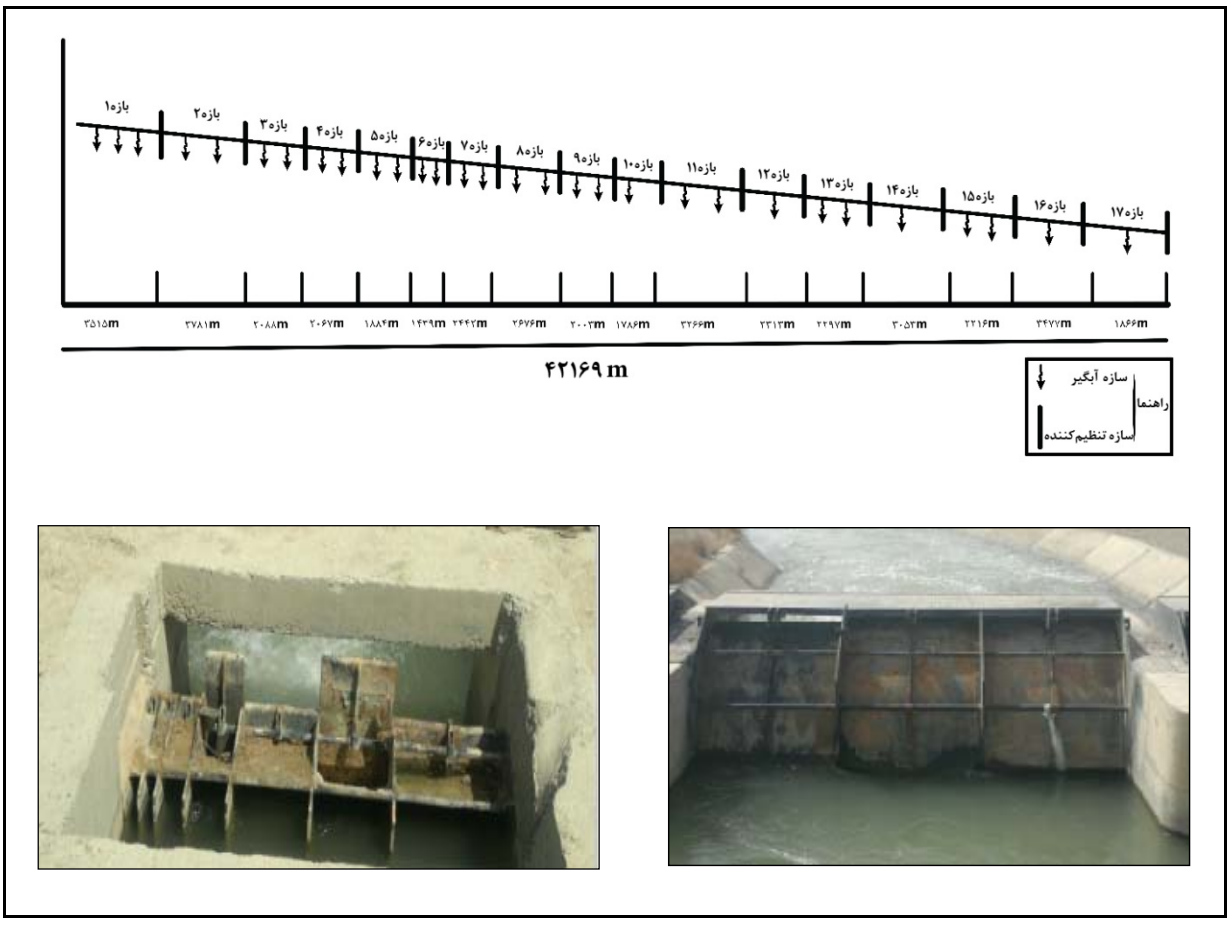
1- Fayoum

همچنین، اطلاعات بهره‌برداری کانال مورد مطالعه شامل دبی ورودی به کانال اصلی و مقادیر دبی تحویل روزانهٔ آب در آبگیرهای واقع در کانال اصلی، در یک دورهٔ واقعی ۵۲ روزه بهره‌برداری در سال ۱۳۹۴ جمع‌آوری شد. عملکرد بهره‌برداری کانال اصلی مورد مطالعه بر پایهٔ اطلاعات جمع‌آوری شده و به‌صورت مجزا، با بهره‌گیری از دو سامانهٔ آبگیری نیرپیک و سامانهٔ لت، تحت نوسانات ملایم و شدید جریان ورودی به کانال اصلی و بر اساس سه شاخص ارزیابی عملکرد کفایت، راندمان و عدالت تحویل بررسی و ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

معرفی کانال مورد مطالعه

در این تحقیق، کانال اصلی شاخه شمالی شبکهٔ آبیاری رودشت که مجهز به سازهٔ تنظیم آب از نوع سرریز نوک اردکی و دریچهٔ آبگیری از نوع نیرپیک است، به‌عنوان کانال مورد مطالعهٔ این تحقیق انتخاب شده است. شکل ۲، تصویر شماتیک از کانال اصلی مدل شده در این تحقیق به‌همراه تصویری از دو تیپ دریچه‌های آبگیر مورد استفاده درکانال رودشت را نشان می‌دهد. مشخصات سامانهٔ آبگیری موجود کانال اصلی، شامل دریچه‌های نیرپیک، در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۲- شمایی از کانال اصلی رودشت به‌همراه تصویری از تیپ آبگیرهای نیرپیک کانال مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات آبگیرهای مدول نیرپیک واقع در کانال اصلی مورد مطالعه

شمارهٔ آبگیر	نام دریچهٔ آبگیر	نوع دریچهٔ آبگیر	متوسط دبی برداشتی (مترمکعب بر ثانیه)	شمارهٔ آبگیر	نام دریچهٔ آبگیر	نوع دریچهٔ آبگیر	متوسط دبی برداشتی (مترمکعب بر ثانیه)
۱	P0R	L2	۰/۰۵۵	۱۶	CL8	L2	۰/۰۱۲
۲	P0L	L2	۰/۰۲۱	۱۷	PL8	XX2	۰/۰۱۲
۳	CL1	XX2	۰/۰۱۵	۱۸	CL9	L2	۰/۰۵۸
۴	CL2	XX2	۰/۰۷۹	۱۹	PL9	XX2	۰/۰۵۸
۵	PL2	XX2	۰/۰۷۳	۲۰	CL10	L2	۰/۰۵۸
۶	CL3	XX2	۰/۰۲۱	۲۱	CL11	L2	۰/۱۷۵
۷	PL3	XX2	۰/۰۴۹	۲۲	PL11	XX2	۰/۰۶
۸	CL4	XX2	۰/۰۵۵	۲۳	CL12	XX2	۰/۰۶
۹	PL4	XX2	۰/۰۱	۲۴	CL13	L2	۰/۱۷۵
۱۰	CL5	XX2	۰/۰۲۱	۲۵	PL13	XX2	۰/۰۶۱
۱۱	PL5	XX2	۰/۰۲۱	۲۶	CL14	XX2	۰/۱۱۲
۱۲	CL6	L2	۰/۰۲۴	۲۷	CL15	L2	۰/۱
۱۳	PL6	XX2	۰/۰۳۳	۲۸	PL15	XX2	۰/۱
۱۴	CL7	XX2	۰/۰۳۳	۲۹	CL17	L2	۰/۰۵
۱۵	PL7	XX2	۰/۰۱۲	۳۰	CL18	XX2	۰/۰۵

سامانهٔ توزیع تناسبی (لت) طراحی شده

کانال‌های آبیاری از لحاظ بهره‌برداری به دو نوع قابل بهره‌برداری و غیرقابل بهره‌برداری تقسیم می‌شوند. اساس نوع دوم اغلب یک تقسیم‌بندی ثابت جریان ورودی در طول کانال و معروف است به سیستم تناسبی. این تقسیم‌بندی ثابت، بر اساس مقادیر حقابهٔ از پیش مشخص شده در امتداد کانال تعیین می‌شود. روش کنترل تناسبی به‌سبب حداقل نیاز به تنظیم‌کننده‌ها و آبگیرهای قابل بهره‌برداری، ساده‌ترین روش بهره‌برداری از کانال آبیاری محسوب می‌شود که کمترین پیچیدگی را نیز داراست. جریان با یک سرریز تقسیم می‌شود که عرض آن به نسبت حقابهٔ هر یک از مشترکان، کانال‌های فرعی یا حقابهٔ پایین‌دست کانال، با دیواره‌های نازکی جداسازی شده است. در ساده‌ترین حالت، یک سرریز با عرض تقسیم‌بندی شده آب را از کانال اصلی منحرف می‌کند و در مواردی که آبگیری‌های مختلف از یک نقطه آغاز می‌شود، مجموع چند سرریز آب را از کانال اصلی منحرف می‌کنند (Renault *et al*., 2007).

مدل ریاضی سامانهٔ توزیع تناسبی طراحی شده در این تحقیق از نوع سرریزهای منفرد بهره برده که در محل آبگیرهای فعلی کانال در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه سازه‌های کنترل سطح آب از نوع سرریزهای نوک اردکی و نیز اینکه تقریباً تمامی آبگیرها در مجاورت و به فاصلهٔ بسیار کمی از سرریزهای نوک‌اردکی واقع شده است، می‌توان مجموعهٔ یک سرریز نوک‌اردکی با آبگیرهای مجاور را یک سامانهٔ تناسبی چندگانه در نظر گرفت. در اینجا مشخصات هیدرولیکی سرریزهای تناسبی در این تحقیق ارائه می‌شود: - دبی طراحی؛ بر اساس دبی طراحی دریچهٔ نیرپیک فعلی، - رقوم تاج سرریز؛ مطابق با رقوم تاج سرریز نوک‌اردکی واقع در پایین‌دست هر آبگیر، - عرض سرریز؛ متناسب با دبی طراحی، - ضخامت تیغهٔ سرریز؛ برابر با مقدار مشابه در سرریز نوک‌اردکی پایین‌دست هر آبگیر.

تهیهٔ مدل ریاضی بهره‌برداری کانال اصلی رودشت

در این تحقیق، به‌منظور شبیه‌سازی جریان غیرماندگار، از مدل هیدرودینامیک ICSS استفاده شد. مدل هیدرودینامیک ICSS را مانز (Manz, 1985) در سال ۱۹۸۵ تهیه کرد. این مدل می‌تواند جریانات ماندگار و غیرماندگار را در شبکه‌های آبیاری با شکل‌های گوناگون مقطع کانال، همراه با طیف قابل توجهی از سازه‌ها و امکان بهره‌برداری آنها را توأم با جریانات گسترده ورودی و خروجی شبیه‌سازی کند. برای اطلاع از جزئیات بیشتر در مورد چگونگی عملکرد، مبانی مدل، روش شبیه‌سازی و نحوهٔ استفاده و کاربردهای گوناگون این مدل ریاضی در شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری به مطالعات منعم (Monem, 1999)، منعم و مساح (Monem & Massah, 2003) ، محسنی‌موحد و منعم (Mohseni-Movahed & Monem, 2003)، قدوسی و همکاران (Ghodosi *et al.*, 2005) و شاهوردی و منعم (Shahverdi & Monem, 2012, 2015) مراجعه شود.

برای شبیه‌سازی جریان در کانال با این مدل و به‌منظور پرداختن به محاسبات هیدرولیکی، کانال به تعدادی بازه تقسیم می‌شود. ابتدا و انتهای این بازه‌ها در اغلب موارد سازه‌های آب‌بند و آبگیر در طول کانال هستند که شرایط مرزی آن قطعه محسوب می‌شوند. بنابراین، وضعیت هیدرولیکی این سازه‌ها باید در داده‌های ورودی مدل مشخص و تعریف شود. در مدل ICSS به‌ازای هر سازه‌ای که در روند محاسبات در طول کانال نقش شرط مرزی دارد، باید دو ماتریس اطلاعات مرتبط با آن شرط مرزی در یک فایل ورودی قید شود.

بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از دفتر بهره‌برداری شبکهٔ آبیاری رودشت، شامل نقشهٔ مسیر کانال، مشخصات فیزیکی بازه‌های کانال، محل و ابعاد سازه‌های آب‌بند نوک‌اردکی، نوع و مکان سازه‌های آبگیر نیرپیک، شرایط هیدرولیکی مرزی بالادست و پایین دست در شبیه‌ساز هیدرودینامیک ICSS ،مدل ریاضی کانال اصلی آبیاری مورد مطالعه طراحی شد. مدل بر اساس داده‌های دبی تحویلی به کلیهٔ آبگیرهای کانال رودشت، برای کشت بهارهٔ سال ۱۳۹۴ (از ۲۰ فروردین تا ۱۱ خرداد ۱۳۹۴) واسنجی شد. برای مقایسهٔ مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده، از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده شد که عیسی‌پور و همکاران (Isapoor *et al.*, 2011) به‌کار برده‌اند.

$$RMSE=\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(M_i-S_i)^2\right]^{0.5}\times\left(\frac{100}{M}\right) \qquad (۱)$$

$$RMSE=\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(M_i-S_i)^2\right]^{0.5}\times\left(\frac{100}{M}\right) \qquad (۲)$$

که در آنها،

S_i؛ M_i؛ و M به‌ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده، مشاهده شده و میانگین مقادیر مشاهداتی است.

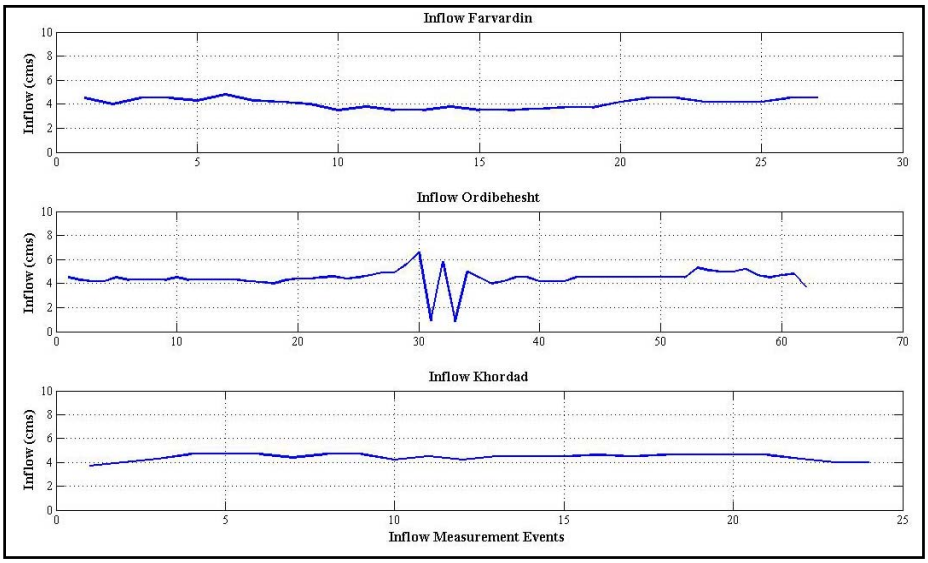
برای واسنجی مدل ریاضی تهیه شده در نرم‌افزار ICSS، ضریب دبی هر سازهٔ تنظیم به‌عنوان متغیر قابل تغییر جهت انطباق مقادیر شبیه‌سازی دبی عبوری از سرریزهای نوک‌اردکی و نیز رقوم سطح آب بالادست سازه‌های مذکور با مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده، استفاده شد. اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط شرکت بهره‌برداری شبکهٔ آبیاری رودشت، شامل دبی عبوری از هر سازهٔ تنظیم، رقوم سطح آب بالادست آن و دبی آبگیری شده توسط آبگیرها، به‌عنوان اطلاعات مشاهداتی در نظر گرفته شد. این اندازه‌گیری بر اساس دو مقدار مختلف دبی ورودی به کانال اصلی آبیاری و در دو روز مختلف در فصل آبیاری انجام گرفته است. با تطبیق مقدار دبی عبوری و رقوم سطح آب محاسبه شده توسط مدل ریاضی تهیه شده در این تحقیق با مقدار مشاهداتی، ضریب دبی هر سرریز نوک‌اردکی تعیین گردید.

پس از واسنجی مدل ریاضی جریان در کانال، بر اساس مقایسهٔ مقدار دبی محاسبه شدهٔ تحویلی هر یک از آبگیرهای واقع در کانال اصلی و مقدار دبی اندازه‌گیری شده توسط شرکت بهره‌برداری، فرآیند صحت‌سنجی دنبال شد. یادآوری می‌شود که صحت‌سنجی مدل ریاضی تهیه شده توسط مدل ICSS بر اساس شرایط فعلی بهره‌برداری کانال آبیاری، شامل سازه‌های تنظیم از نوع نوک‌اردکی و آبگیرهای مدول نیرپیک، و دقیقاً مطابق شرایط فیزیکی کانال آبیاری در زمان اندازه‌گیری بوده است. بررسی مطلوبیت فرآیند واسنجی و صحت‌سنجی مدل ریاضی تهیه شده، که در جدول ۲ آمده است، نشان می‌دهد که مدل به‌خوبی واسنجی شده است و برای شبیه‌سازی سناریوی بهره‌برداری، که هدف اصلی این پژوهش است، دقت خوبی دارد.

جدول ۲- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی شده در این تحقیق

	شاخص‌های واسنجی و صحت‌سنجی	
	RMSE	**CRM**
واسنجی مدل شبیه‌سازی شده	۰/۰۰۳	۰/۰۹۹
صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی شده	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱

همان‌طور که در مقدمه نیز اشاره شد، عملکرد سامانه‌های تحویل آب در این تحقیق مطابق با یک دوره واقعی کشت بهاره ارزیابی و مقایسه شده است. میزان تقاضای آب در هر آبگیر نیز بر اساس آمار و اطلاعات ثبت شده در دفتر بهره‌برداری شبکه در نظر گرفته شد. برای سامانهٔ آبگیری نیرپیک، آبگیرها تنها یک بار در ابتدای روز تنظیم شدند و در زمان نوسانات بازشدگی شاتل‌های دریچه نیرپیک ثابت بودند و در بازشدگی یا بسته بودن آنها تغییری داده نشد. شکل ۳، نوسانات دبی ورودی به کانال اصلی را به تفکیک هر ماه نشان می‌دهد که سناریوی بهره‌برداری این تحقیق است. با توجه به آنکه جریان ورودی در روزهای مختلف دوره بهره‌برداری با تکرارهای مختلف اندازه‌گیری شده است، محور افقی هر سه نمودار شکل ۳، تعداد اندازه‌گیری‌های دبی ورودی به کانال اصلی در هر ماه و محور افقی مقدار دبی ورودی اندازه‌گیری شده است.



شکل ۳ – مقادیر دبی روزانهٔ ورودی به کانال اصلی مورد مطالعه این تحقیق در دورهٔ بهره‌برداری

شاخص‌های ارزیابی عملکرد

برای ارزیابی جامع فرآیند تحویل آب در هر دو سامانهٔ نیرپیک و لت، میزان کفایت و راندمان تحویل آب در محل هر آبگیر و نیز مقدار عدالت توزیع آب بین آبگیرهای واقع شده در طول کانال اصلی بررسی شدند. برای این منظور، از شاخص‌های ارزیابی عملکرد بهره‌برداری ارائه شده توسط مولدن و گیتس (Molden & Gates, 1990) در این تحقیق استفاده شد (روابط ۳ تا ۵):

$$P_A = \frac{1}{T}\sum_{T}[\frac{1}{R}\sum_{R}(P_a)] \qquad (۳)$$

$$P_a = \frac{Q_d}{Q_r} \quad if \;\; Q_d < Q_r \quad Otherwise \;\; P_a = 1$$

$$P_F = \frac{1}{T}\sum_{T}[\frac{1}{R}\sum_{R}(P_f)] \qquad (۴)$$

$$P_f = \frac{Q_r}{Q_d} \quad if \;\; Q_r < Q_d \quad Otherwise \;\; P_f = 1$$

$$P_E = \frac{1}{T}\sum_{T} C\,V_R(\frac{Q_d}{Q_r}) \qquad (۵)$$

که در آنها،

P_A= شاخص کفایت تحویل؛ P_F= راندمان تحویل؛ P_E = عدالت تحویل؛ R= پارامتر مکانی (تعداد آبگیرها) و Q_r و Q_d= به‌ترتیب مقدار آب مورد نیاز و مقدار آب تحویل شده در هر آبگیر در دورهٔ زمانی T. و CV_R= ضریب تغییرات مکانی که از تقسیم میانگین به انحراف معیار نسبت آبگیری برای هر آبگیر در هر گام زمانی شبیه‌سازی به‌دست می‌آید.

بر اساس استاندارد ارائه شده توسط مولدن و گیتس (Molden & Gates, 1990)، مطلوبیت بهره‌برداری بر اساس هر یک از سه شاخص مذکور، با استفاده از سه مفهوم «خوب» و «متوسط» و «ضعیف»، مطابق جدول ۳، ارزیابی می‌شود.

جدول۳- مطلوبیت بهره‌برداری کانال بر اساس شاخص‌های ارزیابی عملکرد مولدن و گیتس (Molden & Gates, 1990)

شاخص	محدودهٔ عملکرد		
	خوب	متوسط	ضعیف
کفایت تحویل آب	۱-۰/۹	۰/۸۹ -۰/۸	<۰/۸
راندمان تحویل آب	۱-۰/۸۵	۰/۸۴-۰/۷۰	<۰/۷۰
عدالت تحویل آب	۰/۱-۰	۰/۲۵ -۰/۱۱	>۰/۲۵

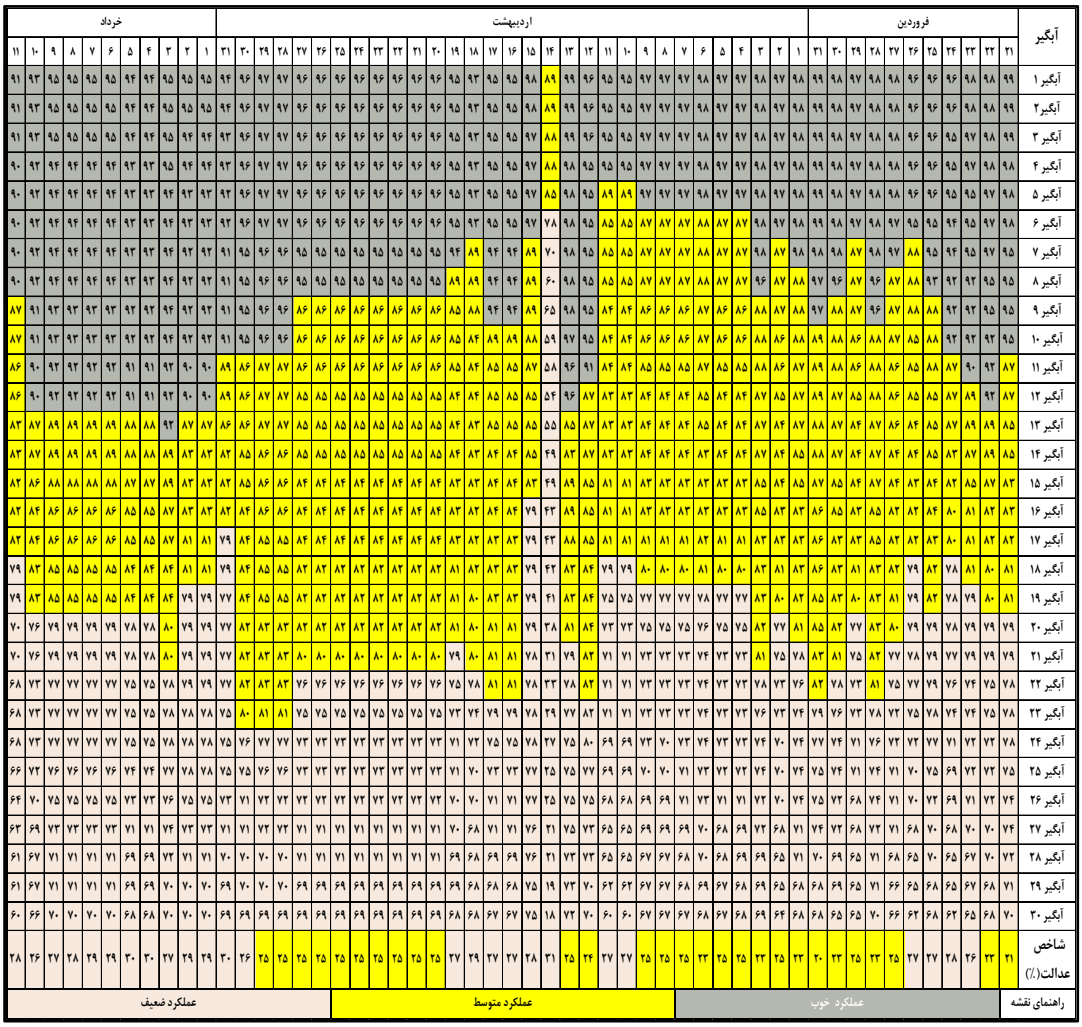
نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی وضع تحویل آب موجود در کانال اصلی با دریچه‌های نیرپیک

برای بررسی عملکرد وضع فعلی فرآیند تحویل آب، با بهره‌گیری از دریچه های نیرپیک به عنوان سامانهٔ تحویل آب کانال اصلی شاخهٔ شمالی شبکهٔ رودشت، اطلاعات روزانه دبی تحویلی در محل آبگیرها و نیز دبی ورودی به کانال اصلی برای یک دورهٔ ۵۲ روزه بهره‌برداری از تاریخ ۲۱ فروردین تا ۱۱ خرداد ۱۳۹۴ تهیه و وضعیت بهره‌برداری شبیه‌سازی شد. نتایج ارزیابی مطلوبیت عملکرد تحویل آب در آبگیرها ازلحاظ کفایت توزیع آب در محل هر آبگیر و عدالت توزیع آب بین آبگیرهای بالادستی و پایین‌دستی کانال مورد مطالعه، در قالب شکل ۴ آمده است. برابر راهنمای نقشه، میزان مطلوبیت بهره‌برداری بر اساس استاندارد ارائه شده در جدول ۳، با تکیه بر سه مفهوم «خوب» و «متوسط» و «ضعیف»، قابل تشخیص است.

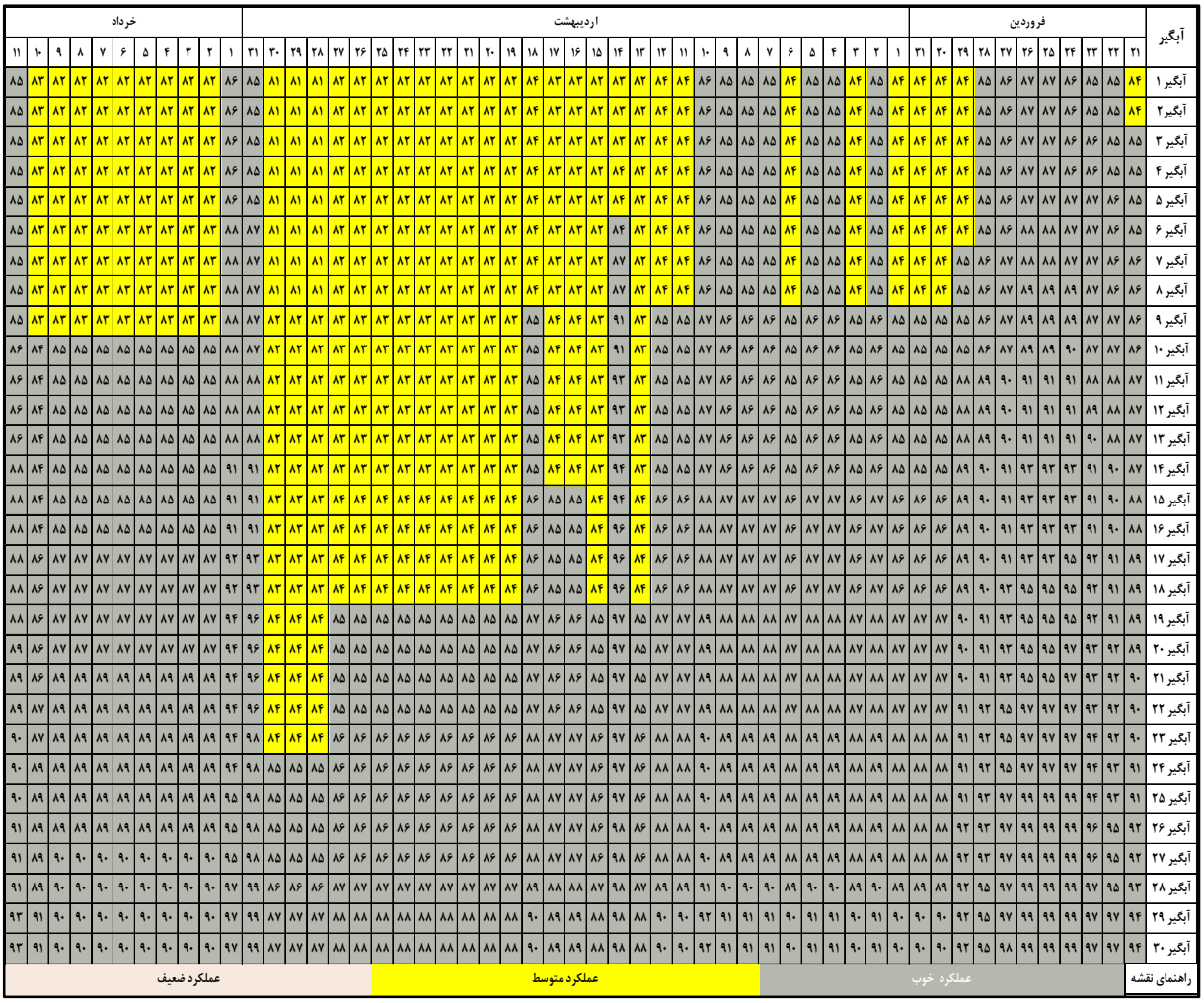
مطابق شکل ۴، مقادیر شاخص محاسبه شدهٔ کفایت نشان می‌دهد که با کاهش جریان ورودی در سراب کانال، دبی تحویلی به آبگیرهای انتهایی تغییرات بیشتری از خود

نشان می‌دهد و به‌عبارتی با کمتر شدن دبی در سراب کانال، آبگیرهای انتهایی نسبت به آبگیرهای ابتدایی دبی کمتر از آنچه نیاز دارند دریافت می‌کنند. بنابراین، از لحاظ آسیب‌پذیر بودن آبگیرها در دریافت آب، آبگیرهای پایین‌دست کانال آسیب‌پذیرترند. به غیر از روز ۱۴ اردیبهشت ماه (که نوسان دبی ورودی به کانال شدید بوده است) در روزهای دیگر الگوی تقریباً ثابتی در کفایت تحویل آب به آبگیرها دیده می‌شود. برای نوسانات متوسط و شدید، روبه‌رو شدن با این پدیده طبیعی است اما برای روزهایی که دبی ورودی به کانال نوسان کمی دارد قاعدتاً نباید شاهد این اتفاق بود زیرا آبگیرهای مدول نیرپیک در مقایسه با سایر سازه‌های آبگیر، در زمان نوسانات محدود سطح آب در کانال (که در این تحقیق ناشی از نوسان دبی ورودی است)، دبی ثابتی دریافت می‌کنند. بنابراین اگر کانال آبیاری به درستی طراحی شده باشد و یا عملکرد بهره‌برداری خوبی داشته باشد، با نوسانات ملایم دبی ورودی تنها آبگیرهای واقع در انتهای کانال باید به مشکل آبگیری برخورد کنند. منظور از طراحی درست و بهره‌برداری مناسب، صرف‌نظر از سازه‌های انتقال آب، یکی انتخاب تعداد مناسب سازهٔ کنترل و تنظیم است که جایابی آنها درست باشد و دیگری جایابی مناسب محل آبگیرها در طول کانال اصلی است.



شکل ٤- پراکندگی زمانی مطلوبیت بهره‌برداری بر اساس مقادیر محاسبه شده شاخص‌های کفایت و عدالت توزیع آب با استفاده از دریچه‌های نیرپیک

مقادیر شاخص عدالت نیز حاکی از عملکرد متوسط و ضعیف بهره‌برداری کانال اصلی از نظر تأمین عدالت توزیع آب بین آبگیرهای بالادستی با آبگیرهای بخش میانی و پایین‌دست شبکه است. بر اساس آنچه از شکل ۴ نتیجه‌گیری می‌شود، می‌توان گفت که سامانه‌های موجود کنترل و تنظیم آب و تحویل آب (به‌ترتیب سرریزهای نوک‌اردکی و دریچه‌های نیرپیک) در توزیع عادلانهٔ آب در کانال مورد مطالعه عملکرد قابل قبول نداشته‌اند در حالی‌که مطابق شکل ۳، در اغلب روزهای دورهٔ بهره‌برداری (به‌غیر از روز ۱۴ اردیبهشت)، نوسانات در جریان ورودی به کانال مورد مطالعه متوسط و اندک بوده است. در یک نتیجه‌گیری کلی از شکل ۳ می‌توان گفت که عملکرد هر دو سامانهٔ موجود کنترل و تحویل آب، از لحاظ کفایت و عدالت توزیع آب نامناسب‌اند و نیازمند بهبود عملکرد هستند. نتایج به تصویر کشیده شده در شکل ۴ مقادیر متوسط روزانهٔ دو شاخص کفایت تحویل آب و عدالت توزیع آب هستند، از این‌رو برای بررسی دقیق تر آنچه در بهره‌برداری کانال رخ می دهد مقادیر متوسط روزانه شاخص راندمان تحویل آب (PF) نیز محاسبه و شرح نتایج آن در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ۵- پراکندگی زمانی مطلوبیت بهره‌برداری بر اساس مقادیر محاسبه شدهٔ شاخص راندمان تحویل آب به آبگیرهای مدول نیرپیک

برابر شکل ۵، در آبگیرهای واقع در بالادست کانال اصلی، تقریباً در اکثر روزهای دورهٔ بهره‌برداری، شاخص راندمان عملکرد متوسط داشته است. در همین دوره، روند معکوسی در آبگیرهای انتهایی واقع در پایین‌دست کانال مشاهده می‌شود به‌صورتی‌که متوسط روزانهٔ شاخص راندمان افزایش یافته و در محدوده خوب قرار گرفته است. در واقع، این نتیجه نشانگر آن است که مطابق انتظار، جریان ورودی با نوسانات کم (که تقریباً در اکثر روزهای این دوره رخ داده است) سبب هدررفت بیشتر آب در بالادست کانال شده است. به‌عبارت دیگر، آب مازاد بر میزان حقابه در آبگیرهای بالادست کانال تحویل داده شده است. مقادیر شاخص کفایت نیز این موضوع را تأیید می‌کند زیرا در آبگیرهای انتهایی مقدار این شاخص کاهش یافته و در محدودهٔ ضعیف قرار گرفته است و به‌سخنی دیگر، آبگیرهای انتهایی دبی تحویلی کمتری از دبی مورد نیاز خود دریافت می‌کنند. با این حال، نتایج ارائه شدهٔ شاخص راندمان توزیع آب، مطابق شکل ۵، نشان از عمکرد تقریباً قابل قبول سامانهٔ آبگیری موجود در تأمین راندمان مناسب آبگیری در طول کانال اصلی است. این نتیجه ارتباط مستقیمی با نحوهٔ کارکرد دریچه‌های نیرپیک دارد که می‌توانند با کاهش تأثیر نوسانات رقوم سطح آب بالادست آبگیر (البته تا حد محدودی)، آب را به آبگیرها تحویل دهند.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال اصلی با سامانهٔ لت

در این قسمت مدل ریاضی سامانهٔ لت با گذاشتن سرریزهای با عرض متناسب دبی مورد تقاضا (حقابه و اشتراکی) به‌جای دریچه‌های آبگیر نیرپیک ایجاد شد. برای ارائهٔ مقایسه‌ای بین عملکرد دریچه‌های آبگیر نیرپیک با سامانهٔ لت، نتایج شبیه‌سازی روز ۱۴ اردیبهشت ماه که حداکثر نوسان ورودی به کانال رخ داده و نیز یک روز قبل (۱۳ اردیبهشت با نوسان اندک جریان ورودی) و یک روز بعد (روز ۱۵ اردیبهشت با نوسان کم تا حدودی متوسط) شبیه‌سازی بهره‌برداری کانال اصلی انتخاب شدند. نتایج این بخش در قالب شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده‌اند و تفسیر نتایج حاصل شده ارزیابی عملکرد دو سامانه به تفکیک شاخص‌های ارزیابی عملکرد کفایت، راندمان و عدالت توزیع آب ارائه شده است.

شاخص کفایت توزیع آب

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که برای روز ۱۳ اردیبهشت‌ماه که میزان نوسان ورودی اندک است، تقریباً برای کل آبگیرهای سامانهٔ لت ارزیابی کفایت تحویل آب قابل قبول است؛ به‌جز ۳ آبگیر انتهایی که در آنها نیز میزان شاخص کفایت متوسط نزدیک به خوب بوده است. روند مشابهی نیز برای روز ۱۵ اردیبهشت‌ماه دیده می‌شود که با تشدید نوسانات ورودی، آبگیرهای بالادست عملکرد مطلوب و آبگیرهای میانی عملکرد متوسط داشته‌اند. با مقایسهٔ شاخص مذکور برای روزهای مشابه، در سامانه آبگیرهای نیرپیک عملکرد تقریباً ضعیف‌تری دیده شده به‌طوری‌که در این دو روز فقط عملکرد آبگیرهای بالادستی خوب بوده است. با ایجاد نوسان شدید در روز ۱۴ اردیبهشت، هر دو سامانهٔ لت و نیرپیک عملکرد مشابهی داشته‌اند به‌نحوی‌که متوسط مقدار محاسبه شدهٔ شاخص کفایت تقریباً در یک محدوده تغییر کرده‌اند. حتی برای آبگیرهای بالادست عملکرد آبگیرهای نیرپیک اندکی بهتر از سامانهٔ لت بوده است.

آبگیر	شاخص بهره برداری عملکرد سامانه لت									شاخص بهره برداری عملکرد سامانه نیرپیک								
	راندمان(٪)			کفایت(٪)			عدالت(٪)			آبگیر	راندمان(٪)			کفایت(٪)			عدالت(٪)		
	سیزدهم	چهاردهم	پانزدهم	سیزدهم	چهاردهم	پانزدهم	سیزدهم	چهاردهم	پانزدهم		سیزدهم	چهاردهم	پانزدهم	سیزدهم	چهاردهم	پانزدهم	سیزدهم	چهاردهم	پانزدهم
آبگیر ۱	۲۰	۸۰	۲۲	۱۰۰	۸۰	۹۹				آبگیر ۱	۸۲	۸۳	۸۲	۹۹	۸۹	۹۸			
آبگیر۲	۲۰	۸۰	۲۲	۱۰۰	۸۰	۹۹				آبگیر۲	۸۲	۸۳	۸۲	۹۹	۸۹	۹۸			
آبگیر ۳	۲۰	۸۰	۲۲	۱۰۰	۷۹	۹۸				آبگیر ۳	۸۲	۸۳	۸۲	۹۹	۸۸	۹۷			
آبگیر ۴	۲۰	۸۲	۲۱	۱۰۰	۷۵	۹۸				آبگیر ۴	۸۲	۸۴	۸۲	۹۸	۸۸	۹۷			
آبگیر ۵	۳۶	۸۵	۳۸	۱۰۰	۵۵	۹۸				آبگیر ۵	۸۲	۸۴	۸۲	۹۸	۸۵	۹۷			
آبگیر ۶	۲۰	۸۲	۲۱	۱۰۰	۷۰	۹۸				آبگیر ۶	۸۲	۸۴	۸۲	۹۸	۷۸	۹۷			
آبگیر ۷	۱۹	۸۰	۱۹	۱۰۰	۷۳	۹۸				آبگیر ۷	۸۲	۸۷	۸۲	۹۸	۷۰	۸۹			
آبگیر ۸	۲۱	۷۹	۲۱	۱۰۰	۶۳	۹۴				آبگیر ۸	۸۲	۸۷	۸۲	۹۸	۶۰	۸۹			
آبگیر ۹	۱۹	۷۹	۱۹	۱۰۰	۶۷	۹۴				آبگیر ۹	۸۳	۹۱	۸۳	۹۸	۶۵	۸۹			
آبگیر ۱۰	۲۰	۷۵	۱۹	۹۹	۶۰	۹۳				آبگیر ۱۰	۸۳	۹۱	۸۳	۹۷	۵۹	۸۸			
آبگیر ۱۱	۲۰	۷۴	۲۰	۹۸	۵۹	۹۲				آبگیر ۱۱	۸۳	۹۳	۸۳	۹۶	۵۸	۸۷			
آبگیر ۱۲	۲۰	۷۳	۲۰	۹۸	۵۶	۹۱				آبگیر ۱۲	۸۳	۹۳	۸۳	۹۶	۵۴	۸۵			
آبگیر ۱۳	۳۰	۷۲	۱۹	۹۸	۵۷	۸۹				آبگیر ۱۳	۸۳	۹۳	۸۳	۸۵	۵۵	۸۵			
آبگیر ۱۴	۲۱	۶۸	۱۹	۹۷	۵۰	۸۹				آبگیر ۱۴	۸۳	۹۴	۸۳	۸۳	۴۹	۸۵			
آبگیر ۱۵	۲۱	۶۶	۱۹	۹۷	۵۰	۸۸	۴۴	۵۰	۴۶	آبگیر ۱۵	۸۴	۹۴	۸۴	۸۹	۴۹	۸۳	۲۵	۳۱	۲۸
آبگیر ۱۶	۲۱	۶۰	۱۸	۹۷	۴۵	۸۸				آبگیر ۱۶	۸۴	۹۶	۸۴	۸۹	۴۳	۷۹			
آبگیر ۱۷	۲۱	۶۲	۱۸	۹۷	۴۵	۸۸				آبگیر ۱۷	۸۴	۹۶	۸۴	۸۸	۴۳	۷۹			
آبگیر ۱۸	۲۰	۵۸	۱۸	۹۶	۴۳	۸۷				آبگیر ۱۸	۸۴	۹۶	۸۴	۸۳	۴۲	۷۹			
آبگیر ۱۹	۲۰	۵۸	۱۸	۹۵	۴۳	۸۵				آبگیر ۱۹	۸۵	۹۷	۸۵	۸۳	۴۱	۷۹			
آبگیر ۲۰	۲۱	۵۵	۱۸	۹۵	۳۹	۸۴				آبگیر ۲۰	۸۵	۹۷	۸۵	۸۱	۳۸	۷۹			
آبگیر ۲۱	۲۱	۵۴	۱۸	۹۴	۳۳	۷۹				آبگیر ۲۱	۸۵	۹۷	۸۵	۷۹	۳۱	۷۸			
آبگیر ۲۲	۲۰	۵۴	۲۰	۹۴	۳۳	۷۹				آبگیر ۲۲	۸۵	۹۷	۸۵	۷۸	۳۳	۷۸			
آبگیر ۲۳	۲۲	۵۰	۲۰	۹۳	۲۹	۷۹				آبگیر ۲۳	۸۶	۹۷	۸۶	۷۷	۲۹	۷۸			
آبگیر ۲۴	۲۲	۴۷	۱۹	۹۳	۲۷	۷۸				آبگیر ۲۴	۸۶	۹۷	۸۶	۷۵	۲۷	۷۸			
آبگیر ۲۵	۲۲	۴۴	۲۲	۹۲	۲۵	۷۷				آبگیر ۲۵	۸۶	۹۷	۸۶	۷۵	۲۵	۷۷			
آبگیر ۲۶	۲۳	۴۴	۲۵	۹۲	۲۵	۷۷				آبگیر ۲۶	۸۶	۹۸	۸۶	۷۵	۲۵	۷۷			
آبگیر ۲۷	۲۵	۴۴	۲۶	۹۰	۲۱	۷۶				آبگیر ۲۷	۸۶	۹۸	۸۶	۷۵	۲۱	۷۶			
آبگیر ۲۸	۲۵	۴۳	۲۶	۸۵	۲۱	۷۶				آبگیر ۲۸	۸۷	۹۸	۸۷	۷۳	۲۱	۷۶			
آبگیر ۲۹	۲۳	۴۳	۲۶	۸۵	۱۹	۷۵				آبگیر ۲۹	۸۸	۹۸	۸۸	۷۳	۱۹	۷۵			
آبگیر ۳۰	۲۴	۴۲	۲۵	۸۳	۱۸	۷۵				آبگیر ۳۰	۸۸	۹۸	۸۸	۷۲	۱۸	۷۵			
راهنمای نقشه	عملکرد ضعیف									عملکرد متوسط							عملکرد خوب		

شکل ٦- مقایسه مطلوبیت بهره‌برداری سامانهٔ لت و آبگیر نیرپیک بر اساس مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد

شاخص راندمان توزیع آب

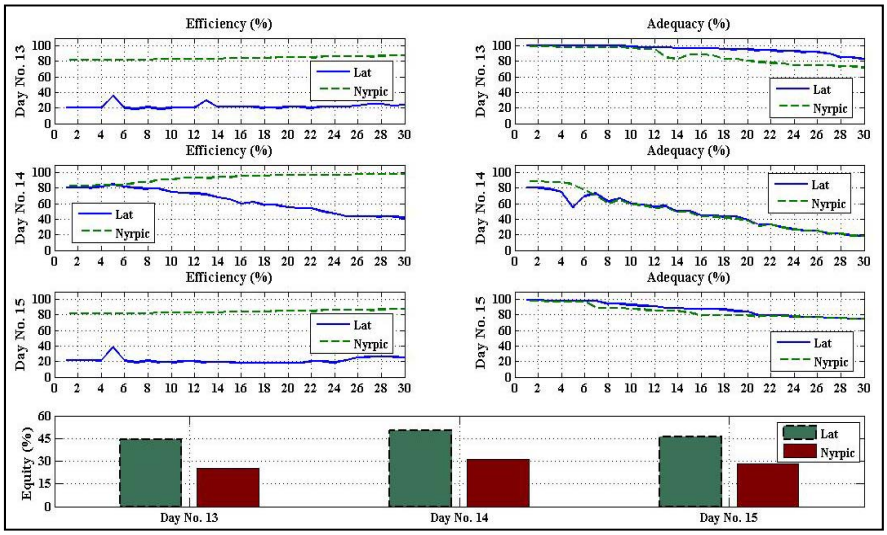
با توجه به اینکه شاخص کفایت عملکرد مطلوبی برای هر دو سامانهٔ لت و نیرپیک در روز ۱۴ اردیبهشت نشان نداده است، انتظار می‌رفت شاخص راندمان برای هر دو سامانه مقدار مطلوب را نشان دهد. به‌عبارت دیگر، عملکرد متوسط و ضعیف شاخص کفایت حاکی از آن است که به‌طور متوسط در طول روز ۱۴ اردیبهشت مقدار کل آب تحویل داده شده به آبگیرها کمتر از میزانی بوده است که باید تحویل داده می‌شد. بنابراین، انتظار می‌رود آبگیرها آب مازاد بر تقاضا دریافت نکرده‌اند. سامانهٔ آبگیرهای نیرپیک دقیقاً مطابق انتظار پیش رفته است به‌طوری‌که مقدار متوسط روزانه شاخص راندمان تحویل برای ۸۰ درصد آبگیرها (پایین‌دست- میانی و برخی از بالادستی‌ها) عملکرد شاخص خوب به‌دست آمده است. اما نتایج به‌دست آمده در سامانهٔ لت عکس این قضیه را نشان می‌دهد. در سامانهٔ لت تقریباً ۵۰ درصد آبگیرها از لحاظ راندمان تحویل آب عملکرد ضعیفی داشته‌اند که نشان می‌دهد در طول روز ۱۴ اردیبهشت، در مجموع

میزان آب تحویلی به سرریزها بیش از میـزان انتظـار بـوده است. دلیل ایجاد شدن این پدیده آن است که سازهٔ سرریز اصولاً نمی‌تواند کنترلی بر جریـان عبـوری از خـود داشـته باشد و هر تغییری در رقوم سطح آب بالادسـت ایـن سـازه عیناً جریان عبوری از سرریز را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بـا ایجاد جریان نوسانی در ورودی کانال، مـوج‌هـای مثبـت و منفی ناشی از نوسان ورودی در بازه کانال ایجاد مـی‌شـوند که رقوم سطح آب بالادست آبگیرهای واقع در امتداد کانال را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

بررسی نتایج شاخص راندمان تحویل حاکی اسـت کـه میزان آب تحویلی در کانـال همـواره بـیش از مقـدار نیـاز آبگیرهاسـت. در روز ۱۴ اردیبهشـت نیـز وقـوع جریـان کاهشی شدید سـبب بهبـود نسـبی تحویـل آب مـازاد در بالادست کانال اصلی شـده اسـت. عمومـاً هرگونـه جریـان نوسانی در کانال‌های آبیاری (اعـم از اینکـه منبـع نوسـان، مانند این تحقیـق، در سـراب شـبکه باشـد یـا بـه‌واسـطهٔ بهره‌برداری ناگهانی یا خرابی سازه‌های تنظـیم باشـد) اگـر تنظیم‌کننده‌های کانـال از نـوع زیرگـذر (دریچـه) باشـند، می‌تواند سبب ایجاد نوسانات رفت و برگشتی در بـازه‌هـای کانـال شـود (کـه بـه پدیـدهٔ تشـدید امـواج - رزونـانس می‌انجامد). جریان‌هـای رفـت و برگشـتی یکـی از عوامـل اصلی تحویل مازاد آب در محل آبگیرها بـه‌شـمار مـی‌رود. با توجه بـه اینکـه در کانـال مـورد مطالعـهٔ ایـن تحقیـق، وجـود تنظـیم‌کننـده‌هـای نـوک‌اردکـی از ایجـاد هرگونـه جریان رفت و برگشتی جلوگیری می‌کند، فرضـیهٔ تحویـل آب مازاد بـه‌واسـطهٔ وجـود جریـان‌هـای رفـت و برگشـتی رد می‌شود. بنابراین، توجیه راندمان بـالای تحویـل آب در سامانهٔ لت را تنها می‌توان معطوف به دو عامل کرد: تعـداد زیـاد سـازه کنتـرل سـطح آب نـوک‌اردکـی (رگولاتورهـا) در کانـال مـورد مطالعـه و نامناسـب بـودن رقـوم تـاج سرریزهای نوک‌اردکی و سرریزهای سـامانهٔ لـت. در مـورد عامل دوم، می‌توان با افزایش تاج سرریز از میـزان تحویـل آب مازاد جلوگیری کرد. اما نباید فراموش شود که سـامانهٔ لت، به‌واسطهٔ ماهیت سرریز بودنش نمی‌توانـد آب عبـوری (آب تحویلی در محل آبگیر) را کنتـرل کنـد در حـالی‌کـه دریچهٔ نیرپیک علاوه بر آبگیری، می‌تواند آب را در شـرایط نوسان محدود سطح آب بالادست آبگیر، بـه‌طـور مطمـئن تحویل دهد.

شاخص عدالت توزیع آب

شاخص عدالت نیـز در زمـان اسـتفاده از سـامانهٔ لـت به نسبت سازه‌هـای آبگیـر نیرپیـک افـزایش یافتـه اسـت به‌نحوی‌که شاخص مذکور از مقـدار ۳۱ درصـد در روز ۱۴ اردیبهشت به ۵۰ درصد رسیده است. افزایش ۱۹ درصـدی مقدار شاخص عدالت به‌معنای ضـعیف شـدن عملکـرد آن است. به‌طور کلی از نظر توزیع عادلانهٔ آب بـین آبگیرهـای بالادست و پایین‌دست کانال اصـلی، سـامانهٔ لـت عملکـرد مطلـوبی در فرآینـد توزیـع آب در کانـال نـدارد. ماهیـت غیرقابل تنظیم بودن سامانهٔ لت سبب می‌شـود تـا تناسـب بین مقادیر تحویلی و مقادیر مورد نیاز درکانال از بین برود و آبگیرها به یک میزان تحت تأثیر جریـان نوسـانی ورودی قرار نگیرند. جمع‌بندی تمام نتایج به‌دست آمده در بخـش دوم این تحقیق، شامل مقایسهٔ عملکرد دریچه‌های نیرپیک و سامانهٔ لت، در قالب شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- مقایسه شاخص‌های ارزیابی عمکرد تحویل آب (کفایت، راندمان و عدالت) برای سامانه‌های نیرپیک و لت

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مطلوبیت عملکرد سامانهٔ لت در شرایط نوسانی و مقایسهٔ عملکرد آن با سامانهٔ آبگیر نیرپیک (سامانهٔ آبگیری موجود) ارزیابی و تلاش شد توانایی این دو سامانه در کنترل جریان ورودی نوسانی به کانال مورد مطالعه مقایسه شود. برای این منظور، مدل ریاضی بهره‌برداری کانال مذکور برای سامانهٔ آبگیر نیرپیک (سامانهٔ آبگیر موجود) و سامانهٔ لت برای یک دوره واقعی ۵۲ روزه بهره‌برداری (۲۱ فروردین تا ۱۱ خرداد) در شرایط نوسانی تهیه و با استفاده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد کفایت، راندمان و عدالت ارائه شده توسط مولدن و گیتس (Molden & Gates, 1990) آزمایش شد. نتایج ارزیابی عملکرد توزیع آب سامانهٔ موجود دریچه‌های نیرپیک در کانال اصلی حاکی از عملکرد نسبتاً ضعیف آن و تایید ضرورت بهبود عملکرد بهره‌برداری کانال اصلی شاخهٔ شمالی کانال مورد مطالعه بوده است. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با به‌کارگیری سامانهٔ لت کانال تحت جریان شدید نوسانی ورودی، در مقایسه با سامانهٔ آبگیرهای نیرپیک مزیت خاصی نشان نداده به‌گونه‌ای که شاخص عدالت که بیانگر میزان تناسب موجود بین مقادیر تحویلی و مقادیر مورد نیاز آب است، با اجرای سامانهٔ لت نسبت به سامانه آبگیر نیرپیک، به‌میزان ۱۹ درصد افزایش یافت؛ که نشان‌دهندهٔ عملکرد ضعیف سامانهٔ لت در شرایط نوسانات شدید ورودی است. به‌طور کلی از نظر توزیع عادلانهٔ آب بین آبگیرهای بالادست و پایین‌دست کانال اصلی، سامانهٔ لت عملکرد مطلوبی در فرآیند توزیع آب در کانال نشان نداده است. همچنین، شاخص راندمان تحویل نیز با اجرای سامانهٔ لت نسبت به آبگیر نیرپیک کاهش یافته و عملکرد ضعیف نشان داده است، زیرا سامانهٔ لت به‌واسطه ماهیت سرریز بودنش نمی‌تواند آب عبوری (آب تحویلی در محل آبگیر) را کنترل کند.

در پایان باید گفت که بر اساس نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، عملکرد نسبتاً ضعیف بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری مورد مطالعه تاییدکنندهٔ اقدام مدیران این شبکه در بهبود وضع موجود تحویل آب در کانال اصلی است. با این حال، پیشنهاد می‌شود که توانایی همهٔ گزینه‌های ممکن جایگزینی سامانهٔ کنترل سطح آب در کانال اصلی و نیز سامانهٔ تحویل آب دریچه‌های مدول نیرپیک، به‌صورت علمی و یک فرآیند سیستماتیک بررسی شود تا بتوان بهترین گزینهٔ (گزینه‌های) موجود را برای بهبود وضعیت بهره‌برداری شبکه انتخاب و معرفی کرد.

قدردانی

این مقاله با حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای اصفهان در قالب پروژهٔ تحقیقاتی شمارهٔ ۹۶/۱۲۸ تهیه شده است، نویسندگان بدین‌وسیله از این شرکت سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

Amiri-Tokaldani, E., Samadi, A., Ehsani, M. and Jabari, E. 2013. Modernizing Irrigation Management - the MASSCOTE Approach: Mapping System and Services for Canal Operation Techniques. IRNCID, Ltd. Iran. (in Persian)

Bhutta, M., Vander, N. and Velde, E. L. 1992. Equity of water distribution along secondary canals in Punjab, Pakistan. Irrig. Drain. Sys. 6(1): 161-177.

De Veer, M., Wormgoor, J. A., Rizq, R.G. and Wolters, W. 1993. Water management in tertiary units in the Fayoum, Egypt. Irrig. Drain. Syst., 1 (7): 69-82.

Ghodosi, H., Monem, M. and Emadi, A. 2005. The use of hydrodynamic models to evaluate the performance of irrigation canals on demand changes. The 5th Conference of Hydraulics, Faculty of Engineering. Shahid Bahonar University of Kerman. Iran. (in Persion)

Isapoor, S., Montazar, A., Van Overloop, P. J. and Van de Giesen, N. 2011. Designing and evaluating control systems of the Dez main canal. Irrig. Drain. 60(1): 70-79.

Malhotra, S. P. 1988. The Warabandi system and its infrastructure. Research Report. New Delhi. Central Board of Irrigation and Power.

Manz, D. H. 1985. System analysis of irrigation conveyance system. Ph. D. Thesis. Department of Civil Engineering. University of Alberta. Edmonton, Alberta, Canada.

Mohseni-Movahed, A. and Monem, M. J. 2003. Introducing ICSS-DOM model to evaluate the performance and optimization of irrigation canal. The 11th Conference of the National Committee on Irrigation and Drainage. Tehran, Iran. (in Persion)

Molden, D. J. and Gates, T. K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. J. Irrig. Drain. Eng. 116(6): 804-822.

Mollinga, P. P. 2003. On the Waterfront: Water Distribution, Technology and Agrarian Change In A South Indian Canal Irrigation System. Published by Orient Longman LT, New Dehli.

Monem, M. J. 1999. Using a mathematical model to test in real conditions of irrigation canals. Second Hydraulic Conference. Tehran, Iran. (in Persion)

Monem, M. J. and Massah, A. 2003. The Development of mathematical model of the Nyrpik gate. 11th Conference of the National Committee on Irrigation and Drainage. Tehran, Iran. (in Persion)

Perry C. J. 1995. Determinants of function and dysfunction in irrigation performance, and implications for performance improvement. Int. J. Water Resour. Dev. 11(1): 25-38.

Renault, D., Facon, T. M. and Wahaj, R., 2007. Modernising irrigation management- the Masscote approach. FAO Irrigation and Drainage Paper. 63. FAO, Rome. ISBN 978-92-5-105716-2.

Shahverdi, K. and Monem, M. J. 2015. Application of reinforcement learning algorithm for automation of canal structures.Irrig. Drain. 64(1): 77-84.

Shahverdi, K. and Monem, M. J. 2012. Construction and evaluation of the bival automatic control system for irrigation canals in a laboratory flume. Irrig. Drain. 61(2): 201-207.

Van den Bosch, B. E., Snellen, W. B., Brouwer, C. and Hatcho, N. 1993. Structure for water control and distribution. Irrigation water management. Training Manual. No. 8. Food and Organization of the United Nations, Rome.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.19/No.70/Spring 2018/P:1-16

Comparing Performance of the Nyrpic Module Off-takes with Proportional Systems (LAT) within Inflow Fluctuations (A Case Study in Roodasht Main Irrigation Canal, Zayanderood Basin)

S. M. Hashemy-Shahdany*, M. Orojloo, S. Sadeghi and E. Adib-Majd

* Corresponding Author: Assistant Professor, Water Engineering Department, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: mehdi.hashemy@ut.ac.ir
Received: 30 June 2016, Accepted: 8 November 2016

Roodasht irrigation network is placed at downstream of Zayanderood River. A recent problems in the operation of the network is inflow fluctuations in the main canal because of flow variations at upstream of the river. Thus, enhancing utilization of operational condition of the main canal becomes essential. In this study, the operational performance of the LAT proportional weirs under inflow fluctuations was investigated and compared with the Nyrpic Module Off-takes for a realistic operational period of time. To achieve the mentioned objectives, mathematical models of the both systems were developed and their operational performance was evaluated within equity, adequacy, and efficiency of water delivery point of views. With regards to the obtained results, both systems showed a more or less same performance from of adequacy and efficiency in upstream and downstream off-takes. Comparing the calculated equity performance index revealed that employing the LAT system leads to 19% decreasing of fairly water deliveries along the canal. In conclusion it can be suggested that no advantageous are gained by replacing the existing Nyrpic Module Off-takes employed with the LAT system.

Keywords: Inflow Fluctuations, LAT Proportional Weirs, Nyrpic Off-take, Roodasht Irrigation Network