تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۲۲/ شماره ۸۴/ پاییز ۱۴۰۰/ص ۵۴-۳۷

نوع مقاله: علمی پژوهشی

ارزیابی و بهبود مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری در شرایط کمبود آب (مطالعه موردی: کانال درجه دوم عقیلی شرقی)

شیرین استواری دیلمانی[۱]، محمدجواد منعم[۲*] و سید مهدی هاشمی شاهدانی[۳]

۱ و ۲- به ترتیب: دانش آموخته کارشناسی ارشد؛ استاد گروه مهندسی و مدیریت آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۱

چکیده

تجربه‌های اخیر درشبکه‌های آبیاری نشان می‌دهد که شیوه‌های مرسوم بهره‌برداری قادر به توزیع مناسب آب در دوره‌های کم‌آبی نبوده‌اند و ارتقای آنها ضروری است. مطالعهٔ حاضر با هدف ارزیابی چهار سناریوی مدیریتی برای بهبود توزیع آب در کانال آبیاری درجه دو عقیلی شرقی شبکهٔ آبیاری و زهکشی گتوند استان خوزستان، در شرایط کمبود ۲۰ و ۴۰ درصد جریان صورت گرفته است. سناریوی اول، کاهش متناسب دبی همهٔ آبگیرهاست. سناریوی دوم، اولویت در تحویل کامل برخی آبگیرها و توزیع کمبود آب بین دیگر آبگیرهاست. سناریوی سوم، تحویل کامل آب به نیمی از آبگیرها و کاهش متناسب نیم دیگر آبگیرها طی ۱۲ ساعت اول، و عکس آن در ۱۲ ساعت دوم است. سناریوی چهارم، تحویل آب موجود به نیمی از آبگیرها در ۱۲ ساعت اول، و تحویل آب به نیمی دیگر در ۱۲ ساعت دوم است. هیدرولیک جریان با مدل هیدرودینامیکی ICSS شبیه‌سازی شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که به‌کارگیری سناریوها در بهبود توزیع آب موثر است و با استفاده از آنها می‌توان آب را با عملکرد بالاتری توزیع کرد. تاثیر چهار سناریو بر روند بهبود توزیع آب در ۲۰ درصد کمبود آب به این صورت است: سناریوی یک بیشترین تاثیر را نشان داده است و بعد از آن به ترتیب سناریوهای چهار، سه و دو قرار دارند. در شرایط ۴۰ درصد کمبود آب میزان اثربخشی به ترتیب در سناریوهای چهار، سه، دو و یک دیده شده است.

واژه‌های کلیدی

تحویل و توزیع آب، شبیه‌سازی، کانال آبیاری، کمبود آب، مدیریت بهره برداری

مقدمه

بررسی‌ها نشان می‌دهند که عملکرد شبکه‌های آبیاری به دلایل مختلف کمتر از حد انتظار است که ضرورت توجه به ارتقای عملکرد این شبکه‌ها را گوشزد می‌کند. برای این منظور لازم است اجزای مدیریت شبکه، اعم از برنامه‌ریزی و بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری با استفاده از سناریوهای مختلف بهبود یابد تا بتوان از پتانسیل موجود در شبکه به شکلی مفیدتر استفاده کرد (Clemments & Molden, 2007). یکی از عواقب ضعف مدیریت بهره‌برداری در شبکه‌های آبیاری، توزیع و تحویل نامناسب آب از شبکهٔ اصلی به واحدهای زراعی درجه سه (شبکهٔ فرعی) است. در بسیاری از موارد، میزان آب تحویلی به هر دریچهٔ آبگیر با نیاز واقعی

* نگارنده مسئول: Email: monem_mj@modares.ac.ir
http://doi: 10.22092/idser.2021.355341.1479

آنها مطابقت ندارد. توزیع و تحویل نامناسب آب موجب کاهش محصول و نارضایتی کشاورزانی می‌شود که کمتر از مقدار مورد نیاز آب دریافت کرده اند، و در عین حال برای کشاورزانی که بیش از حد آب دریافت کرده‌اند نیز مشکلاتی از جمله شرایط ماندابی و افزایش هزینه‌های کارگری برای مهار آب اضافی نیز به همراه دارد. مشکلات فوق موجب افزایش تلفات آب در سطح شبکه می‌شود و در مجموع کاهش بهره‌وری آب را به‌دنبال خواهد داشت (Sadeghi & Monem, 2015).

بهبود در مدیریت آب کشاورزی در هر زمینه نیازمند ارزیابی‌ها و بررسی‌هایی مبتنی بر اطلاعات دقیق است. هدف از ارزیابی عملکرد توزیع آب در شبکه‌های آبیاری تعیین وضعیت کلی سیستم، تعیین عوامل بروز مشکلات و بهبود وضعیت سیستم است (Clemmens & Molden, 2007). درکشورهایی با پتانسیل آب محدود، افزایش بهره‌وری تابع مقدار آب موجود است و برای استفادهٔ بهینه از آب موجود، نیاز به ارتقا و بهبود مدیریت عرضه و تقاضاست. با بهبود روش‌های تحویل و توزیع آب سطحی در شبکه‌های آبیاری، امکان مدیریت صحیح آب موجود فراهم خواهد شد (Bhadra *et al.*, 2010).

کیم و همکاران (Kim *et al.*, 2016) شبکهٔ آبیاری Daesan واقع در غرب کره جنوبی را با استفاده از مدل هیدرولیکی SWMM شبیه‌سازی و نتایج مدل کالیبره‌شده را با داده‌های واقعی مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که برای بهبود بهره‌برداری نیاز به برنامه‌ریزی دقیق آبیاری با توجه به نتایج شبیه‌سازی است.

نام و همکاران (Nam *et al.*, 2016) سیستم توزیع آب را در یکی از شبکه‌های آبیاری در کره جنوبی بررسی و شاخص‌های کفایت، راندمان، عدالت و پایداری را با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده با سامانه‌های اندازه‌گیری آنلاین خودکار موجود در شبکه و توزیع مکانی و زمانی تحویل آب محاسبه کردند. محاسبهٔ این شاخص‌ها برای تخمین روند وضعیت بهره‌برداری در شبکه به‌کار برده شد.

تحقیقات شاموت و همکاران (Shammout *et al.*, 2018) نشان می‌دهد که با استفاده از مدیریت عرضهٔ آب می‌توان تاثیرات کمبود آب را کاهش داد. این محققان نشان دادند که در برخی فصول رشد گیاه می‌توان آبیاری را به ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه رساند و نتایج خوبی به‌دست آورد.

کانونی و منعم (Kanooni & Monem, 2017) تحویل و توزیع بهینهٔ آب را هم‌زمان در سطح واحدهای زراعی و شبکهٔ کانال‌های توزیع در شبکهٔ آبیاری و زهکشی مغان با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک بررسی کردند و نشان دادند که کاربرد روش بهره‌برداری بهینه برای کمبود آب ۲۵ و ۵۰ درصد موجب بهبود عملکرد به ترتیب به میزان ۲۴ و ۴۰ درصد شده است.

منعم و همکاران(Monem *et al.*, 2007) با استفاده از مدل ICSS به ارزیابی عملکرد بهره‌برداری در کانال E1R1 شبکه آبیاری دز مجهز به دریچهٔ کشویی در شرایط تغییرات نیاز پایین‌دست پرداختند و نشان دادند با استفاده از مدل هیدرودینامیک و تحلیل جریان غیر ماندگار می‌توان عملکرد بهره-برداری را به‌صورت کمی تعیین کرد و با اجرای عملیات بهره‌برداری مناسب عملکرد شبکه را بهبود بخشید.

خائیز و هاشمی شاهدانی (Khaeez & Hashemi Shahdany, 2021) تاثیر راهکارهای غیر سازه‌ای را در بهبود توزیع آب در سطح شبکه بررسی و با

توسعهٔ مدل ساده شدهٔ شبیه‌ساز جریان هیدرولیکی و ترکیب آن با مدل بهره‌برداری، عملکرد شبکه را در شرایط نرمال و کمبود آب به کمک نرم‌افزار GIS ارزیابی کردند. در این پژوهش، سه راهکار بررسی شد. به‌کارگیری این روش‌ها موجب بهبود شاخص کفایت به میزان ۶ تا ۱۱درصد در شرایط نرمال و ۴ تا ۸ درصد در شرایط کمبود آب شده است. شاخص عدالت نیز حداکثر ۱۲ درصد بهبود داشته‌است. همچنین نشان داده شده است که راهکار دوم موجب ۱۲ درصد کاهش مصرف آب‌های زیرزمینی و ۱۴/۳ درصد کاهش مصرف انرژی، در سال، می‌شود.

شاهرخ‌نیا و جوان (Shahrokhnia & Javan., 2005) عملکرد توزیع آب را در کانال درجه سه اردیبهشت شبکهٔ آبیاری درودزن استان فارس ارزیابی کردند. برای این منظور مقدار آب تحویلی به آبگیرهای درجه سه اردیبهشت در سه فصل آبیاری مختلف اندازه‌گیری شد. این محققان برای ارزیابی از شاخص‌های مولدن و گیتس استفاده و شاخص‌ها را برای سطوح زیر کشت واقعی و سطوح زیر کشت مساحی شده (قراردادی) محاسبه کردند. در این تحقیق مدل هیدرولیکی Hec-Ras برای شبیه‌سازی‌های جریان ماندگار به‌کارگرفته شد. محققان نشان دادند که کانال مورد مطالعه از لحاظ عدالت توزیع مکانی و زمانی آب، عملکرد خوبی ندارد و کانال‌های بالادست بیش از کانال‌های پایین‌دست آب برداشت می‌کنند.

هاشمی شاهدانی و همکاران (Hashemy Shahdany *et al.*, 2016) با استفاده از مدل شبیه‌ساز هیدرولیک جریان ICSS نحوهٔ بهره‌برداری کنونی کانال اصلی شبکهٔ آبیاری رودشت را که با مشکل نوسان‌های شدید ورودی مواجه است، شبیه‌سازی و چگونگی توزیع آب را در این کانال ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی بهره‌برداری کانال اصلی این شبکه، با استفاده از شاخص‌های کفایت، عدالت و راندمان توزیع آب، حاکی از عملکرد غیرقابل قبول بهره‌برداری دستی در شرایط نوسان دبی ورودی است.

سید هوشیار و همکاران (Seyed Hoshiyr *et al.*, 2021) وضعیت تحویل و توزیع آب درکانال اصلی واحد D2 در شبکه سفیدرود را بررسی کردند که توسط ۱۰ کانال درجه ۲ آب را در سطح ۵۵۰۰ هکتار توزیع می‌کند. در این بررسی از شاخص‌های کفایت و عدالت استفاده و نشان داده شد که۴۶/۷ درصد از مزارع دچار کمبود آب هستند درحالی که۵۳/۴ درصد از مزارع در بالادست سه برابر آب مورد نیاز خود را دریافت می‌کنند. این محققان در این پژوهش به‌منظور بهبود تحویل و توزیع، روش‌های غیرسازه‌ای را تعریف و با استفاده از مدل هیدرودینامیکی SOBEK آنها را شبیه‌سازی کردند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان داد که با استفاده از این روش‌ها شاخص عدالت تا ۷۱/۷ درصد بهبود می‌یابد.

خیابانی و همکاران (Khiabani *et al.*, 2020) تاثیر بهبود مدیریت بهره‌برداری و اصلاحات سازه‌ای و خودکارسازی را بر توزیع آب سطحی و کاهش برداشت آب‌های زیرزمینی در شبکه رودشت استان اصفهان با استفاده از مدل هیدرودینامیکی ICSS بررسی کردند و نشان دادند استفاده از مدیریت صحیح تحویل آب موجب ۲ تا ۱۳ درصد بهبود در شاخص‌های عملکرد بهره‌برداری نسبت به تغییرات سازه‌ای می‌شود. استفاده از این راهکارها موجب کاهش استفاده از آب‌های زیرزمینی به میزان

حداکثر ۸/۴ میلیون متر مکعب برای چاه‌های عمیق و ۲/۸ میلیون متر مکعب برای چاه‌های نیمه عمیق، در یک سال آبی، می‌شود.

ابراهیمیان و همکاران (Ebrahimian *et al.*, 2019) ارتقای بهره‌وری در شبکه‌های آبیاری را با تاکید بر مدیریت تقاضا در شرایط کمبود آب بررسی کردند. این تحقیق روی کانال درجه دوم عقیلی شرقی شبکهٔ آبیاری زهکشی عقیلی واقع در استان خوزستان صورت گرفت. چهار گزینه برای برنامه‌های توزیع و تحویل آب در شبکه به منظور بهبود بهره‌وری آب در نظر گرفته شد. وضعیت هیدرولیکی جریان در شبکهٔ موردنظر با استفاده از مدل هیدرودینامیکی ICSS شبیه‌سازی و به‌منظور بررسی عملکرد محصولات از مدل AquaCrop استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که سناریوی اول و چهارم به ترتیب با ۱۳/۸ و ۱۲/۹۶ درصد بهبود بهره‌وری نسبت به وضعیت موجود مناسب‌ترین گزینه هستند.

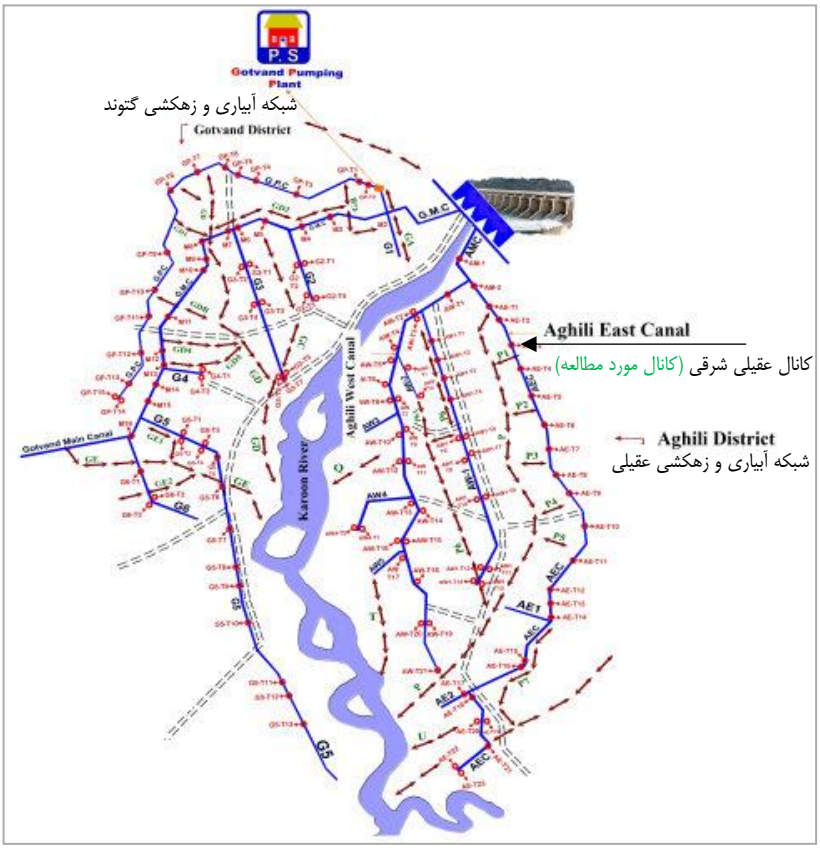
هدف اصلی در تحقیق حاضر بهبود عملکرد بهره‌برداری از کانال آبیاری در شرایط کمبود آب با به‌کارگیری سناریوهای مدیریتی است. کانال عقیلی شرقی از شبکهٔ آبیاری گتوند در استان خوزستان شهرستان شوشتر، انتخاب شد. برای این منظور چهار سناریو برای مدیریت کمبود آب در نظر گرفته شد. پس از تنظیم مدل ریاضی کانال عقیلی شرقی، ارزیابی عملکرد ابتدا در شرایط کمبود آب بدون عکس‌العمل مدیریتی و پس از آن با اعمال سناریوهای مورد نظر شبیه سازی و تاثیر کمی هر یک از سناریو ها بر روند بهبود عملکرد سیستم ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

کانال مورد مطالعه

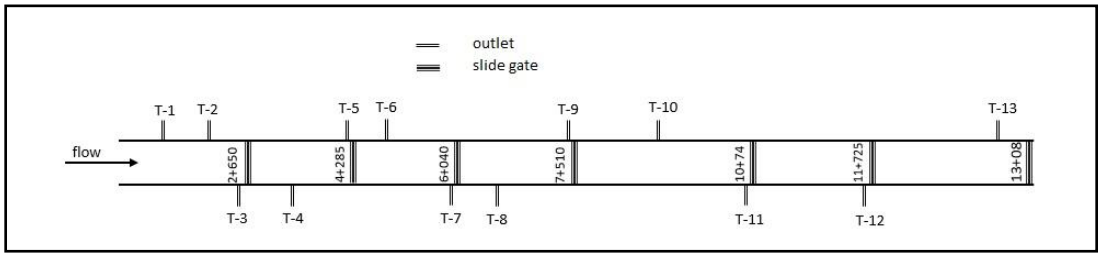
شبکهٔ آبیاری عقیلی در شبکه گتوند در استان خوزستان واقع شده (شکل ۱) و متشکل است از کانال اصلی عقیلی و دو کانال درجه یک به نام‌های عقیلی شرقی و عقیلی غربی. کانال اصلی با ظرفیت ۱۲ متر مکعب بر ثانیه از سد تنظیمی انحرافی گتوند آبگیری می‌کند و در کیلومتر ۹۰۰+۱ دو کانال عقیلی شرقی و غربی به ترتیب با ظرفیت‌های ۵ و ۷ متر مکعب بر ثانیه از آن منشعب می‌شوند.

کانال مورد مطالعه در تحقیق حاضر کانال درجه دو عقیلی شرقی است. این کانال دارای پوشش بتنی و مقطع ذوزنقه‌ای با شیب جانبی ۱:۱، با طول ۱۶ کیلومتر است. عرض کف در ۹ کیلومتر ابتدای کانال ۱/۵ متر و بعد از آن ۱ متر است. برای سهولت ارائهٔ نتایج، ۱۳ کیلومتر ابتدایی کانال شبیه سازی شده است. این قسمت ازکانال دارای ۱۳ آبگیر و ۷ آب‌بند است که همگی به صورت دستی بهره‌برداری می‌شوند. سازه‌های آبگیر و آب‌بند از نوع دریچه کشویی مستطیلی هستند و ضریب دبی آنها، بنا به اعلام کارشناسان سازمان آب و برق خوزستان، برابر ۰/۶ در نظر گرفته شد. کانال و سازه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده اند. ابعاد ۴ آب‌بند اول ۶۰×۱۵۰ و سه آب‌بند انتهایی ۶۰×۱۰۰ سانتی‌متر، و ابعاد آبگیرها ۶۰×۶۰ سانتی‌متر است.



شکل ۱- کانال عقیلی و موقعیت آن در شبکهٔ آبیاری و زهکشی عقیلی

Figure1: Aghili canal and its location through the Aghili irrigation and drainage network



شکل ۲- شکل شماتیک کانال درجه دو عقیلی شرقی و سازه‌های آن

Figure 2 – Schematic Figure of East Aghili Secondary Canal and its Structures

وضعیت بهره‌برداری و توزیع کنونی آب در این کانال به این ترتیب است که تحویل آب براساس درخواست مصرف‌کنندگان زیردست هر دریچه، به‌صورت روزانه و معمولا ساعت ۸ صبح تحویل می‌شود که باید تا ۲۴ ساعت قبل اعلام شده باشد. میراب کانال عقیلی شرقی ساعت ۸ صبح، در حضور مامور ادارهٔ آب، دبی ورودی از کانال اصلی عقیلی را به کانال عقیلی شرقی تحویل می‌گیرد. میراب پس از آن با در دست داشتن مقدار دبی‌های درخواستی در طول کانال حرکت می‌کند و سازه‌ها را برای تحویل دبی تنظیم می‌کند. سازه‌ها به ترتیب از بالادست به پایین‌دست تنظیم می‌شوند. با تغییر دبی ورودی به کانال، با حرکت موج تغییر جریان، آب‌بندهای کانال برای تنظیم سطح آب بالادست خود، و آبگیرها برای

تحویل دبی تنظیم می‌شوند. جدول‌های دبی مورد نیاز آبگیرها از ادارهٔ آب شهرستان شوشتر دریافت شد.

مدل هیدرودینامیکی ICSS[1]

مدل ICSS را مانز (۱۹۹۵) به منظور شبیه‌سازی هیدرولیک، هیدرولوژی و بهره‌برداری از سیستم‌های انتقال و توزیع آب آبیاری طراحی کرده است. مدل ICSS قادر است جریان ماندگار و غیرماندگار را برای شرایط مختلف بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری با شکل‌های متنوع مقطع کانال همراه با طیف قابل توجهی از سازه‌ها و عملیات بهره‌برداری آنها توام با جریانات گسترده ورودی و خروجی شبیه‌سازی کند. مدل برای شبیه‌سازی جریان ماندگار از معادله‌های جریان متغیر تدریجی ارائه شده توسط هندرسون (Henderson, 1966) و برای شبیه‌سازی جریان غیرماندگار از معادله‌های سنت ونانت که توسط استرلکف (Strelkoff, 1969) استخراج شده است استفاده می‌کند (Manz, & Scaaljie, 1992). نتایج مدل با استفاده از اطلاعات دقیق آزمایشگاهی تهیه شده توسط ترسک در سال ۱۹۸۰ در یک فلوم بتنی مستطیلی با عرض ۱/۲۵ متر، طول ۲۱۰ متر، شیب طولی ۰/۰۰۱۹ و ضریب زبری مانینگ ۰/۰۱۲ واسنجی شد. در این ارزیابی، هیدروگراف جریان هیچ‌گونه خطایی از نظر زمانی نداشته و زمان وقوع جریان را کاملا درست پیش‌بینی کرده است. عمق حداکثر در بالادست و پایین‌دست فلوم به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۲۹ درصد کمتر از مقدار مشاهده شده و حداکثر دبی در مرز پایین‌دست ۱/۹ درصد کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی شده است که قابل قبول خواهد بود (Monem & Manz, 1994). عملکرد مدل توسط کارگروه مدل‌های ریاضی رودخانه، جامعه مهندسان عمران کانادا، دربرنامه ارزیابی مدل‌های ریاضی-هیدرولیکی به‌طور کامل بررسی گردیده و نتایج آن به تایید رسیده است (The Canadian Society for Civil Engineering 1990).

شاخص‌های ارزیابی عملکرد

به منظور ارزیابی عملکرد از شاخص‌هایی که توسط مولدن و گیتس (Molden & Gates, 1990) معرفی شدند شامل شاخص های کفایت، راندمان، و عدالت تحویل به ترتیب طبق رابطه‌های ۱، ۲، و ۳ استفاده شده است.

کفایت تحویل

$$MPA= \frac{1}{T}\sum_{i=0}^{T}\left(\frac{1}{R}\sum_{j=0}^{R}P_{A_{ij}}\right) \quad , \quad if\begin{cases}Q_D < Q_R \\ P_{A_{ij}}=\frac{Q_D}{Q_R}\end{cases} , or \begin{cases}Q_D \geq Q_R \\ P_{A_{ij}}=1\end{cases} \qquad (۱)$$

که در آن،

MPA = شاخص کفایت تحویل کانال؛ $P_{A_{ij}}$ = شاخص کفایت تحویل آبگیر (نسبت دبی تحویلی به دبی مورد نیاز هر آبگیر)؛ Q_D = دبی تحویلی به آبگیر (متر مکعب بر ثانیه)، Q_R = دبی مورد نیاز آبگیر (متر مکعب بر ثانیه) ؛ R = تعداد آبگیرها؛ T = تعداد گام‌های زمانی در دورهٔ تحویل؛ i و j = به ترتیب شمارهٔ گام‌های زمانی و آبگیر.

راندمان توزیع

$$MPF= \frac{1}{T}\sum_{i=0}^{T}\left(\frac{1}{R}\sum_{j=0}^{R}P_{F_{ij}}\right) \quad , \quad if\begin{cases}Q_R < Q_D \\ P_{F_{ij}}=\frac{Q_R}{Q_D}\end{cases} , or \begin{cases}Q_R \geq Q_D \\ P_{F_{ij}}=1\end{cases} \qquad (۲)$$

که در آن،

MPF = شاخص راندمان تحویل کانال؛ $P_{F_{ij}}$ = شاخص راندمان تحویل آبگیر (نسبت دبی مورد نیاز به دبی تحویلی به هر آبگیر).

عدالت توزیع

$$MPE=\frac{1}{T}\sum_{i=0}^{T}CV_N\left(\frac{Q_D}{Q_R}\right)_i \qquad (۳)$$

1- Irrigation Conveyance System Simulation

که در آن،
MPE = شاخص عدالت تحویل کانال؛
$CV_N(Q_D/Q_R)$ = ضریب تغییرات مکانی Q_D/Q_R برای آبگیرهای موجود در طول کانال در یک گام زمانی. مقدار ایده‌آل شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل برابر با یک، و برای شاخص عدالت تحویل برابر صفر است. محدودهٔ استاندارد شاخص‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- محدوده استاندارد شاخص‌های ارزیابی عملکرد بهره‌برداری (مولدن و گیتس،۱۹۹۰)

Table 1: Standard range of the operational performance appraisal indices (Molden and Gates, 1990)

شاخص‌ها Index	خوب good	متوسط medial	ضعیف poor
راندمان Efficiency	0.85 -1	0.7 - 0.84	<0.7
کفایت Adequacy	0.9 - 1	0.8 - 0.89	<0.8
عدالت Equity	0 – 0.1	0.11– 0.25	>0.25

سناریوهای بهره‌برداری

در کانال‌هایی که به‌صورت کنترل از بالادست بهره‌برداری می‌شوند، در شرایط کمبود آب، عموما آبگیرهای بالادست آب بیشتری نسبت به آبگیرهای پایین‌دست دریافت می‌کنند. در این شرایط علاوه بر مشکل کفایت تحویل آب، مشکل عدالت توزیع آب نیز تشدید می‌شود. برای بهبود عملکرد کانال در شرایط کمبود آب می‌توان گزینه‌های مختلف مدیریت توزیع و تحویل آب را در نظر گرفت.

در تحقیق حاضر، در مجموع پنج سناریو در نظر گرفته شد. سناریوی صفر، به عنوان مبنا برای مقایسهٔ سناریوهای دیگر، برای حالت‌های ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد دبی سراب در نظر گرفته شد. چهار سناریوی مدیریتی برای دبی های ۸۰ و ۶۰ درصد که به ترتیب معادل ۲۰ و ۴۰ درصد کمبود دبی ورودی به کانال است به منظور بررسی اثر روش‌های مختلف مدیریت کمبود آب بر بهبود عملکرد کانال در نظر گرفته شد. سناریوها برای یک نوبت تحویل آب در بازهٔ زمانی ۲۴ ساعت اجرا شده‌اند. تنظیم آب‌بندها در همهٔ سناریوها به‌گونه‌ای بود که صرف نظر از دبی، عمق آب در بالادست آب‌بندها، در عمق هدف (عمق نرمال مربوط به دبی طراحی) تنظیم گردد. تنظیم آبگیرها نیز به‌گونه‌ای صورت گرفت تا در عمق موجود بتوانند دبی برنامه‌ریزی شده در سناریوی مربوط را دریافت کنند. در اینجا اهمیت و جزییات هر یک از سناریوها تشریح می‌شود.

سناریوی صفر: در سناریوی صفر، که به عنوان مبنای مقایسهٔ سایر سناریوها در نظر گرفته شد، توزیع آب برای دبی‌های سراب ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد جریان در سراب کانال در وضع موجود بدون هیچ‌گونه عکس‌العمل مدیریتی شبیه‌سازی شد. در این سناریو، اثر کمبود مقادیر مختلف آب در ابتدای کانال، در شرایط وضع موجود بر عملکرد کانال تعیین می‌شود. برای این منظور دبی مورد نیاز آبگیرها، برای یک روز معین (پنجم تیرماه سال ۹۱) که دبی مورد نیاز در سراب کانال بیشترین تغییرات را نسبت به روز قبل داشته از دفترچه بهره‌برداری کانال در نظر گرفته شد. مقدار دبی مورد نیاز آبگیرها در روز موردنظر در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- دبی مورد نیاز آبگیرهای واقع در کانال عقیلی

Table 2: Turnouts' required discharge located along the Aghili canal

شماره آبگیر Turnout no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
دبی (لیتر بر ثانیه) Discharge (L/S)	100	100	100	100	100	100	100	100	60	50	30	30	30

در این سناریو، ابتدا مدل برای دبی ۱۰۰ درصد اجرا و آب‌بندها و آبگیرها به‌گونه‌ای تنظیم شدند که عمق آب در بالادست آب بندها به عمق هدف (عمق نرمال با توجه به دبی طراحی کانال) برسد و دبی مورد نیاز آبگیرها به‌طور کامل تحویل گردد. پس از آن بدون ایجاد تغییر در میزان تنظیم سازه‌ها، مدل به‌طور جداگانه با کمبودهای ۲۰ و ۴۰ درصدی در دبی سراب کانال برای ۲۴ ساعت اجرا شد و تاثیر کمبود آب بر عملکرد توزیع در شرایط موجود با نبود واکنش مدیریتی بررسی شد.

سناریوی یک: یکی از رویکردهای مرسوم در مدیریت کمبود آب، توزیع یکنواخت کمبود میان همهٔ آبگیرها به تناسب سطح تحت پوشش آنهاست. این رویکرد با هدف تامین عدالت توزیع در نظر گرفته می‌شود. انجام این سناریو که برای کمبود دبی‌های ۲۰ و ۴۰ درصدی انجام شد، به این صورت است که همزمان با کاهش دبی سراب، دبی آبگیرها به همان نسبت کاهش می‌یابد. در این سناریو، عملیات بهره‌برداری همزمان با کاهش دبی سراب در ابتدای روند شبیه‌سازی اجرا شد.

سناریوی دو: سناریوی دوم برای شرایطی در نظر گرفته شد که الگوی کشت برخی آبگیرها شامل محصولات حساس به کم آبی (مانند باغات) هستند. از این رو، آب بین آبگیرها برمبنای نوعی اولویت-بندی متناسب با الگوی کشت هر آبگیر توزیع شد. در این اولویت‌بندی به‌طور تصادفی فرض شد که پنج آبگیر ۳، ۶، ۸، ۱۰، و ۱۱ در اولویت هستند. بر این اساس، این آبگیرها دبی مورد نیاز خود را کامل و سایرآبگیر ها، دبی تحویلی متناسب با میزان کمبود آب در سراب کانال را دریافت می‌کنند.

هدف از سناریوهای یک و دو تامین عدالت توزیع است.کاهش شدید میزان جریان در بازه‌های انتهایی باعث می‌شود که عمق جریان در محدودهٔ آب برگشتی بالادست آب‌بندها کاهش یابد. این امر موجب اختلال در تحویل آب به آبگیرهای واقع در محدودهٔ آب برگشتی به‌خصوص در بازه‌های انتهایی می‌شود. این سناریوها ممکن است، بر خلاف تصور اولیه، موجب ضعف عدالت توزیع شوند. برای کاهش این مشکل می‌توان توزیع آب را به‌صورتی برنامه-ریزی کرد تا با تقسیم زمانی جریان، از کاهش شدید دبی در بازه‌های انتهایی کانال جلوگیری شود. از این رو سناریوهای سه و چهار با تقسیم‌بندی زمانی ۱۲ ساعته تعریف شدند. در کلیهٔ گزینه‌ها، به‌جز سناریوی دو که در آن به‌نوعی اولویت تحویل در نظر گرفته شد، میزان حجم آب تحویلی برنامه ریزی شده به آبگیرها در ۲۴ ساعت یکسان است. بدین

ترتیب، دریافت کنندگان آب در پایین‌دست آبگیرها ضمن دریافت حجم ثابت آب، با تقسیم زمانی جریان میان خود هماهنگ با سناریوها، نسبت به ارتقای عملکرد شبکه در شرایط کمبود آب همکاری می‌کنند. برای اجرای این سناریوها باید بهره‌برداری دو بار در ۲۴ ساعت عملیاتی شود.

سناریوی سه: در این سناریو آبگیرها براساس مقدار دبی مورد نیاز به دو گروه تقسیم شدند به‌طوریکه مجموعه دبی آبگیرهای هر گروه تقریبا با هم برابر باشد. در ۱۲ ساعت اول، گروه اول آبگیرها (آبگیرهای شمارهٔ ۱ تا ۵) دبی متناسب با مقدار کمبود آب در سراب دریافت می‌کنند، و گروه دوم آبگیرها (آبگیرهای شمارهٔ ۶ تا ۱۳) دبی مورد نیاز خود را کامل دریافت می کنند. در ۱۲ ساعت دوم، گروه اول آبگیرها دبی مورد نیاز خود را کامل و گروه دوم دبی درخواستی خود را متناسب با کمبود آب در سراب دریافت می‌کنند. بدین ترتیب ضمن قطع نشدن جریان در طول کانال، در هر یک از نیمه های کانال، طی ۱۲ ساعت، جریان نسبتا کامل برقرار خواهد بود. در این صورت کاهش عمق جریان در محدودهٔ برگشت آب کمتر خواهد شد و انتظار می‌رود عدالت توزیع آب بهتر شود. علاوه بر آن، قطع‌نشدن جریان در کانال موجب کاهش ناپایداری جریان می‌شود که ممکن است به بهبود عملکرد کانال کمک کند.

سناریوی چهار: در این سناریو نیز مانند سناریوی سه، آبگیرها به دو دسته تقسیم شدند. در ۱۲ ساعت اول آبگیرهای گروه اول (شمارهٔ ۱ تا ۵) بسته می‌شوند و آبگیرهای گروه دوم (شمارهٔ ۶ تا ۱۳) کل آب موجود را متناسب با نیاز دریافت می‌کنند. در ۱۲ ساعت دوم، آبگیری برعکس خواهد شد. بدین ترتیب هر دو نیمه کانال و آبگیرها، طی ۱۲ ساعت با حداکثر جریان موجود مواجه خواهند بود. در مقایسه با سناریوی سه، با قطع دبی تحویلی به نیمی از آبگیرها در ۱۲ ساعت، انتظار می‌رود کاهش عمق آب در محدودهٔ برگشت آب کمتر و عدالت توزیع آب بهتر شود. در مقابل، قطع جریان در بخشی از کانال ممکن است باعث تشدید ناپایداری جریان و تضعیف عملکرد توزیع شود.

نتایج و بحث

به منظور شبیه‌سازی وضعیت هیدرولیکی جریان در کانال، اطلاعات مربوط به روز اول به‌عنوان شرایط اولیه و شبیه‌سازی‌ها برای روز دوم مبنای کار قرار داده شد. برای بررسی اثر کمبود آب، شبیه‌سازی‌ها برای شرایط موجود و سناریوهای مدیریتی موردنظر با کمبود دبی سراب کانال به میزان ۲۰ و ۴۰ درصد صورت گرفت. برای محاسبهٔ شاخص‌ها، ابتدا با رسم نمودار عمق-زمان برای هریک از آبگیرها، زمان‌های غیر ماندگاری آنها تعیین گردید و با تعیین دبی تحویلی به آبگیرها شاخص‌های عملکرد برای این مدت زمان محاسبه شد.

نتایج شبیه‌سازی سناریوی صفر: این سناریو برای دبی‌های ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد در سراب کانال اجرا شد. به این ترتیب با استفاده از نتایج این شبیه‌سازی‌ها، اثر ۲۰ و ۴۰ درصد کمبود آب در دبی سراب کانال بر نحوهٔ توزیع آب بین آبگیرها بررسی گردید. نتایج به دست آمده برای هر سه حالت در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی با ۱۰۰ درصد دبی سراب حاکی از آن است که با توجه به اینکه شاخص کفایت تحویل آب در کلیهٔ آبگیرها بیشتر از ۹۰ درصد به‌دست آمده است، بنابراین می‌توان این گونه تفسیر کرد که آبگیرها مقدار دبی مورد نیاز خود را

بدون مازاد یا کمبود چندانی دریافت کرده‌اند. همچنین شاخص عدالت توزیع آب نیز "خوب" ارزیابی شده است که حاکی از همگنی مکانی تحویل آب قابل قبول به کلیهٔ آبگیرهای بالادست تا پایین‌دست است. در ادامه، مدل برای کمبود ۲۰ و ۴۰ درصد در دبی سراب نیز شبیه‌سازی شد و نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق نتایج به‌دست آمده برای کمبود ۲۰ درصد دبی ورودی، شاخص‌های کفایت محاسبه شده برای پنج آبگیر از کل ۱۳ آبگیر کمتر از ۹۰ درصد به‌دست آمده که به عبارتی ۳۸ درصد آبگیرها دارای کفایت "متوسط" هستند. نتایج ارزیابی عملکرد حاکی از آن است که شاخص عدالت ۰/۰۴ ضعیف‌تر از سناریوی صفر شده است. به عبارت دیگر، کمبود آب در سراب کانال علاوه بر کاهش شاخص کفایت موجب افزایش بی عدالتی توزیع آب بین آبگیرها نیز شده است.

به طور مشابه، نتایج شبیه‌سازی با ۴۰ درصد کمبود آب نیز نشان دهندهٔ آن است که آبگیری برای ۹ آبگیر کمتر از ۹۰ درصد (حالت مطلوب) به‌دست آمده است و برای ۷۰ درصد آبگیرها شاخص کفایت در حد "متوسط" و "ضعیف" ارزیابی می‌شود. همچنین، شاخص عدالت مربوط برابر ۰/۱۳ به‌دست آمده است که در محدودهٔ متوسط قرار گرفته و حدود ۰/۱ در مقایسه با سناریوی صفر کاهش‌یافته است. این نتیجه حاکی از آن است که در شرایط کمبود آب، عملیات بهره‌برداری موجود، علاوه بر مشکل کفایت تحویل آب به آبگیرها، موجب تشدید بی عدالتی در توزیع آب نیز می شود. از این رو باید با اعمال مدیریت بهتر مانع از کاهش قابل توجه عملکرد تحویل آب شد

جدول ۳- شاخص‌های عملکرد تحویل سناریوی صفر با دبی سراب ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد

Table 3: Delivery indicators of scenario no. 0 for 60%, 80% and full discharge

دبی سراب Discharge of the head	شمارهٔ آب‌گیر Catchment no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	کل کانال AVG.	شاخص عدالت Equity index
سناریوی صفر ٪ ۱۰۰ Scenario no. 0 - 100%	شاخص کفایت Adequacy index	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.03
	شاخص راندمان Efficiency index	0.97	0.97	0.97	0.94	0.97	0.94	0.93	0.94	0.89	0.92	0.95	0.94	0.96	0.94	
سناریوی صفر ٪ ۸۰ Scenario no. 0 - 80%	شاخص کفایت Adequacy index	0.84	0.91	0.96	0.86	0.97	0.85	0.98	0.86	0.94	0.94	0.98	1	0.85	0.93	0.07
	شاخص راندمان Efficiency index	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
سناریوی صفر ٪ ۶۰ Scenario no. 0 - 60%	شاخص کفایت Adequacy index	0.76	0.82	0.88	0.79	0.90	0.79	0.91	0.82	0.89	0.95	1	0.89	0.83	0.92	0.13
	شاخص راندمان Efficiency index	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

نتایج شبیه‌سازی سناریوی یک: نتایج ارزیابی عملکرد بهره‌برداری کانال عقیلی پس از اعمال این سناریو در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها با کمبود ۲۰ درصد نشان می‌دهد که با به‌کارگیری سناریوی مدیریتی یک، روند توزیع آب به نحوی است که مقدار آب دریافتی آبگیرها به

مقدار مورد نیازشان نزدیک است و کمبود یا مازاد آب تحویلی آنها به ترتیب کمتر از ۵ و ۶ درصد است. همچنین شاخص عدالت، در مقایسه با سناریوی صفر، ۰/۰۲ بهبود یافته و پراکندگی مکانی توزیع آب در محدودهٔ خوبی است. نتایج شبیه‌سازی‌ها برای ۴۰ درصد کمبود آب نیز نشان می‌دهد با وجود کمبود ۴۰ درصد دبی سراب، آب به نحوی توزیع می‌شود که تمامی آبگیرها (به جز آبگیر شمارهٔ یک) دبی مورد نیاز خود را با کمبود و مازادی در محدودهٔ مجاز دریافت کرده‌اند و عدالت توزیع به میزان ۰/۰۴ بهبود یافته است.

با مقایسهٔ شاخص‌های حاصل از شبیه‌سازی‌های سناریوی یک و سناریوی صفر می‌توان دریافت که سناریوی یک به‌طور قابل قبولی توانسته توزیع آب در شبکه را در شرایط کمبود آب بهبود بخشد.

جدول ۴- شاخص‌های عملکرد تحویل سناریوی یک با کمبود ۲۰ و ۴۰ درصد

Table 4: Delivery indicators of scenario no. 1 for 20%, & 40% shortage

دبی سراب Discharge of the head	شمارهٔ آب‌گیر Catchment no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	کل کانال AVG.	شاخص عدالت Equity index
سناریوی یک٪ ۸۰ Scenario no. 1 - 80%	شاخص کفایت Adequacy index	1	1	1	0.95	1	0.95	1	0.96	1	1	1	1	1	1	0.05
	شاخص راندمان Efficiency index	1	1	0.94	1	0.94	1	0.94	1	0.95	1	0.95	0.95	1	1	
سناریوی یک ٪ ۶۰ Scenario no. 1 - 60%	شاخص کفایت Adequacy index	0.87	1	1	0.95	1	0.94	1	0.96	1	1	1	1	1	1	0.09
	شاخص راندمان Efficiency index	1	1	0.93	1	0.94	1	0.94	1	0.95	1	0.95	0.95	1	1	

نتایج شبیه‌سازی سناریوی دو: نتایج ارزیابی عملکرد بهره‌برداری کانال عقیلی پس از اعمال این سناریو در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها در ۲۰ درصد کمبود آب نشان می‌دهد که در این حالت دبی مورد نیاز آبگیرها به‌گونه‌ای تامین می‌شود که ضمن بهبود مختصر شاخص عدالت نسبت به سناریوی صفر، شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل نیز بهبود می‌یابد و برای تمامی آبگیرها توزیع آب در حد "خوب" ارزیابی می‌شود. در شرایط ۴۰ درصد کمبود آب نیز شاخص‌های کفایت نسبت به سناریوی صفر بهبود داشته و شاخص عدالت ۰/۰۶ بهبود یافته است. بدین ترتیب، به‌رغم کمبود آب، با اعمال مدیریت بهتر شاخص‌های عملکرد تحویل قدری بهبود یافته‌اند.

جدول ۵- شاخص‌های عملکرد تحویل سناریوی دو با کمبود ۲۰ و ۴۰ درصد

Table 7: Delivery indicators of scenario no. 2 for 20%, & 40% shortage

دبی سراب Discharge of the head	شمارهٔ آب‌گیر Catchment no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	کل کانال AVG.	شاخص عدالت Equity index
سناریوی دو ٪ ۸۰ Scenario no. 2- 80%	شاخص کفایت Adequacy index	0.93	1	1	0.95	1	0.94	1	0.96	1	1	1	1	1	1	0.06
	شاخص راندمان Efficiency index	1	0.97	0.93	1	0.94	1	0.94	1	0.95	0.99	0.95	0.94	0.96	0.98	
سناریوی دو ٪ ۶۰ Scenario no. 2- 60%	شاخص کفایت Adequacy index	0.94	1	1	0.94	1	0.94	1	0.97	1	1	1	1	1	1	0.07
	شاخص راندمان Efficiency index	1	0.97	0.93	1	0.94	1	0.94	1	0.96	0.99	0.96	0.95	0.96	0.98	

نتایج شبیه‌سازی سناریوی سه: نتایج ارزیابی عملکرد بهره‌برداری کانال عقیلی پس از اعمال سناریوی سه در جدول ۶ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهند در شرایط ۲۰ درصد کمبود آب، در مقایسه با سناریوی صفر که ۳۸ درصد آبگیرها دارای کفایت متوسط بوده‌اند، تمامی آبگیرها به‌جز یک آبگیر دارای کفایت خوب هستند. در شرایط ۴۰ درصد کمبود آب، در مقایسه با سناریوی صفر که کفایت ۷۰ درصد آبگیرها متوسط و ضعیف بوده‌است، تعداد آبگیرهای با شاخص کفایت خوب به ۸۵ درصد رسیده است. در این شرایط، شاخص عدالت نیز به میزان ۰/۰۶ نسبت به سناریوی صفر بهبود یافته است. نتایج نشان می‌دهد به‌رغم کمبود آب، با مدیریت درست می‌توان به نتایج قابل قبولی دست یافت و آبگیرها نیاز خود را با کمبود و مازادی در محدودهٔ مجاز و با عدالت بیشتر دریافت کنند.

جدول ۶- شاخص‌های عملکرد تحویل سناریوی سه با کمبود ۲۰ و ۴۰ درصد

Table 7: Delivery indicators of scenario no. 3 for 20%, & 40% shortage

دبی سراب Discharge of the head	شمارهٔ آب‌گیر Catchment no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	کل کانال AVG.	شاخص عدالت Equity index
سناریوی سه٪ ۸۰ Scenario no. 3- 80%	شاخص کفایت Adequacy index	0.93	1	1	0.95	1	0.94	1	0.97	1	1	1	1	1	1	0.06
	شاخص راندمان Efficiency index	1	0.97	0.93	1	0.94	1	0.94	1	0.96	0.98	0.96	0.95	0.96	0.99	
سناریوی سه ٪۶۰ Scenario no. 3- 60%	شاخص کفایت Adequacy index	0.83	1	1	0.93	1	0.94	1	0.97	1	0.90	0.95	0.97	0.93	0.98	0.07
	شاخص راندمان Efficiency index	1	0.96	0.93	1	0.94	1	0.94	1	0.97	1	1	1	1	1	

نتایج شبیه‌سازی سناریوی چهار: نتایج شبیه‌سازی ارزیابی عملکرد بهره‌برداری کانال عقیلی پس از اعمال این سناریو در جدول ۷ آورده شده است. همان طور که نشان داده شده‌است، با استفاده از این سناریو در شرایط ۲۰ درصد می‌توان روند توزیع آب را بهبود بخشید به‌طوری که شاخص

کفایت کلیهٔ آبگیرها و شاخص عدالت کانال در محدوده خوب قرار دارد. همچنین، مقادیر به‌دست آمده از نتایج شبیه‌سازی‌ها در شرایط ۴۰ درصد کمبود آب نشان‌دهندهٔ بهبود در روند توزیع آب در بین آبگیرها بوده است؛ زیرا علاوه بر اینکه هر یک از شاخص‌ها، در مقایسه با نتایج سناریوی صفر، پیشرفت خوبی داشته است شاخص عدالت نیز نسبت به سناریوی صفر ۰/۰۷ بهبود یافته است.

جدول ۷- شاخص‌های کفایت و راندمان سناریوی چهار با دبی سراب ۸۰ و ۶۰ درصد

Table 7: Adequacy and efficiency indicators of scenario no. 4 under 20%, 40% shortage

دبی سراب Discharge of the head	شمارهٔ آب‌گیر Catchment no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	کل کانال AVG.	شاخص عدالت Equity index
سناریوی چهار ۸۰ ٪ Scenario no. 4- 80%	شاخص کفایت Adequacy index	0.96	1	1	1	1	0.95	0.97	0.97	1	0.97	1	1	1	1	0.06
	شاخص راندمان Efficiency index	1	0.99	0.96	0.95	0.98	1	1	1	1	1	0.96	0.98	1	1	
سناریوی چهار ۶۰ ٪ Scenario no. 4- 60%	شاخص کفایت Adequacy index	1	1	1	1	1	0.93	0.96	0.98	0.99	0.92	0.96	0.95	0.97	1	0.06
	شاخص راندمان Efficiency index	1	0.93	0.94	0.92	0.94	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

نتیجه‌گیری

با توجه به محدودیت منابع آب و تشدید دوره‌های کم‌آبی در سطح کشور، شبکه‌های آبیاری نیازمند ارتقای روش‌های بهره‌برداری با استفاده از سناریوهای مدیریتی هستند تا بتوان از همین مقدار آب کم به شکلی مناسب استفاده کنند. در همین زمینه، در تحقیق حاضر چهار سناریوی مدیریتی به‌منظور بهبود توزیع آب در شبکه‌ها در شرایط کمبود آب ۲۰ و ۴۰ درصد بررسی شد. در شبیه‌سازی سناریوی وضع موجود (سناریوی صفر) در شرایط بدون کمبود آب، توزیع آب قابل قبول و با پراکندگی مکانی خوب صورت گرفت. در شرایط کمبود آب، شاخص کفایت کاهش یافت و با بیشتر شدن مقدار کمبود آب (۴۰ درصد) شاخص‌های کفایت در محدوده‌ای ضعیف‌تر قرار گرفتند. نکتهٔ مهم در سناریوی صفر این است که در شرایط کمبود آب، علاوه بر کاهش شاخص کفایت، شاخص عدالت تحویل نیز دچار مشکل شده‌است. به عبارت دیگر با افزایش کمبود آب، بی عدالتی در توزیع آن نیز تشدید می‌شود.

استفاده از سناریوهای تعریف شده اثر مثبتی در روند توزیع آب نشان داده‌است. به‌طوری که در همه سناریو ها در شرایط کمبود آب ۲۰ و ۴۰ درصد مقادیر شاخص کفایت بهبود قابل قبولی داشته و در محدودهٔ خوب قرار گرفته است. همچنین، برای شاخص عدالت توزیع در هر دو شرایط کمبود آب، نسبت به سناریوی صفر، مقدار پایین‌تری به‌دست آمد که نشان دهندهٔ بهبود عدالت توزیع آب با استفاده از سناریوهای مدیریت توزیع و تحویل آب است.

به‌طورکلی، شبیه‌سازی‌ها نشان داده‌اند که به‌کارگیری هر چهار راهکار در بهبود توزیع آب در بین آبگیرها، در مقایسه با سناریو صفر، می‌توان آب را با کفایت، راندمان و عدالت بالاتری توزیع کرد. میزان تاثیر چهار سناریو بر روند بهبود توزیع آب در شرایط

۲۰ درصد کمبود آب تقریبا یکسان است. اولویت‌بندی سناریوها در این شرایط، به‌رغم اختلاف ناچیز، به‌ترتیب سناریوی یک، سناریوی چهار، سناریوی سه، و سناریوی دو است. تفاوت اثربخشی سناریوها در شرایط کمبود ۴۰ درصد بیشتر است. میزان اثربخشی سناریوها در شرایط ۴۰ درصد کمبود آب به ترتیب سناریوهای چهار، سه، دو و یک هستند. در انتخاب سناریوهای مدیریتی، علاوه بر میزان اثربخشی آنها در بهبود عملکرد تحویل آب، باید به افزایش تعداد و پیچیدگی عملیات بهره‌برداری، و مقبولیت آن بین کشاورزان نیز توجه کرد.

مراجع

Bhadra, A., Bandyopadhyay, A., Singh, R. & Raghuwanshi, N. S. (2010). An alternative rotational delivery schedule for improved performance of reservoir-based canal irrigation system. *The Journal of Water resources management*, (24)13, 3679-3700.

Clemmens, A. J. & D. J. Molden. (2007). Water uses and productivity of irrigation systems. *Irrigation Science*, (25)3, 247-261.

Ebrahimiyan, F., Monem, M. J., & Delavar, M. (2019). Investigating the Impact of Distribution and Delivery Management in Water shortage Conditions on the Water Productivity Index using Hydrodynamic and Crop Production Models. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, (13)1, 142-152.

Hashemy Shahdany, S. M., Adib Majd, E., Firoozfar, A. & Maestre, J.M. (2016). Improving Operation of a Main Irrigation Canal Suffering from Inflow Fluctuation within a Centralized Model Predictive Control System: Case Study of Roodasht Canal, Iran. *Irrigation and Drainage Engineering*, (142)11.

Henderson, F.M., 1966. Open Channel Flow. Macmillan Publishing Co., New York, pp. 522.

Kanooni, A. & Monem. M. J. (2017). Optimization of water allocation and planning in irrigation networks. *Drainage and Irrigation*, (1)10, 12-23. (In Persian)

Khaeeze., S & Hashemy Shahdany, S. M. (2021). Non-structural modification of agricultural water distribution systems in large scale irrigation districts. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 106102.

Khiabani, M. Y., Shahadany, S. H., Maestre, J. M., Stepanian, R & ,Mallakpour, I. (2020). Potential assessment of non-automatic and automatic modernization alternatives for the improvement of water distribution supplied by surface-water resources: a case study in Iran. *Agricultural Water Management*, 230, 105964.

Kim, Hae-Do., Kim, J.T., Nam, W.H., Kim, S.J., Choi J.Y. & Koh B.S. (2016). Irrigation Canal Network Flow Analysis by a Hydraulic Model. *Irrigation and Drainage*, (65)1, 57-65.

Litirco, X., Fromion, V., Baume, J., Arranja, C. & Rijo, M. (2005). Experimental Validation of Methodology to control irrigation canals base on Saint-Venant equation. *Control Engineering Practice*, (13), 1425-1437.

Manz, D. H., & Schaalje, M., (1992), Development and Application of the Irrigation Conveyance System Simulation Model, CEMAGREF -IIMI International Workshop on The Application of Mathematical Modelling for the Improvement of Irrigation Canal Operation, October 26 - 30, Montpellier, FRANCE.

Molden, D. J. & Gates, T. K. (1990). Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. *Irrigation and drainage engineering*, (116)6, 804-823.

Monem, M. J., Ghodoosi, H. & Emadi, AR. (2007). Quantifying the operation performance of irrigation canals in changing requirement conditions by hydrodynamic model and turbulent flow analysis. *Agriculture research*, (3)6, 17-29. (In Persian)

Monem, M. J. & Manz, D. H. (1994). Application of simulation techniques for improving the performance of irrigation conveyance systems. *I. J. of Water Resources Engineering*, 2, 1-22.

Montazer, A. & Pashazade, N. (2012). Evaluating water distribution function in different operational situation in tha west main canal of Dez irrigation network by hydraulic model CANALMAN. *Water and soil*, (25)1, 125-139. (In Persian)

Nam, W.H., Hong, E.M. & Choi, J.Y. (2016). Assessment of water delivery efficiency in irrigation canals using performance indicators. *Irrigation Science*, (34)2, 129-143.

Sadeghi, S. & Monem, M. J. (2015). Comparison of Lopac gates and sliding gates in irrigation canals under ASCE standard test conditions. *The First National Congress of Irrigation and Drainage*, May 13-14, Ferdowsi University, Mash-had, Iran. (In Persian)

Seyed Hoshiyar. S.M., Pirmoradian, N., Ashrafzadeh, A., & Parvaresh Rizi. A. (2021). Performance Assessment of a Water Delivery Canal to Improve Agricultural Water Distribution. *Water Resources Management* , 8, 2021.

Shahrokhnia. M. A., & Javan. M. (2005). Performance assessment of Doroodzan irrigation network by steady state hydraulic modeling. *Irrigation and drainage systems*, 19, 189-206.

Shammout, M.W., Qtaishat, T., Rawabdeh. H. & Shatanawi. M. (2018). Improving Water Use Efficiency under Deficit Irrigation in the Jordan Valley. *Sustainability*, (10)11,4317.

Shakir, A.S., Khan, N.M. & Qureshi, M.M. (2010). Canal water management: Case study of upper Chenab Canal in Pakistan. *Irrigation and Drainage*, (59)1, 76-91.

Small, L.E. & Svendsen, M. 1990. A framework for assessing irrigation performance. *Irrigation and drainage systems*, (4)4, 283-312.

Strelkoff, T., 1969. One-dimensional equations of open-channel flow, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, pp. 861-876.

The Canadian Society for Civil Engineering Task Committee on River Models, 1990. Comparative evaluation of river models, Vol. V of the Proceedings of the Annual Conference of the CSCE, May 1990, Hamilton, Ontario, Canada, pp. 282-300.

Evaluation and Improvement of Water Management of Irrigation Networks Under Water Scarce Condition (Case Study: Eastern Aghili Secondary Canal)

S. Ostovari-Deilamani, M. Monem* and S. M. Hashemi-Shahdani

* *Corresponding Author: Professor, Department of Water Engineering and Management, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran.
Received: 23 July 2021, Accepted: 23 August 2021

Introduction

The experience of irrigation networks in recent years shows that traditional operation methods are not able to implement proper water delivery in water scarce periods and enhancing is unavoidable. In many cases, delivered water does not match water requirement, and it causes decreasing water productivity and farmer's dissatisfaction. (Sadeghi and Monem, 2014)

Irrigation delivery under these conditions is a complex process. Optimization techniques have limitations in the above situations (Santhi and Pundarikanthan., 1999)

Monem et al. showed that using hydrodynamic model and unsteady flow analysis is a suitable approach to determine appropriate operation, and performance improvement of irrigation networks under harsh circumstances. (Monem, et al., 2005)

In this paper, the main goal is improving the operational distribution management in irrigation networks in water scarce situation. At the first step, the water delivery and distribution status in Eastern Aghili secondary canal is evaluated for full discharge, 20% and 40% water scarce situation (as scenario 0). At the second step, four management scenarios have been defined, and are simulated to manage water scarcity.

Methodology

Aghili Irrigation Network is located in Gotvand irrigation area in Khuzestan. In present study, the East Aghili secondary canal is selected. This canal is a concrete lined canal having trapezoidal cross section with side slope of 1:1, and length of 16.215 km. The bed width of the canal in the first half is 1.5 meters and for the second half is 1 meter. For clear presentation and discussion of the results, the 9 km of the canal which has 13 outlets is simulated.

Simulations are done using ICSS hydrodynamic model. The ICSS model simulates steady flow by solving gradually varied flow equations proposed by Henderson, and unsteady flow by solving St.Venant equations proposed by Sterlekof. It can simulate different structures with the wide range of operations.

Performance indicators proposed by Molden and Gates (1990) are used for evaluation of the scenarios. Delivery efficiency, adequacy, and equity indicators, are calculated and discussed for scenarios.

In this paper four scenarios are defined for three irrigation level of 100%, 80% and 60% of the required discharge for 24 hour delivery period. The scenarios are:

1. The volume of water delivered to all outlets have been decreased proportionally to the shortage of water at the head of canal. The operation of structures are done at the same time. (Scenario 1)

2. The second scenario is defined by a Prioritization based on cultivation pattern. Outlets number 3, 6, 8, 10, 11, are considered to have priority for water delivery. So, these outlets receive full discharge, and water shortage is distributed to other outlets (Scenario 2)

3. In this scenario the outlets are divided into two groups, which in both groups, sum of the required discharge is equal. In the first 12 hours the first group (outlet numbers 1 to 5) receive

their full required discharge, and the second group receive decreased discharge proportional to remaining water left in the canal. At the second 12 hours, the water distribution and corresponding operation is done reversely. (Scenario 3)

4. In this scenario, also, the outlets are divided into two groups, which in both groups, sum of the required discharge is equal. In the first 12 hours the first group (outlets number 1 to 5) are closed, and water is delivered to the second group of outlets. At the second 12 hours, the water delivery and corresponding operation is done reversely. (Scenario 4)

Results and Discussion

The result of zero scenario shows that under 20 percent water scarcity, the Adequacy Index is less than 90% for five outlets, and 38% outlets have medium adequacy. The Equity Index is 0.07. For 40 percent water scarcity, 9 outlets (70%) have a medium and poor adequacy, and the equity index is 0.13. This results show that in water scarce situation, not only the adequacy is decreased, but also the equity of water distribution is harmed.

After the use of four defined scenarios, the results indicate acceptable improvement in all scenarios, under both 20 % and 40 % water scarcity. Under 20% water scarcity the first scenario, and for 40% water scarcity, the fourth scenario has the highest performance indices. For 20% scarcity, the priority of the scenarios are, scenario no. 1, 4, 3, and 2. For 40% scarcity the priorities are, scenario no. 4, 3, 2, and 1.

Conclusion

Water shortage without appropriate management actions, will cause poor performance not only from adequacy point of view, but also from equity aspect. According to the results, all proposed management actions, have acceptable effect in water delivery improvement under both 20% and 40% water scarcity with little differences. For selection of the scenarios in addition to hydraulic performance, operational efforts and social acceptance of different scenarios should be considered as well.

Keywords: Irrigation canals, Operational Management, Simulation, Water distribution, Water scarcity.