نقش مدیریت بهره‌برداری مخازن درون مسیری دربهبود بهره‌برداری شبکه آبیاری مغان

محمد جواد منعم[۱] *، سید مهدی هاشمی شاهدانی و هادی اسلامبولچی‌زاده

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

monem_mj@modares.ac.ir

استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران و دانش‌آموخته فرادکتری- گروه سازه‌های آبی - دانشگاه تربیت مدرس.

mehdi.hashemy@ut.ac.ir

دانش آموخته کارشناسی ارشد- گروه مهندسی سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس.

haeslambolchi@gmail.com

چکیده

یکی از سازه‌هایی که نقش مهمی در بهبود عملکرد کانال‌های اصلی آبیاری ایفا می‌کند، مخازن درون مسیری می‌باشد. بهره‌برداری مناسب از این مخازن نیازمند هماهنگی بین سازه‌های ورودی و خروجی آن با شرایط جریان در سراب کانال و کانال‌های بالادست و نیازهای پایین‌دست می‌باشد. در صورتی که بهره‌برداری مخزن با هماهنگی با سایر بخش‌های شبکه انجام گیرد، جریان پایدارتری در کانال برقرار شده که این امر سبب کاهش نوسانات جریان و تاخیر در تحویل آب و بهبود عملکرد کانال می‌شود. در این تحقیق مدل ریاضی مخزن دریاچه شهرک و سیستم کانال‌های ورودی و خروجی آن در شبکه آبیاری مغان در محیط شبیه‌ساز هیدرودینامیک ICSS تهیه شد. برای بررسی نقش مدیریت بهره‌برداری مخزن در بهبود بهره‌برداری سیستم کانال مورد مطالعه، مدل ریاضی تهیه شده برای هشت گزینه بهره‌برداری در شرایط تغییرات تدریجی و ناگهانی کاهش و افزایش دبی ورودی از سراب کانال، در دو حالت با و بدون بهره‌برداری مخزن مورد آزمون قرار گرفت. نتایج شاخص‌های ارزیابی عملکرد حاکی از کاهش زمان عکس‌العمل سیستم و بهبود شاخص پایداری توزیع در همه گزینه‌ها، بهبود شاخص کفایت در گزینه‌های کاهشی و بهبود شاخص راندمان در گزینه‌های افزایشی با اعمال مدیریت بهره‌برداری مخزن بودند به نحوی‌که بهبود ۰/۴۵ ٪ و ۶/۵۷ درصدی به ترتیب در شاخص‌های کفایت و پایداری کفایت تحویل برای آبگیر اصلی آن به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: مخازن ذخیره، کانال اصلی آبیاری، جریان غیرماندگار.

۱- آدرس نویسنده مسئول: تهران، گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

*- دریافت: فروردین ۱۳۹٦ و پذیرش:شهریور ۱۳۹٦

مقدمه

موفقیت بهره‌برداری یک سامانه انتقال آب در گرو از بین بردن عدم تطابق بین عرضه و تقاضا در کانال اصلی می‌باشد. ورود آب مازاد بر ظرفیت کانال سبب اتلاف آب و تخلیه آن در پایین دست شبکه، ایجاد شرایط ماندابی، افزایش شوری اراضی و نهایتاً وارد شدن خسارات زیست‌محیطی به اراضی پائین‌دست خواهد شد. از طرف دیگر، کمبود آب تحویلی، سبب کاهش میزان کفایت تحویل آب به آب‌بران می‌شود. هر عاملی که سبب حداقل‌سازی اختلاف موجود بین عرضه و تقاضا گردد، سبب بهبود عملکرد کل سامانه آبیاری خواهد شد (باهادرا و همکاران، ۲۰۰۹). در شبکه‌های بزرگ آبیاری کشورمان که اغلب به شیوه کنترل از بالادست کنترل می‌شوند، زمان تاخیر قابل ملاحظه‌ای بین زمان ورود جریان از سراب تا زمان تحویل به آبگیرهای واقع در اواسط و انتهای شبکه وجود دارد.

این زمان تاخیر زیاد سبب افزایش مدت زمان جریان غیرماندگار در شبکه خواهد شد که به تبع آن سبب طولانی شدن مدت تغییرات عمق در طول بازه‌های کانال و تغییرات در دبی تحویلی می‌گردد (اسلامبولچی، ۱۳۸۵). یکی از ابزارهای مناسب مدیریتی در جهت کاهش تاخیر زمانی و بهبود مدیریت بهره‌برداری، استفاده از مخازن تنظیمی در مسیر کانال‌های آبیاری می‌باشد. با بهره‌گیری مناسب از این روش می‌توان تا حد زیادی عدم تطابق بین عرضه و تقاضا و تاخیر در تحویل را کاهش داده و عدالت در توزیع را بهبود بخشید (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۱). این مخازن می‌توانند به دو صورت مخزن جداگانه در کنار کانال اصلی (اسلامبولچی، ۱۳۸۵) یا ذخیره‌سازی در داخل کانال اصلی (فان اورلوپ، ۲۰۰۶) باشند. استراتژی بهره‌برداری تفاوت خطای رقوم سطح آب به منظور بهبود بهره‌برداری کانال اصلی با ایجاد ذخیره درون مسیری معرفی گردید (کلمنز، ۲۰۱۲). در این روش متغیر تحت کنترل عبارت از تفاوت خطای رقوم سطح آب در دو بازه مجاور است. در این حالت کنترل‌گر سعی در توزیع یکسان خطای ایجاد شده در رقوم سطح آب بین بازه‌های مجاور می‌نماید. زمانی که به واسطه برداشت آب یا بسته شدن دریچه خطایی در یکی از بازه‌ها رخ می‌دهد، این خطا به تدریج در بازه‌های مجاور و نهایتاً در کل کانال تقسیم می‌شود. بدین ترتیب در زمان کاهش مصرف در شبکه آب مازاد به تدریج در تمامی بازه‌ها و به عمق مساوی ذخیره می‌گردد و در زمان افزایش مصرف آب این ذخیره به تدریج به طور یکسان به مصرف آبگیرها می‌رسد (کلمنز، ۲۰۱۲). در یک مطالعه موردی، راهبرد مذکور با کمک یک کنترل‌گر سراسری برای چند بازه ابتدایی کانال اصلی آریزونا مورد آزمون قرار گرفت. مشکل موجود در بهره‌برداری این کانال به این صورت است که آب ورودی به این کانال تنها در بازه‌های زمانی خاصی قابل تغییر بوده و در اغلب موارد ورودی کانال ثابت خواهد بود. لذا هدف ذخیره‌سازی آب مازاد در بازه‌های کانال معرفی شد تا در مواقع افزایش مصرف بتوان از آب ذخیره شده استفاده نمود.

نتایج تحقیق حاکی از بهبود بهره‌برداری کانال با استفاده از راهبرد مذکور در مقایسه با روش بهره‌برداری مرسوم است (گوان و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین ذخیره-سازی درون مسیری با هدف تحویل و توزیع عادلانه در طول کانال اصلی آبیاری با بکارگیری استراتژی کنترل اختلاف سطح آب در بازه‌های مجاور برای کانال دز غربی با استفاده از دو سناریوی بهره‌برداری عادی و بهره‌برداری تحت شرایط کمبود آب، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از توانایی قابل قبول استراتژی معرفی شده در ذخیره آب درون بازه‌های کانال برای مقابله با عدم انطباق بین عرضه و تقاضا در شرایط کمبود آب بود (هاشمی و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر کاهش زمان تاخیر حرکت آب در مسیر کانال، از جمله کاربردهای عملی استفاده از مخازن تنظیمی در کانال‌های اصلی آبیاری می‌توان به شبکه‌هایی که امکان آبیاری شبانه در آن‌ها وجود ندارد اشاره نمود. در این موارد با کاهش برداشت آب در شب، آب مازاد در مخزن ذخیره می‌شود تا علاوه بر جلوگیری

از هدر رفتن آب مازاد، بتوان فرآیند تحویل آب در صبح روز بعد را تسریع بخشید.

به‌عنوان یکی از اولین طرح‌های کاربردی در این زمینه، امکان‌پذیری اجرای پروژه احداث مخزن در شبکه-های آبیاری در جنوب شرقی آسیا و با هدف آبیاری شبانه بررسی گردید. شایان ذکر است که به دلیل تبخیر بالا در روز، آبیاری در شب در این مناطق توصیه می‌شود. براین اساس از بین چهار گزینه احداث مخازن تنظیمی در مسیر کانال، استفاده از حجم ذخیره کانال، تنظیم مقدار جریان در سراب و احداث مخازن اضطراری در مزرعه، احداث مخزن تنظیمی در مسیر کانال به عنوان موثرترین راهکار معرفی گردید (اسلامبولچی، ۱۳۸۵). تحقیق مشترکی توسط سازمان طراحی و ساخت سازه‌های هیدرولیکی آنکارا و سازمان مدیریت و ارزیابی منابع آب فرانسه در زمینه مدیریت شبکه از طریق مخزن بر روی کانال اصلی هاران در ترکیه انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد، در شرایط وضعیت‌های نامعین تقاضا و نیز جهت جلوگیری از اتلاف آب در این شبکه، تلفیق روش کنترل بالادست و پائین‌دست در کانال به‌همراه احداث مخزن در شبکه بهترین گزینه جهت بهبود مدیریت بهره‌برداری است (ولکان و ورن، ۱۹۹۲). تحقیق دیگری به‌منظور بررسی اثر ذخیره درون مسیری بر روی کانال اصلی شاه عبدالله اردن انجام گرفت. مطالعات اولیه حاکی از آن بودند که ذخیره-سازی شبانه، به دلیل افزایش سطح آب در کانال و به‌تبع آن افزایش نوسانات، کنترل کانال پیچیده‌تر خواهد شد. نتایج نشان دادند کنترل‌گرهای غیرمتمرکز طراحی شده این تحقیق قابلیت کافی برای مدیریت رقوم هدف متغیر در کانال را نداشتند (شورمانز، ۱۹۹۲). فان اورلوپ (۲۰۰٦) از ایده ذخیره درون مسیری در کانال‌های زهکش و مخازن متصل به آن‌ها استفاده نمود. در تحقیق مذکور، از خودکارسازی تمامی سازه‌های واقع شده در مسیر زهکش‌ها و مخازن (مانداب‌ها) با بهره‌گیری از روش کنترل زمان واقعی[1] استفاده گردید. نتایج حاکی از استفاده بهینه حجم ذخیره موجود در مخازن و کانال‌های اصلی زهکشی در بارش‌های شدید شدند.

با این حال نباید فراموش شود که بهره‌برداری کارای ذخیره در مسیر کانال در گرو وجود یک سامانه کنترل خودکار متمرکزدر کانال اصلی است. با توجه به مجموعه شرایط اقتصادی و اجتماعی حاکم بر محدوده-های شبکه‌های آبیاری در ایران، در حال حاضر امکان پیاده‌سازی فراگیر سامانه‌های کنترل خودکار در کانال‌های اصلی آبیاری وجود ندارد. همچنین با توجه به دانش ناکافی مجموعه‌های ستادی و محلی مدیریت شبکه‌های آبیاری پیرامون ضرورت به‌روزرسانی بهره‌برداری کانال-های آبیاری، گزینه ذخیره درون مسیری، با وجود نتایج مطلوب بدست آمده در تحقیق‌های مورد اشاره، گزینه کاربردی برای بهبود شرایط کنونی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری کشور نمی‌باشد؛ بنابراین در تحقیق حاضر با تمرکز بر روش‌های کاربردی و قابل پیاده سازی در شرایط حال حاضر مدیریت مخزن در شبکه آبیاری که نوآوری این تحقیق محسوب می‌شود، اقدام به بررسی میزان بهبود بهره برداری کانال اصلی شده است.

گزینه جایگزین در این شرایط، بهبود بهره-برداری مخزن احداث شده در کنار کانال اصلی می‌باشد تا با مدیریت بهتر مخزن بتوان بهره‌برداری دستی پایین‌دست را بهبود داد و از هدر رفتن آب مازاد بالادست شبکه جلوگیری نمود. براین اساس در این تحقیق به بررسی و ارزیابی نقش مخزن درون مسیری و گزینه‌های مختلف مدیریت آن در بهبود عملکرد بهره‌برداری کانال اصلی شبکه آبیاری مغان پرداخته شده است. بهره‌برداری این کانال به دو شیوه «با» و «بدون» بهره‌برداری مخزن درون مسیری مورد آزمون قرار گرفت تا نقش مخزن در مدیریت بهره‌برداری کانال مشخص گردد. برای این کار مدل هیدرودینامیکی مخزن، با یک ورودی و دو خروجی که توسط دریچه‌های کشوئی کنترل و تنظیم می‌شوند، تهیه شده و با مدل شبیه‌سازی شده کانال اصلی مغان در مدل هیدرودینامیکی ICSS تلفیق گردید.

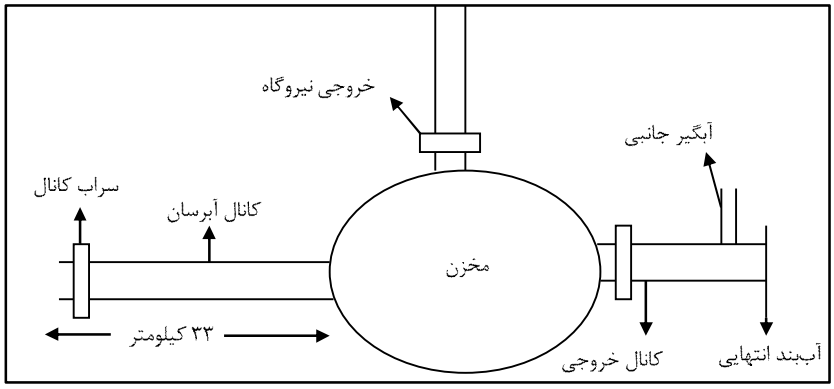
[1] - real time

مواد و روشها

معرفی مخزن درون مسیری مغان

مخزن مغان (دریاچه شهرک) در ۳۳ کیلومتری بند انحرافی میل مغان می‌باشد. این دریاچه در ابتدا به صورت یک گودال طبیعی در مسیر کانال اصلی قرار گرفته بود که با احداث سه بند خاکی در آن به عنوان مخزن مورد بهره‌برداری قرار گرفت. در ابتدای بهره برداری یک آبگیر خروجی برای مصارف کشاورزی در نظر گرفته شده بود اما به دلیل اختلاف ۷۰ متری که مخزن با بخشی از اراضی دشت مغان داشت، ایده احداث یک آبگیر دیگری به وجود آمد که علاوه بر تامین آب اراضی پائین‌دست دریاچه از انرژی حاصل از آن برای تولید برق نیز استفاده نمایند.مخزن مغان در تراز نرمال مساحت ۱۵۰ هکتار دارد که حداکثر حجم مخزن ۱۱/۵ میلیون متر مکعب می‌باشد.

حداکثر ارتفاع مخزن با احتساب خاکریزهای آن ۱۴۱ متر می‌باشد. حداکثر ارتفاع حجم مرده مخزن ۱۳۳ متر و حداکثر ارتفاع مجاز آب ۱۳۶/۶ متر و ارتفاع طراحی مخزن ۱۳۵/۹ متر است. در شکل (۱) نمای کلی مخزن و سازه‌های وابسته ارایه شده است. سازه‌های ورودی و خروجی آن از نوع دریچه‌های کشویی می‌باشند. ورودی مخزن قادر به تامین دبی ۵۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. آبگیر نیروگاه بین ۱۵ تا ۲۵ متر مکعب بر ثانیه و دبی آبگیر خروجی بین ۱۵ تا ۳۵ متر مکعب بر ثانیه قابل تنظیم می‌باشد. فاصله اولین آبگیر کانال (DL1) از آبگیر خروجی ۷/۵ کیلومتر بوده و در ۲۰ متر پائین‌دست آن یک تنظیم کننده از نوع دریچه کشوئی وجود دارد. کانال اصلی ورودی مخزن به طول ۳۳ کیلومتر، عمق سه متر، شیب طولی ۰/۰۰۰۱ و شیب جانبی ۱/۵ می‌باشد.



شکل ۱- نمای کلی مخزن مغان و سازه‌های مربوطه (اسلامبولچی‌زاده، ۱۳۸۵)

شبیه ساز هیدرودینامیک ICSS

مدل هیدرودینامیک ICSS[1] برای شبیه‌سازی جریان‌های ماندگار و غیرماندگار شبکه‌های آبیاری تهیه شده است. این مدل قادر به شبیه‌سازی طیف وسیعی از سازه‌های موجود و انواع مختلف مقاطع کانال می‌باشد. در حل جریان ماندگار محاسبات از انتهائی‌ترین نقطه پائین-دست به سمت بالادست انجام می‌گیرد. نتیجه این محاسبات تعیین عمق، دبی و سرعت در طول کانال است که برای محاسبات جریان غیرماندگار به‌عنوان شرط اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. می‌توان شرایط غیر ماندگار معینی را ذخیره نمود و از آن نیز برای شرایط اولیه محاسبات جریان غیرماندگار دیگر استفاده نمود (مانز و اسکلیه، ۱۹۹۲). برخی از ویژگی‌ها و توانمندی‌های این مدل عبارتند از

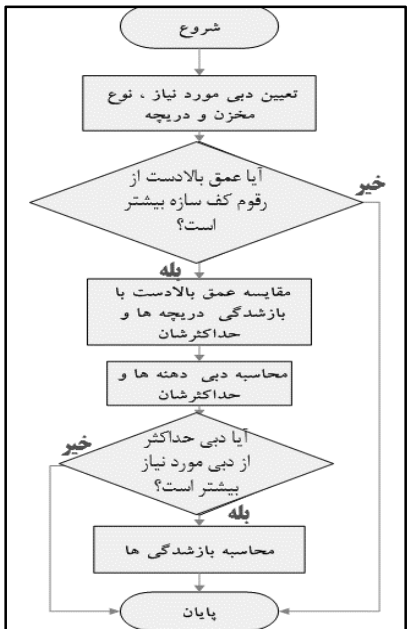
- ✓ امکان کاربرد مدل برای انواع شبکه‌های آبیاری با انواع روش‌های بهره‌برداری.
- ✓ امکان در نظر گرفتن دامنه وسیعی از مشخصات فیزیکی سیستم، عملیات بهره‌برداری و ویژگی‌های هیدرولیکی.
- ✓ امکان ذخیره اطلاعات در هر مرحله از شبیه-

[1]- Irrigation Conveyance Simulation System

سازی و بازخوانی مجدد آن‌هادر هر زمان دیگر و ادامه شبیه‌سازی قبلی.

مدل هیدرودینامیکی مخزن

مدلی هیدرودینامیکی که برای مخزن در نظر گرفته شده است دارای چهار زیر برنامه اصلی است که برای محاسبات جریان‌های ماندگار و غیر ماندگار و همچنین بهره‌برداری و به‌روزرسانی آن در نظر گرفته شده است. این مدل از ٤ زیر برنامه UBC11A جهت محاسبات جریان غیرماندگار، UBC11B جهت به روزرسانی عمق و دبی جریان، UBC11C جهت اجرای عملیات بهره‌برداری و UBC11D جهت محاسبه جریان ماندگار تهیه شده است. هنگام اجرای مدل در گام اول محاسبات جریان ماندگار صورت می‌گیرد، بعد در گام دوم دستورات بهره‌برداری کاربر اجرا می‌گردد، در گام سوم محاسبات جریان غیرماندگار انجام می‌شود و در گام چهارم اطلاعات به‌روز می‌شود. زیر برنامه بهره‌برداری خود دارای چندین زیر برنامه مختلف است که محاسبات را با توجه به تعداد خروجی‌های مخزن، نوع سازه‌های خروجی مخزن، تعداد دهنه‌ها و وضعیت جریان به زیر برنامه مربوط هدایت می‌کند. روند نمای انجام عملیات بهره‌برداری از مخزن در شکل (۲) ارائه شده است. نوع مخزن تعریف شده در مدل عبارت است از مخزن در میانه کانال با ارتفاع متغیر و با در نظر گرفتن هیدروگراف ورودی به مخزن. انواع سازه‌های پیش‌بینی شده در مخزن، دریچه‌های کشوئی قطاعی، دریچه با سرریزهای جانبی و پمپ می‌باشند. با توجه به اینکه سازه‌های کنترل و تنظیم مغان دریچه‌های کشوئی بوده در مدل مربوط از این نوع سازه استفاده شد. در این مدل پس از ارائه اطلاعات مشخصات کانال‌ها و سازه‌های ورودی و خروجی‌های مخزن و رابطه حجم و ارتفاع مخزن در فایل ورودی، با اجرای مدل ابتدا محاسبات جریان ماندگار انجام می‌شود و پس از آن امکان انجام محاسبات غیرماندگار فراهم می‌آید.



شکل ۲- روند نمای بهره‌برداری از مدل هیدرودینامیکی مخزن

تشریح گزینه‌های شبیه‌سازی

همان‌طور که پیش‌تر یاد شد هدف اصلی این تحقیق عبارت از بررسی میزان کارائی مخزن دریاچه شهرک مغان، در بهبود عملکرد تحویل و توزیع آب در شبکه مذکور می‌باشد. برای همین منظور شبیه‌سازی جریان برای شرایط بهره‌برداری با و بدون بهره‌برداری مخزن مورد بررسی قرار گرفت. گزینه‌های بهره‌برداری برای دو وضعیت ورودی به مخزن به‌صورت کاهش و افزایش تدریجی و ناگهانی دبی جریان از سراب کانال در نظر گرفته شد. در گزینه کاهشی تدریجی و ناگهانی، دبی ورودی به مخزن به‌تدریج با گام‌های زمانی ۰/۱ ساعت به ترتیب در طی مدت چهار و دو ساعت از ۵۰ به ۳۰ متر مکعب بر ثانیه رسید. جریان ورودی از سراب کانال تماماً به مخزن وارد شده و خروجی از مخزن به نیروگاه و کانال پائین‌دست به‌ترتیب ۱۵ و ۳۵ مترمکعب بر ثانیه تعیین شده است. در حالت افزایش تدریجی و ناگهانی دبی ورودی نیزبا شرایط مشابه جریان از ۳۰ به ۵۰ مترمکعب بر ثانیه افزایش یافت. شبیه‌سازی مخزن برای دبی ورودی کاهشی و افزایشی مخزن در دو وضعیت بهره‌برداری و بدون بهره‌برداری از نیروگاه انجام گرفت که جمعاً هشت

گزینه بهره‌برداری حاصل شد. در جدول (۱) گزینه‌های بهره‌برداری مورد استفاده در این تحقیق و نامگذاری اختصاری آن‌ها آمده است. ارایه نتایج بدست آمده در قسمت نتایج و بحث بر اساس نامگذاری صورت گرفته انجام می‌شود.

جدول ۱- گزینه‌های بهره‌برداری به همراه مشخصات تغییرات از سراب کانال

حالت‌های بهره‌برداری	شرایط گزینه‌ها	نام گزینه‌ها
کاهشی تدریجی	بدون بهره‌برداری مخزن	S_{N1}
	با بهره‌برداری مخزن	S_{P1}
کاهشی ناگهانی	بدون بهره‌برداری مخزن	S_{N2}
	با بهره‌برداری مخزن	S_{P2}
افزایشی تدریجی	بدون بهره‌برداری مخزن	S_{N3}
	با بهره‌برداری مخزن	S_{P3}
افزایشی ناگهانی	بدون بهره‌برداری مخزن	S_{N4}
	با بهره‌برداری مخزن	S_{P4}

شاخص‌های ارزیابی عملکرد

شاخص‌هایی که برای ارزیابی و بهبود مدیریت سیستم در این تحقیق به‌کار رفته‌اند عبارتند از: شاخص راندمان تحویل (DE)، کفایت تحویل (DA)، پایداری راندمان (DS_E) و پایداری کفایت (DS_A) کهروابط (۱) تا (۳) شاخص‌های مذکور را نشان می‌دهد (مولدن و گیتس ۱۹۹۰).

$$DE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(PF)\begin{cases} PF = \dfrac{Q_{req}}{Q_{act}} & \text{for } Q_{req} \le Q_{act} \\ PF = 1 & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

$$DA = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(PA),\begin{cases} PA = \dfrac{Q_{act}}{Q_{req}} & \text{for } Q_{req} \ge Q_{act} \\ PA = 1 & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

$$DS_A = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\dfrac{Q_{act}}{Q_{req}} - \left(\dfrac{Q_{act}}{Q_{req}}\right)_{average}\right|}{\left(\dfrac{Q_{act}}{Q_{req}}\right)_{average}}, DS_E = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\dfrac{Q_{req}}{Q_{act}} - \left(\dfrac{Q_{req}}{Q_{act}}\right)_{average}\right|}{\left(\dfrac{Q_{req}}{Q_{act}}\right)_{average}} \quad (3)$$

در روابط فوق:

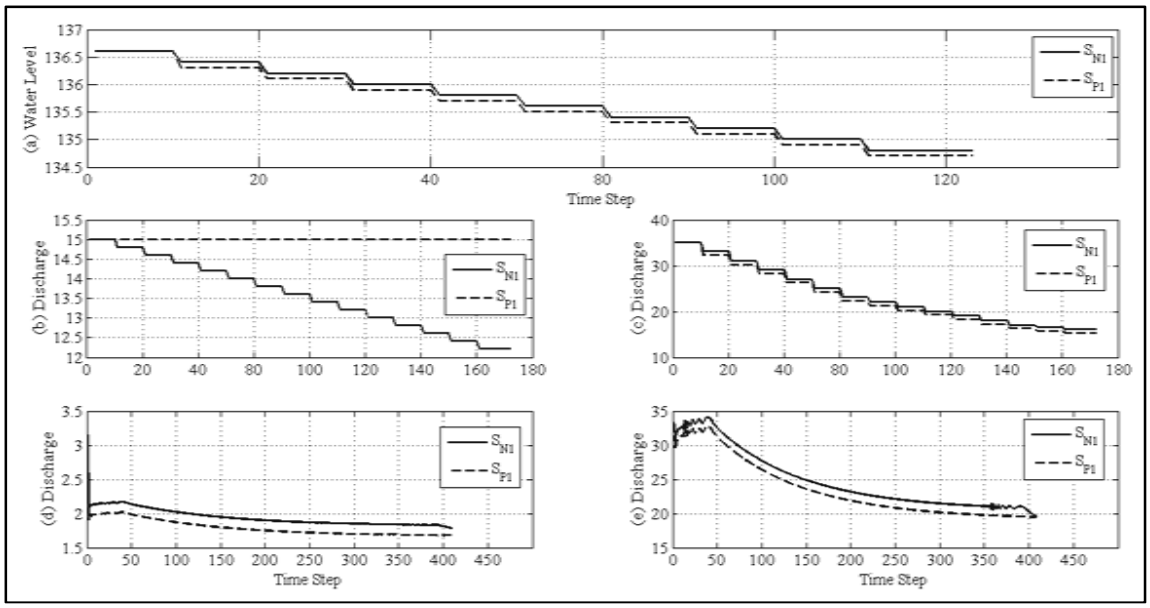
Q_{req} دبی مورد نیاز آبگیرها، Q_{act} دبی واقعی تحویلی به آبگیرها، n گام‌های زمان اجرای شبیه‌سازی می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی برای گزینه‌های بهره‌برداری معرفی شده، در قالب نمودارهای تغییرات سطح آب مخزن، تغییرات دبی عبوری از آبگیر نیروگاه، آبگیر کانال خروجی و دبی عبوری از آب‌بند انتهای کانال خروجی آمده است. همچنین شاخص‌های ارزیابی عملکرد محاسبه شده در طول شبیه‌سازی نیز برای گزینه‌های بهره‌برداری در جدول‌های (۲) و (۳) ارایه شده است. لازم به توضیح است که در شرایط کاهش جریان شاخص‌های راندمان برابر با یک بوده و صرفا شاخص‌های کفایت در جدول ۲ ارائه شده اند. همچنین در شرایط افزایش جریان شاخص‌های کفایت برابر با یک بوده و صرفا شاخص‌های راندمان در جدول ۳ گزارش شده اند. علاوه بر آن به منظور جلوگیری از حجیم شدن مقاله، نتایج شبیه‌سازی برای دو حالت کاهش تدریجی وافزایش تدریجی، در قالب نمودار ارایه شده و تحلیل نتایج حالت‌های کاهش و افزایش ناگهانی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد بهره‌برداری انجام شده است. در ادامه نتایج حاصل شده به‌ترتیب گزینه‌های بهره‌برداری معرفی شده مطابق جدول (۱)، ارایه خواهد شد:

حالت اول: کاهش تدریجی

در حالت اول آثار کاهش جریان ورودی به کانال حدوداً پس از ۵۰ دقیقه به مخزن رسیده و حدوداً پس از ٤/٦ ساعت دبی ورودی به مخزن در ۳۰ متر مکعب بر ثانیه تثبیت شده است. نتایج شبیه‌سازی حالت اول بهره‌برداری در شکل‌های (۳-a) تا (۳-e) به تصویر کشیده شده است. در این شکل‌ها نمودارهای خط پر مربوط به حالت بدون اعمال بهره‌برداری و خط‌چین مربوط به حالت با اعمال بهره برداری مخزن می‌باشد.



شکل ۳- نتایج شبیه‌سازی حالت اول بهره‌برداری. (۳-a) تغییرات سطح آب مخزن. (۳-b) تغییرات دبی آبگیر نیروگاه. (۳-c) تغییرات دبی کانال خروجی. (۳-d) تغییرات دبی آبگیر انتهای کانال. (۳-e) تغییرات دبی آب‌بند انتهای کانال خروجی

نتایج گزینه بدون بهره‌برداری (S_{N1}) و با بهره‌برداری (S_{P1}) مخزن

نتایج گزینه کاهش تدریجی دبی ورودی منجر به تغییرات سطح آب مخزن، دبی کانال خروجی و نیروگاه است. در اثر کاهش تدریجی دبی در کانال خروجی یک موج منفی در کانال ایجاد شده است که پس از رسیدن به آبگیر و آب‌بند انتهای کانال میزان دبی عبوری از آن‌دو را تحت تاثیر قرار داده است.

نتایج نشان داده‌اند که در صورت عدم انجام بهره‌برداری مخزن (S_{N1}) در حدود ٤/٦ ساعت طول می‌کشد تا جریان در کانال خروجی به حالت پایدار درآید و این امر برای آبگیر و آب‌بند انتهای کانال ۵/۹ ساعت بدست آمده است. با اعمال بهره‌برداری مخزن (S_{P1}) مدت زمان به پایداری رسیدن جریان در کانال خروجی به ٤/۲ ساعت و برای آبگیر و آب‌بند انتهای کانال به پنج ساعت تقلیل می‌یابند. این نتایج، مطابق انتظار، نشان می‌دهند اعمال بهره‌برداری مخزن سبب کاهش مدت زمان عکس‌العمل سیستم شده که بهبود عملکرد بهره‌برداری سیستم را به‌دنبال خواهد داشت. اعمال بهره‌برداری در مخزن سبب تحویل دبی ثابت به کانال نیروگاه شده که رضایت کامل مدیران بهره‌برداری نیروگاه و شبکه را به دنبال دارد. بنا بر اظهارات مدیران شبکه، راندمان تولید برق در دبی ۱۵ متر مکعب بر ثانیه تقریباً ۹۷٪ می‌باشد که در نتایج گزینه بهربرداری (S_{P1}) حاکی از تامین ثابت این دبی در طول شبیه‌سازی می‌باشد. در این حالت بهره‌برداری، راندمان تحویل آب برای شرایط با و بدون بهره‌برداری یکسان بدست آمده است؛ زیرا با توجه به گزینه کاهشی بودن جریان، طبیعی است که انتظار تلفات آب چندانی نباید وجود داشته باشد و شاخص راندمان تحویل یکسان بدست آید. شاخص‌های کفایت و پایداری کفایت تحویل محاسبه شده برای وضعیت موجود و بدون اعمال بهره‌برداری مخزن (S_{N1}) به‌ترتیب مقادیر ۰/٥٤ و ۹/۱۷ بدست آمده، بامقایسه مقادیر متناظر در شرایط اعمال بهره‌برداری مخزن (S_{P1}) که برابر ۰/۹۹ و ۲/٦۰ می‌باشند، حاکی از بهبود قابل توجه این شاخص‌ها برای آبگیر نیروگاه می‌باشد. همچنین برای مجموعه کل سیستم نیز بهبود شاخص‌های کفایت و پایداری تحویل با اعمال بهره‌برداری مخزن دیده می‌شود.

حالت دوم: کاهش ناگهانی

در این حالت آثار کاهش ناگهانی جریان در سراب کانال حدوداً پس از ۳۰ دقیقه به مخزن رسیده و حدوداً پس از ۳/۸ ساعت دبی ورودی به مخزن در ۳۰ متر مکعب بر ثانیه تثبیت شده است.

جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی مدیریت مخزن برای گزینه‌های بهره‌برداری (S_{N1}) تا (S_{P2})

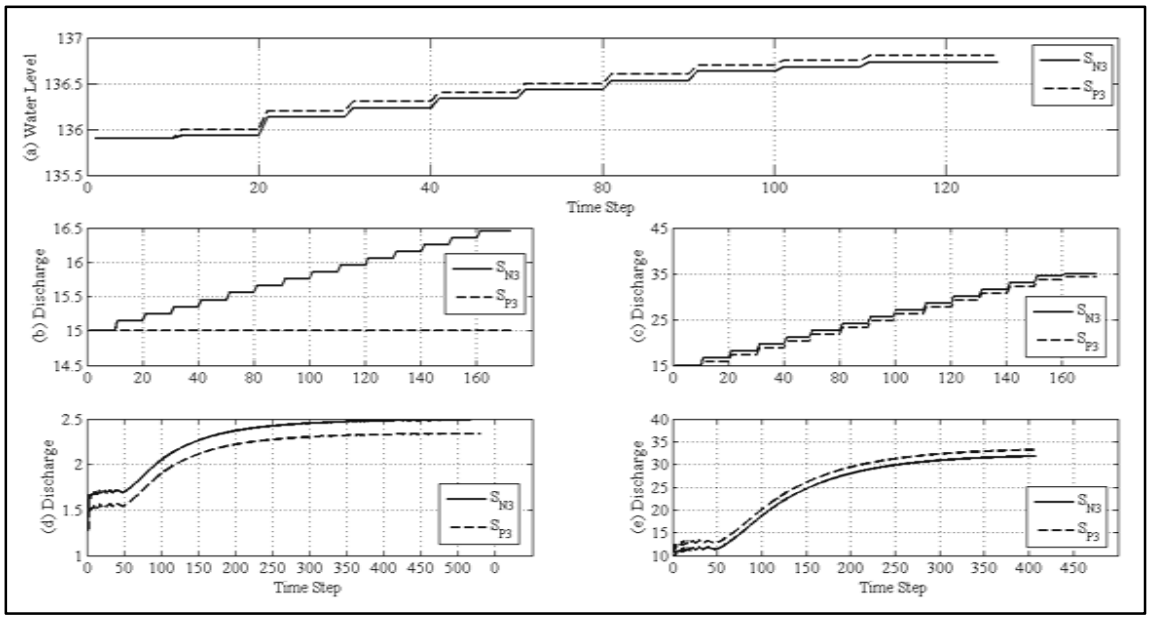
حالت‌های بهره‌برداری	کاهش تدریجی				کاهش ناگهانی			
شاخص‌ها ارزیابی عملکرد	کفایت تحویل		پایداری کفایت تحویل		کفایت تحویل		پایداری کفایت تحویل	
سازه‌های تحویل و تنظیم	S_{N1}	S_{P2}	S_{N1}	S_{P2}	S_{N2}	S_{P2}	S_{N2}	S_{P2}
آبگیر نیروگاه	۰/۵۴	۰/۹۹	۹/۱۷	۲/۶۰	۰/۵۴	۰/۹۹	۹/۱۷	۳/۴۲
آبگیر کانال خروجی	۰/۲۳	۰/۲۳	۱۳/۲۸	۱۳/۲۷	۰/۲۳	۰/۲۳	۱۳/۲۸	۱۳/۱۳
آبگیر جانبی کانال خروجی	۰/۵۸	۰/۵۸	۳۸/۳۰	۳۶/۰۱	۰/۵۸	۰/۵۸	۳۸/۳۰	۳۴/۷۸
آب‌بند انتهای کانال خروجی	۰/۶۶	۰/۶۸	۱۰۶/۵۱	۹۶/۷۶	۰/۶۶	۰/۶۸	۱۰۶/۵۱	۹۵/۵۴
کل کانال	/۵۰	۰/۶۲	۴۱/۸۱۵	۳۷/۱۶	/۵۰	۰/۶۲	۴۱/۸۱۵	۳۷/۱۶

نتایج گزینه بدون بهره‌برداری (S_{N2}) و با بهره‌برداری (S_{P2}) مخزن

نتایج شبیه‌سازی گزینه **(S_{N2})** نشان دادند که در مدت زمان ۲/۶ ساعت دبی کانال خروجی از مخزن به ۱۵ مترمکعب بر ثانیه رسید. این مدت زمان برای به پایداری رسیدن دبی ۱۲ مترمکعب بر ثانیه عبوری از آب‌بند خروجی برابر چهار ساعت می‌باشد. با اعمال مدیریت بهره‌برداری مخزن در گزینه **(S_{P2}) مدت** زمان به پایداری رسیدن جریان دبی کانال خروجی از مخزن به ۲/۳۵ ساعت و برای آب‌بند خروجی به ۳/۸۵ ساعت تقلیل یافته است. مشابه نتایج حالت اول این بار نیز اعمال مدیریت مخزن زمان عکس‌العمل سیستم را کاهش داده است. مطابق جدول (۲) شاخص‌های کفایت محاسبه شده برای گزینه **(S_{N2})** مشابه شاخص‌های متناظر در گزینه **(S_{N1})** بدست آمده و بهبود بهره‌برداری با اعمال مدیریت مخزن را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال دبی تحویلی به کانال نیروگاه در حالت بهره‌برداری موجود حدود هفت متر مکعب بر ثانیه کمتر از حالت اعمال مدیریت بهره‌برداری مخزن بدست آمده است. مقایسه شاخص‌های پایداری کفایت تحویل محاسبه شده برای وضعیت بهره‌برداری موجود گزینه **(S_{N2})** با شرایط اعمال بهره‌برداری مخزن گزینه **(S_{P2})** بهبود این شاخص را در زمان مدیریت بهره‌برداری مخزن نشان می‌دهد.

حالت سوم: افزایش تدریجی

در این حالت دبی سراب کانال برای شرایط ماندگار ۳۰ متر مکعب بر ثانیه مدل شده و سپس به مدت زمان چهار ساعت افزایش یافته تا به ۵۰ متر مکعب بر ثانیه برسد. افزایش تدریجی دبی در سراب کانال که با ایجاد موج مثبت در کانال همراه است در گام‌های زمانی شبیه‌سازی به تدریج به دبی ورودی مخزن در کیلومتر ۳۳ رسیده و باعث افزایش تدریجی رقوم سطح مخزن پس از ۵۰ دقیقه از شروع تغییرات دبی در سراب کانال شده است. در این حالت دو گزینه بهره‌برداری **(S_{N3})** و **(S_{P3})** که به ترتیب شرایط با و بدون بهره‌برداری مخزن را نشان می‌دهند شبیه‌سازی شدند. نتایج شبیه‌سازی حالت سوم بهره‌برداری در شکل‌های (a-۵) تا (e-۵) به تصویر کشیده شده است. در این شکل‌ها نمودارهای خط پر مربوط به حالت بدون اعمال بهره‌برداری (N) و خط‌چین (P) مربوط به شرایط با اعمال بهره برداری مخزن می‌باشد.



شکل ۴- نتایج شبیه‌سازی حالت سوم بهره‌برداری. (۴-a) تغییرات سطح آب مخزن. (۴-b) تغییرات دبی آبگیر نیروگاه. (۴-c) تغییرات دبی کانال خروجی. (۴-d) تغییرات دبی آبگیر انتهای کانال. (۴-e) تغییرات دبی آب‌بند انتهای کانال خروجی

نتایج گزینه بدون بهره‌برداری (S_{N3}) و با بهره‌برداری (S_{P3}) مخزن

مطابق شاخص‌های ارزیابی عملکرد محاسبه شده در طول شبیه‌سازی، در شرایط افزایش جریان کمبود تحویل وجود نداشته و شاخص های کفایت همواره مطلوب بوده اند؛ اما راندمان تحویل آب که نشان‌دهنده میزان تلفات تحویل می‌باشد با اعمال مدیریت بهره‌برداری در گزینه بهره‌برداری (**SP3**) **برای** آبگیر نیروگاه از ۰/۵ در حالت بدون بهره‌برداری مخزن به ۰/۹۹ بهبود یافته است. همچنین پایداری راندمان تحویل نیز برای آبگیر نیروگاه در مقایسه با مورد مشابه در گزینه (S_{N3}) از ۲۰/۷۷ به ۰/۹۹ بهبود یافته است. آب‌بند انتهای کانال در حالت افزایش جریان ورودی عملکرد پایینی در زمینه پایداری راندمان تحویل نشان می‌دهد با این حال مقایسه دو گزینه بهره‌برداری نشان می‌دهد با اعمال مدیریت بهره‌برداری مخزن مقدار این شاخص بهبود یافته است. همچنین نتایج گزینه (S_{P3}) **حاکی** از بهبود پایداری کل سیستم کانال بوده که دلیل این امر نقش بهره‌برداری مخزن در کنترل نوسانات به وجود آمده در مخزن می‌باشد.

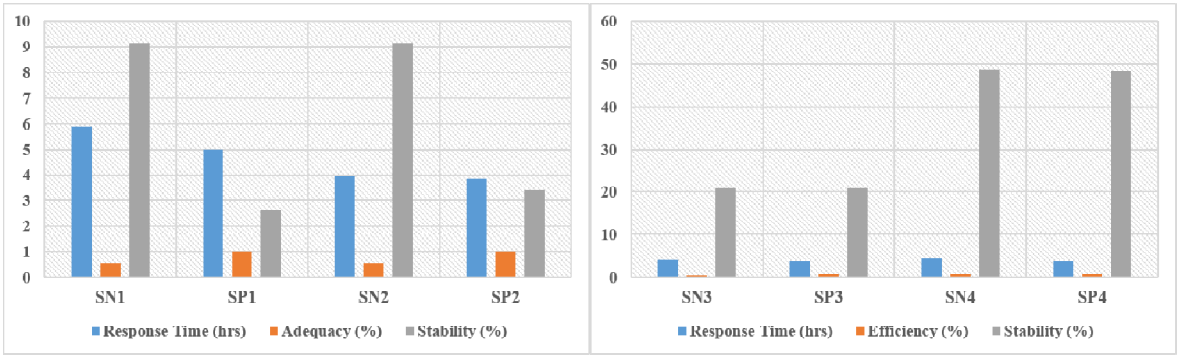
حالت چهارم: افزایش ناگهانی

در این حالت از شبیه‌سازی، دبی ورودی به صورت ناگهانی از ۳۰ به ۵۰ مترمکعب بر ثانیه افزایش یافت. نتایج شبیه‌سازی گزینه بهره‌برداری (S_{N4}) که شرایط موجود کانال مغان بدون بهره‌برداری مخزن را مدل می‌نماید، نشان داد که در مدت زمان ۲/٤ ساعت دبی کانال اصلی به ۳۵ متر مکعب بر ثانیه رسیده است. همچنین پس از گذشت مدت زمان ٤/۳۲ ساعت دبی آب بند در حدود ۳۲ متر مکعب بر ثانیه تثبیت شد. در حالی‌که با اعمال مدیریت مخزن در گزینه بهره‌برداری (S_{P4}) مدت زمان پایداری در کانال اصلی به ۲/۲ و در آب‌بند انتهایی به ۳/۸ کاهش می‌یابد؛ بنابراین با افزایش ناگهانی جریان از ۳۰ به ۵۰ مترمکعب بر ثانیه در سراب کانال در صورت بهره‌برداری مخزن زمان عکس‌العمل سیستم کاهش یافته است. به‌مانند حالت افزایش تدریجی، مقایسه شاخص‌های ارزیابی عملکرد این بار نیز بهبود بهره‌برداری کل سیستم با اعمال مدیریت مخزن را نشان می‌دهند. در این حالت نیز مانند حالت سوم، به دلیل

افزایشی بودن جریان از سراب کانال انتظار کمبود دریافت آب وجود نداشته و کفایت‌های تحویل در حد مطلوبی بدست آمده است؛ اما راندمان تحویل و نیز پایداری راندمان تحویل، با اعمال مدیریت بهره‌برداری مخزن برای کانال نیروگاه و کل سیستم بهبود یافته است. نتایج کلیه سناریوهای مورد بررسی تحقیق در شکل ۵ ارایه شده است.

جدول ۳- شاخص‌های ارزیابی مدیریت مخزن برای گزینه‌های بهره‌برداری (S_{N3}) تا (S_{P4})

حالت‌های بهره‌برداری	افزایش تدریجی				افزایش ناگهانی			
شاخص‌ها ارزیابی عملکرد	راندمان تحویل		پایداری راندمان تحویل		راندمان تحویل		پایداری راندمان تحویل	
سازه‌های تحویل و تنظیم	SN3	SP3	SN4	SP4	SN3	SP3	SN4	SP4
آبگیر نیروگاه	۰/۵۰	۰/۹۹	۲۰/۷۹	۰/۹۹	۰/۵۰	۰/۹۹	۲۰/۷۶	۰/۹۹
آبگیر کانال خروجی	۰/۴۵	۰/۴۵	۱/۲۱	۱/۲۱	۰/۴۵	۰/۴۵	۱/۲۱	۱/۲۱
آبگیر جانبی کانال خروجی	۱	۱	۵۳/۶۸	۵۳/۰۸	۱	۱	۵۶/۷۶	۵۲/۲۵
آب‌بند انتهای کانال خروجی	۰/۵۱	۰/۵۲	۱۱۹/۱۴	۱۱۷/۹۳	۱	۰/۵۲	۱۱۸/۱۱	۱۱۶/۲۸
کل کانال	۰/۶۱۵	۰/۷۴	۴۸/۷۰۵	۴۳/۳۰	۰/۷۳۷	۰/۷۴	۴۸/۴۴	۴۳/۳۰



شکل ۵- نتایج کلی تمامی سناریوهای افزایشی و کاهشی در شرایط بهره‌برداری بدون مخزن و با مخزن

نتیجه‌گیری

این تحقیق به بررسی نقش مدیریت بهره‌برداری مخزن در بهبود بهره‌برداری شبکه آبیاری مغان پرداخت. مدل ریاضی مخزن دریاچه شهرک و نیز سیستم کانال‌های ورودی و خروجی آن در محیط شبیه‌ساز هیدرودینامیک ICSS تهیه شدند. در مجموع هشت گزینه بهره‌برداری که شرایط تغییرات تدریجی و ناگهانی کاهش و افزایش دبی ورودی از سراب کانال را نشان می‌دهند، در دو حالت با و بدون بهره‌برداری مخزن برای آزمون کارائی مدل تهیه شده مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج بررسی شاخص‌های ارزیابی عملکرد، برای حالت‌های جریان ورودی کاهشی و افزایشی به صورت ناگهانی و تدریجی به مخزن، به علت فاصله زیاد سراب کانال از مخزن و همچنین فاصله زیاد آب‌بند کانال اصلی از مخزن با هم تفاوت چندانی نداشتند. همچنین نتایج حاکی از بهبود شاخص‌های کفایت و پایداری کفایت تحویل در گزینه‌های بهره‌برداری با جریان ورودی کاهشی تدریجی و ناگهانی با اعمال مدیریت مخزن بودند. در گزینه‌های جریان ورودی افزایشی تدریجی و ناگهانی با اعمال مدیریت مخزن راندمان تحویل و پایداری راندمان تحویل بهبود یافتند. بهبود عملکرد سیستم از لحاظ عکس‌العمل بهره‌برداری نتیجه

دیگری بود که با اعمال مدیریت مخزن در بهره‌برداری کانال بدست آمد.

فهرست منابع

۱. اسلامبولچی‌زاده، ه. ۱۳۸۵. ارزیابی و بهبود مدیریت مخزن در بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس، ۱٤۰ صفحه.

۲. هاشمی، س. م.؛ منعم، م. ج و فان اورلوپ، پ. ج. ۱۳۹۱. بهبود بهره‌برداری کانال اصلی آبیاری با استفاده از استراتژی ذخیره درون مسیری به کمک سامانه کنترل خودکار هوشمند پیش‌بین (MPC). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ٤ (٦): ۳٤۲-۳٥۲.

3. Bhadra, A., Bandyopadhyay, A., and Raghuwanshi, N. S. 2009. Integrated reservoir-based canal irrigation model, i: description. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 135(2):149-57.
4. Clemmens, A. J. 2012. Water-level difference controller for main canals. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 138(1):1-8.
5. Guan, G., Clemmens, A.J., Kacerek, T.F., and Wahlin, B.T.2012. Applying water-level difference control to central arizona project. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 137:747-753.
6. Hashemy, S. M., Monem, M. J., Maestre, M., and Van Overloop, P. J. 2013. Application of an in-line storage strategy to improve the operational performance of main irrigation canals using model predictive control. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 139(8):635-644.
7. Manz, D. H., and Schaalje, M. A. 1992. Development of application of the irrigation conveyance system simulation model, International Seminar on the Application of the Irrigation Mathematical Modeling for the Improvement of Irrigation Canal Operation, January 1992, Montpellier, France.
8. Molden, D., and Gates, T. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 116(10):804-823.
9. Schuurmans, W., Brouwer, R., and Wonink, P. 1992. Identification ofcontrol system for canal with night storage. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 118(3):124-130.
10. Van Overloop, P. J. 2006. Drainage control in water management of polders in the Netherlands. Irrigation and Drainage Systems, 20:99-109.
11. Volkan, F., and Voron, B. 1992.Improvement of the regulation techniques in Turkey. P. 67-79. InThe Example of the Harran Main Canal. Proc. of Conf., The application of Mathematical Modelling for the Improvement of Irrigation Canal Operation Montpellier, France. 17-21 Oct. 1992., Montpellier, France.