

مقاله پژوهشی

ارزیابی عملکرد سناریوهای مختلف مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی

دریا دهقان^۱، سامان نیک‌مه‌ر^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: S.nikmehr@uok.ac.ir

چکیده

امروزه شبکه‌های آبیاری مصرف‌کننده عمده آب در بخش کشاورزی هستند. از طرفی، عواملی همچون افزایش جمعیت، تغییر اقلیم و عدم تناسب روش‌های توزیع آب با شرایط کم‌آبی، تأثیرات منفی بر مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری داشته است. تحقیق حاضر با هدف بررسی و تعیین گزینه‌های مناسب مدیریت تحویل و توزیع آب در شبکه آبیاری و زهکشی گاوشان واقع در جنوب استان کردستان، با استفاده از مدل هیدرودینامیکی SOBEK و مبتنی بر شاخص‌های مولدن-گیتس انجام شد. کانال اصلی شبکه، ۲۸۵۴ (ha) از اراضی با نه تعاونی روستایی را تحت پوشش قرار می‌دهد. در مجموع ۱۴ بازه آبیگری در طول مسیر در نظر گرفته شد. سه دوره بهره‌برداری در قالب چهار سناریوی بهره‌برداری بر اساس شاخص‌های ارزیابی کفایت، راندمان و اعتمادپذیری توزیع مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد، در شرایط تطابق الگوی بهره‌برداری و دبی طراحی مطابق با مشخصات فنی کانال، شاخص‌های ارزیابی مطلوب بودند. شاخص کفایت توزیع در حالت بهره‌برداری مبتنی بر دبی طراحی، در ۳۴/۸٪ آبیگرها بیشینه مقدار خود را داشت. این در حالی است که برای حالت بهره‌برداری بر اساس وضعیت موجود، این تعداد، به ۴/۳٪ تقلیل یافت. با این وجود، در شرایط موجود شبکه که مشخصات فنی آن تکمیل نگردیده و الگوی بهره‌برداری و دبی ورودی به کانال با دبی طراحی مطابقتی ندارد، پایین‌ترین مقادیر برای شاخص‌های بهره‌برداری به دست آمد. برداشت‌های غیرمجاز از کانال اثر مستقیم و نامطلوبی روی شاخص‌های بهره‌برداری گذاشته است، لذا متوقف کردن برداشت‌های غیرمجاز از کانال به منظور ارتقای کیفیت توزیع و گردش آب در شبکه امری ضروری شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: اعتمادپذیری، راندمان توزیع، شبکه آبیاری و زهکشی، کفایت، مدیریت بهره‌برداری.

Evaluating the Performance of Different Scenarios of Water Distribution Management in Irrigation and Drainage Networks

Darya Dehghan¹, Saman Nikmehr^{2*}

Received: August 9, 2021

Accepted: November 6, 2021

1-Former M. Sc. Student, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

2-Assist. Prof., Dept. of Water Science and Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

* Corresponding author, E-mail: S.nikmehr@uok.ac.ir

Abstract

Background and Objectives

Population growth, increasing competition in various sectors of water consumption (industry, drinking, and agriculture), and limited water resources require for proper management and optimal use of water resources. Irrigation and drainage networks play an important role in the economic development of the region and the main factors of their structure change during the operation period. Therefore a single management program over time, can not meet the needs of the operation and reduces the efficiency of networks compared to the expected performance at the time of design. Poor performance of irrigation networks and their effect on reducing water productivity in the agricultural sector has necessitated the need to provide effective methods for the proper operation of irrigation networks. What has not regained its proper importance and status is the operation of networks in a scientific manner and under the principles of the original plan and to increase the productivity of the water consumption unit. Low irrigation efficiency reducing the useful life of irrigation facilities, increasing the costs of managing the operation and maintenance of irrigation networks, and increasing the government's financial losses are among the common problems of irrigation networks in Iran. Conventional design and operation of irrigation networks due to the lack of tools to comply with the rules of operation with the changing needs of water time, causes significant losses in the networks. The present study was conducted to examine and determine appropriate options for managing the delivery and distribution of water in terms of space in the network.

Methodology

A part of the irrigation and drainage network of Gavoshan, in the south of Kurdistan province was considered. The main channel of the network covers 2854 ha of downstream lands, which includes 9 rural cooperatives. A total of 14 intakes ranges were considered along the route, including two inverted siphons at the beginning of the network, 13 duckbill weir, and 23 intakes (18 farm intakes and five main and grade two intakes). four different operation periods were considered. four operation scenarios were studied based on the evaluation indices of distribution adequacy, efficiency, and reliability. To perform simulations and evaluate the performance of the main network from the perspective of operation in this study, the hydrodynamic model SOBEK, Ver. 2.12.002 was used.

Findings

According to the results obtained from the studied indicators for the S1 operation scenario (designed based on discharge at peak consumption), the average values of the adequacy, efficiency, and reliability indices were obtained 0.80, 0.96, and 0.24, respectively. In the second scenario, the average adequacy, efficiency, and reliability indicators were 0.71, 0.84, and 0.34, respectively. Accordingly, it can be concluded that for the S2 operation scenario, the distribution efficiency index for the main network was moderate and the distribution of water throughout the network based on the above index was relatively acceptable. However, the performance of the main network in water distribution based on adequacy and reliability indicators has been very poor and unfavorable, so that most of the cooperatives in the main network, have received water unequally and unfairly. According to the obtained results for the S3 operation scenario, the average values of the total indicators of adequacy, efficiency, and reliability were estimated to be 0.62, 0.71, and 0.46, respectively.

Unauthorized withdrawals along the main channel were also one of the factors aggravating the decrease in evaluation indicators in different scenarios.

Conclusion

The results showed that the technical specifications and design of the channel are closely related to the design discharge of the channel as well as the pattern of channel operation. So that during the design, the channel should be designed based on the design discharge of the entrance to the channel, as well as the operating pattern appropriate to it. In this case, the evaluation indicators used were favorable. However, in the current conditions of the network, the technical specifications of which have not been completed and the pattern of operation and discharge of the channel do not comply with it, the lowest values were obtained for the evaluation indicators. Therefore, to improve the quality of water distribution in the network and increase the operation indicators, the technical specifications of the network should be completed and water intake should not be taken in its current form.

In the current operation of the network, in addition to the problem of how to draw water from the channel and also the inflow of much less than the discharge of the channel design, unauthorized withdrawals from the canal have caused several problems of operation. In such a way that it has a direct effect on each operation indicators and minimizes them. Therefore, stopping unauthorized withdrawals from the channel in order to improve the quality of water distribution in the network is essential. It is also very important and necessary to create a mechanism to control the discharge of cooperatives located in the upstream part of the network in order to increase the indicators of adequacy and justice in the whole network.

Keywords: Reliability, Distribution efficiency, Irrigation and drainage network, Adequacy, Operation management.

مقدمه

مثال می‌توان به تغییر در الگوی کشت، افزایش جمعیت و خرد شدن اراضی، کاهش ذخیره مفید مخزن سد، رسوب‌گذاری در کانال‌ها و کاهش ظرفیت انتقال آن‌ها، فرسودگی و تخریب کانال‌ها و سازه‌های هیدرولیکی، برداشت غیراصولی و کنترل‌نشده کشاورزان از شبکه، افزایش اراضی زیر کشت به دلیل تغییر کاربری اراضی، تأمین نشدن دبی طراحی و کمبود آب در برخی از بازه‌های زمانی و افزایش نیازهای آبی و همچنین تغییرات در ساختار مدیریت و بهره‌برداری اشاره کرد. استفاده از شبکه‌های مدرن آبیاری و زهکشی به‌عنوان یکی از راه‌های استفاده بهینه از منابع محدود آب و خاک تلقی می‌گردند. طبق بررسی‌های صورت‌گرفته عملکرد شبکه‌های آبیاری کمتر از مقدار پیش‌بینی‌شده در طرح‌های اولیه است. مطالعات و

رشد روزافزون جمعیت، افزایش رقابت در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب (صنعت، شرب و کشاورزی) و محدودیت منابع آب، ضرورت مدیریت مناسب و استفاده بهینه از منابع آب را ایجاب می‌کند. از طرف دیگر توجه به مسئله کمبود آب و وقوع خشکسالی‌ها، کاهش بارندگی‌ها و نزولات جوی، توزیع بارندگی‌ها در فصول غیر زراعی و لزوم بهره‌برداری بهینه از منابع محدود آب، اعمال شیوه‌های مدیریتی مناسب در توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری را بیش از گذشته حائز اهمیت کرده است تا بین منابع آب در دسترس و نیازهای موجود تعادل ایجاد شده و حداکثر بهره اقتصادی و رضایتمندی اجتماعی را به همراه داشته باشد. شبکه‌های آبیاری و زهکشی نقش مهمی را در توسعه اقتصادی منطقه به عهده دارند. با این وجود، عوامل اصلی ساختار این شبکه‌ها در طول دوره بهره‌برداری دستخوش تغییرات می‌شود؛ به‌طوری‌که یک برنامه مدیریتی واحد در طول زمان، نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای بهره‌برداری باشد. به‌عنوان

حقیقات اداره عمران اراضی آمریکا (USBR¹) نشان می‌دهد که راندمان متوسط شبکه‌های آبیاری در آمریکا ۴۴ درصد بوده است و بیش از یک سوم این پروژه‌ها راندمانی کمتر از ۳۰ درصد داشته‌اند. (بارت ۱۹۹۸) فقدان اطلاعات صحیح، عدم دقت کافی در اجرای تنظیمات سازه‌ای، کنش و تأثیرات هیدرولیکی متقابل سازه‌ها و اختلاف مابین مقادیر هدف و واقعی متغیرهای مدیریتی از جمله مهم‌ترین عواملی هستند که عملکرد سامانه‌های انتقال و توزیع را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند (منتظر و همکاران ۲۰۰۷). از این‌رو، تحقیق در نحوه مدیریت بهره‌برداری و تعیین روش‌ها و ابزار کنترل مناسب در شبکه‌ها، امری ضروری است که با به خدمت گرفتن مدل‌های هیدرودینامیک، طراحی و اجرای سامانه‌های کنترل و شیوه‌های بهینه‌سازی مناسب انجام‌پذیر است. در این راستا، مطالعات گسترده‌ای تاکنون توسط محققین مختلف انجام شده است. کسب دوز و همکاران (۱۹۹۸) با بهره‌گیری از مدل ICSS-POM در شبکه آبیاری قوری‌چای، بهینه‌سازی برنامه توزیع را مورد بررسی قرار داده و روش بهره‌برداری جریان مداوم با دبی متغیر را به‌عنوان گزینه برتر ارائه کردند. میشران و همکاران (۲۰۰۱) به‌منظور بهبود بهره‌برداری و مدیریت شبکه آبیاری کانگ‌ساباتی^۲ در غرب هند از مدل هیدرولیکی Mike11 استفاده کردند. آن‌ها از یک نسبت کارایی (نسبت دبی مشاهداتی به دبی برنامه‌ریزی شده) به‌عنوان شاخص ارزیابی درجه یکنواختی در انتقال جریان استفاده نمودند. نتایج نشان داد، نسبت فوق در طول کانال یک اُفت سریع دارد که نشان‌دهنده استفاده بیش‌ازحد آب در آبگیرهای بالادست است.

محسنی موحد و منعم (۲۰۰۳) مدل ICSSDOM را جهت ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری مورد استفاده قرار دادند. در این مدل برای اولین بار از روش بهینه‌سازی SA که یک روش

عددی با ساختار تصادفی هوشمند است در ترکیب با مدل هیدرودینامیک ICSS استفاده گردید. به‌منظور آزمون و ارزیابی مدل تهیه‌شده از داده‌های واقعی یک کانال توزیع‌کننده از شبکه آبیاری دز استفاده شده و برای اعتبارسنجی نتایج مدل، علاوه بر مقایسه با وضع موجود از روش‌های ریاضی نیز استفاده به عمل آمد. نتایج نشان داد مدل موردنظر قادر است پاسخ‌های متغیری را با صحت و دقت کافی در زمان نسبتاً کوتاهی ارائه نماید. نجیم و همکاران (۲۰۰۴) مدل هیدرولیکی Canalman را به منظور مدیریت آب در کانال‌های انتقال آب شالیزار بسرانگ پراگ در هند به کار بردند. تحقیق ایشان نشان داد، مدل با دقت خوبی قادر به شبیه‌سازی گزینه‌های مختلف بهره‌برداری کانال‌های درجه یک و دو است. منعم و همکاران (۲۰۰۷) برنامه‌ریزی بهینه تحویل آب در کانال‌های آبیاری را با استفاده از الگوریتم ژنتیک در تحقیقی مورد مطالعه و بررسی قرار داد. در تحقیق مذکور، روش بهینه‌سازی SA³ مورد استفاده قرار گرفته و در آن حل مسائل توزیع آب در کانال‌های آبیاری به‌صورت چند هدفی بوده و اهداف متفاوت را به‌صورت هم‌زمان مدنظر قرار داده است. محمدی و همکاران (۲۰۱۷) عملکرد فنی و وضعیت بهره‌برداری سازه‌های تنظیم و کنترل جریان در شبکه آبیاری ورامین را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که دریچه‌های نیرپیک در محدوده ۸-٪ الی ۸۳٪ خطا در آبدی داشته و به‌طور متوسط ۲۲٪ بیش‌تر از مقدار موردنظر بهره‌بردار، آب را به پایین‌دست انتقال می‌دهند. آن‌ها تنظیم نامناسب سطح آب، انباشت رسوب و فرار آب از جناحین دریچه‌ها را از دلایل اصلی این اختلاف دبی ذکر کردند. کانونی و عابدی (۲۰۱۸) عملکرد زمانی و مکانی شبکه آبیاری یامچی در استان اردبیل را بر اساس شاخص‌های مختلف از جمله تأمین نسبی منابع آب، تأمین نسبی آب آبیاری، نسبت حجم آب تحویلی و نسبت رطوبت قابل

³ Simulated Annealing

¹ The United States Bureau of Reclamation

² Kangsabati

خیابانی و همکاران (۲۰۱۹) ارزیابی عملکرد تحویل و توزیع آب و دیدگاه اقتصاد مهندسی، طبق شاخص‌های نسبت درآمد به هزینه و سود نهایی طی دوره‌های بلند و کوتاه مدت را در کانال رود شت مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که حداکثر سود در سناریوی نرمال و در دوره‌های کوتاه پنج و بلندمدت ده ساله برای راهکار غیرسازه‌ای افزایش دبی و کاهش زمان آبیاری به دست آمد.

آنچه اهمیت و جایگاه شایسته خود را باز نیافته است، بهره‌برداری از شبکه‌ها به صورت علمی و مطابق با مبانی طرح اولیه و با هدف افزایش بهره‌وری واحد آب مصرفی است. پایین بودن راندمان آبیاری و اتلاف زیاد آب کشاورزی، کاهش عمر مفید تأسیسات آبیاری، افزایش هزینه‌های مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و اصولاً بی‌توجهی به این مهم، و افزایش زیان‌های مالی دولت از جمله مشکلات طراحی متداول شبکه آبیاری در ایران است. طراحی و بهره‌برداری متداول شبکه‌های آبیاری به دلیل عدم وجود ابزارهای تطبیق قوانین بهره‌برداری با نیازهای متغیر زمانی آب، تلفات قابل ملاحظه‌ای را در شبکه‌ها به وجود می‌آورد. از این‌رو تحقیق در نحوه مدیریت بهره‌برداری و تعیین روش‌ها و ابزار کنترل مناسب در شبکه‌ها، امری ضروری است. یکی از ضعف‌های موجود در طراحی شبکه‌های آبیاری در حال حاضر، عدم ارائه الگوی بهره‌برداری و توزیع مناسب آب از سوی مشاوران است و در واقع مهم‌ترین قسمت طرح که ضامن به هدف رسیدن طرح است نادیده گرفته می‌شود. لذا توجه هر چه بیشتر به روش‌های مدیریتی جهت تحویل و توزیع آب، متناسب با نیازها و شرایط فیزیکی و هیدرولیکی موجود در شبکه، یافتن راه‌حل بهینه (یا سناریوهای بهینه) از بین روش‌های موجود برای آبیاری اراضی، و ارزیابی همه جانبه این راه‌حل، برای تداوم بهره‌برداری از شبکه، رضایت آب‌بران و حل مشکلاتی

دسترس مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که در سال‌های آخر بهره‌برداری، بخش وسیعی از اراضی دچار خشکی شدید بوده و سطح زمین‌های با تأمین کامل نیاز آبی کاهش یافته است. خان و گامن (۲۰۰۸) مدل هیدرودینامیکی یک بُعدی Canahman را جهت

ارزیابی صرفه‌جویی آب در یک کانال درجه ۲ در سامانه آبیاری SWAT در شمال غرب پاکستان مورد استفاده قرار دادند. گزینه‌های مختلف قطع شبانه جریان شامل بهره‌برداری از کانال در ۸۰، ۱۰۰ و ۷۰ درصد عرضه کانال شبیه‌سازی شد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که گزینه بهره‌برداری شش ساعته در روز و بستن کانال در شب بهترین گزینه است. اگرچه گزینه‌های بهره‌برداری کانال در دبی‌های پایین نیازمند ساعت‌های آبیاری شبانه بودند و از این‌رو توصیه نشدند، اما این گزینه‌ها می‌توانند صرفه‌جویی آب را به همراه داشته باشند. هاشمی و ون اورلوپ (۲۰۱۳) به بررسی سیستم کنترلی غیر متمرکز روی کانال اصلی دز برای مدیریت در شرایط کم‌آبی با استفاده از مدل هیدرولیکی SOBEK پرداختند. نتایج نشان داد سیستم کنترلی قادر به توزیع عادلانه آب در شرایط کم‌آبی است. عبدالموتی (۲۰۱۳) با استفاده از مدل SOBEK کانال ابراهیمیا را در شبکه گیزای مصر مورد ارزیابی قرار داد و با آنالیز پارامترهای هیدرولیکی، راهکارهای سازه‌ای را برای ارتقای راندمان کانال پیشنهاد نمود. نام و همکاران (۲۰۱۶) شرایط موجود در توزیع زمانی و مکانی آب در شبکه ای در جنوب کره را با استفاده از شاخص‌های بهره‌برداری مورد ارزیابی قرار دادند. با توجه به نتایج شاخص‌های بهره‌برداری مشخص شد که می‌توان با تغییر مدیریت در شبکه، طرح‌های توسعه‌ای در جهت منافع کشاورزی و اقتصادی را انجام داد. ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS شرایط مختلف بهره‌برداری را بروی کانال عقیلی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سناریوهای اول و چهارم بیشترین بهره‌وری آب را داشته است. یلتقیان

که به طور مداوم در طول زمان ایجاد می‌شوند، ضروری است.

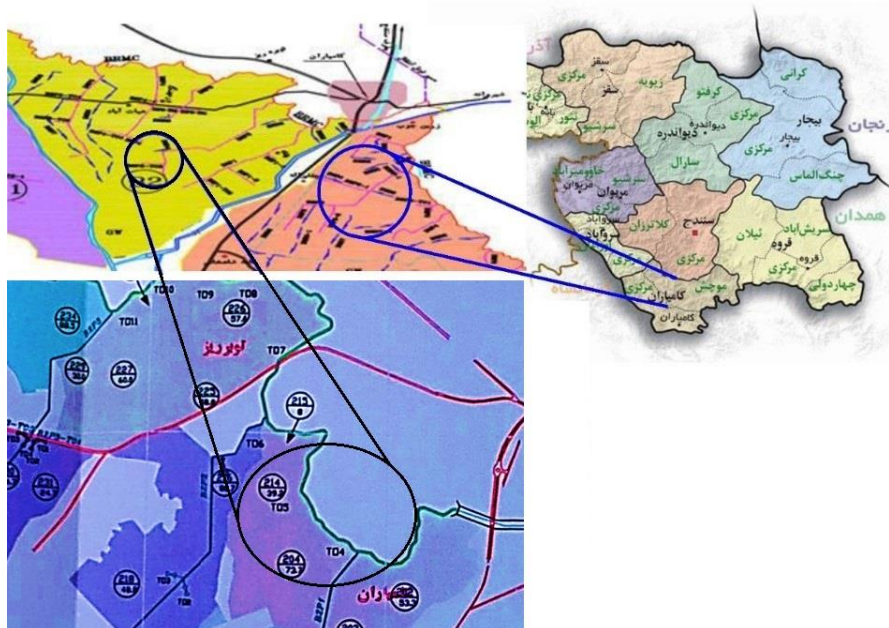
هدف اصلی تحقیق حاضر، بررسی و تعیین گزینه‌های مناسب مدیریت تحویل و توزیع آب به لحاظ مکانی و زمانی در شبکه، ارائه نقشه‌های زمانی و مکانی برای مدیریت توزیع آب در شبکه، تعیین نقاط بحرانی شبکه از منظر نگهداری و تعمیرات و تبیین گزینه‌های مقابله با کم‌آبی خواهد بود. به عبارت بهتر، با توجه به شرایط فیزیکی و هیدرولیکی شبکه در حال حاضر و نیازهای آبیگرها و میزان دبی در دسترس، تحویل و توزیع آب را بایستی به‌گونه‌ای انجام داد که بتوان از منابع موجود حداکثر بهره اقتصادی و رضایتمندی اجتماعی را کسب نمود و به بهترین گزینه مدیریت توزیع نزدیک شد که در آن شاخص‌های توزیع به مقادیر پتانسیل نزدیکتر شوند. در پژوهش حاضر، با استفاده از مدل هیدرودینامیک SOBEK جریان هیدرولیکی در کانال اصلی شبکه گاوشان مدل‌سازی شد. در سه دوره بهره‌برداری و چهار سناریوی تعریف شده، هر یک از سناریوها با استفاده از شاخص‌های کفایت، راندمان و

اعتمادپذیری توزیع، به منظور ارزیابی مدیریت توزیع آب بررسی شدند.

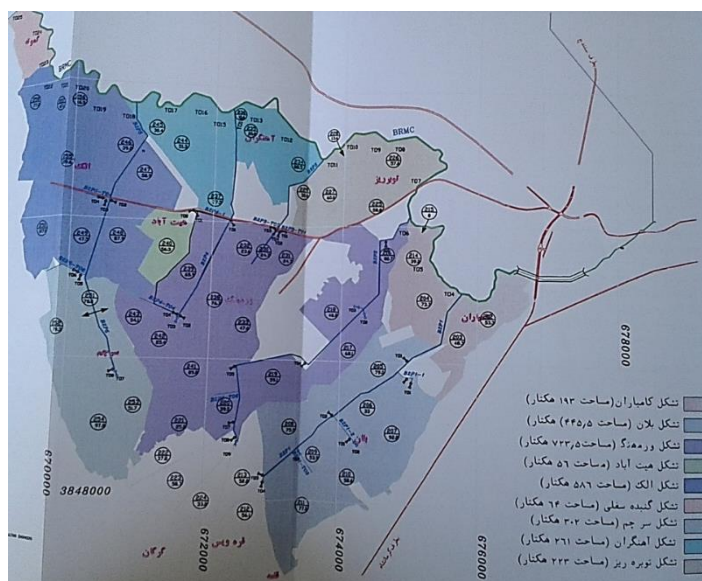
مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر بر روی کانال اصلی BRMC، واقع در ناحیه عمرانی B2 از دشت بیلوار کامپاران، در جنوب استان کردستان صورت پذیرفته است. منبع تأمین آب پروژه از رودخانه گاوه‌رود که یکی از شاخه‌های رودخانه سیروان می‌باشد، تأمین می‌شود؛ به طوری که با ذخیره‌سازی آب این رودخانه در سد مخزنی گاوشان و سپس انتقال آن از طریق سازه انتهایی تونل گاوشان به منظور آبیاری دشت بیلوار، وارد کانال BRMC می‌شود. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. کانال اصلی BRMC، اراضی پایین‌دست شبکه به وسعت ۲۸۵۴ (ha) را تحت پوشش قرار می‌دهد به طوری که این اراضی شامل نه‌تکه و تعاونی روستایی بوده که مشخصات آن‌ها در شکل ۲ و جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- سیما و موقعیت شبکه گاوشان واحد عمرانی B2، کانال اصلی BRMC.



شکل ۲- موقعیت تشکل و تعاونی‌های واقع در ناحیه عمرانی B2.

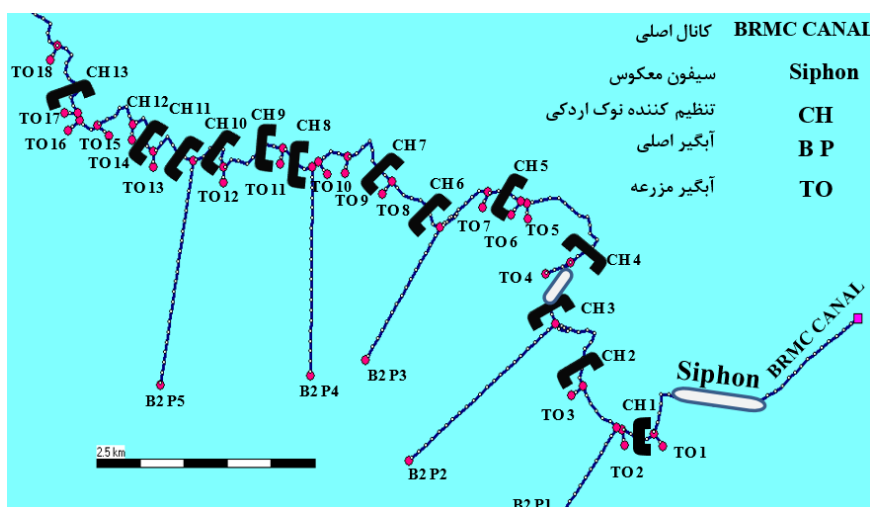
جدول ۱- وسعت تعاونی‌های واقع در بخش پایین دست کانال BRMC.

نام تعاونی	توبره ریز	آهنگران	سرجم	گنده	الک	هیئت آباد	ورمهنک	بلان	کامیاران
مساحت (ha)	۲۲۳	۲۶۱	۳۰۲	۶۴	۵۸۶	۵۶	۷۲۳	۴۴۶	۱۹۳

مشخصات کانال اصلی شبکه

کانال اصلی شبکه با مقطع دوزنقه‌ای، با دبی m^3s^{-1} و به طول $16/67$ (km) در نظر گرفته شده است. در مجموع ۱۴ بازه آبیگری در طول مسیر وجود دارد که در هر بازه، سازه‌های هیدرولیکی مختلفی قرار گرفته‌اند که شامل دو سیفون معکوس در بخش ابتدایی

شبکه، ۱۳ تنظیم‌کننده نوک اردکی در طول کانال و ۲۳ دهانه آبیگر (۱۸ آبیگر مزرعه و ۵ آبیگر اصلی و درجه ۲) می‌باشد. موقعیت و مشخصات فنی کانال و سازه‌های مربوطه به ترتیب در شکل ۳ و جدول ۲ ارائه شده است. همچنین تعداد و نام آبیگرهای هر تعاونی در جدول ۳ ذکر شده است.



شکل ۳- جانمایی شبکه و اجزای مختلف آن در کانال اصلی BRMC.

جدول ۲- جزئیات و مشخصات فنی کانال اصلی و سازه‌های وابسته.

بازه آبگیری	طول (m)	عرض کف (m)	سازه تنظیم و آبگیر	نوع تنظیم‌کننده و دریچه آبگیر
بازه ۱	۳۰۷۷	۲	CH 1 TO 1	نوک اردکی XX2-90 (آبگیر مزرعه)
بازه ۲	۱۱۲۱	۲	CH 2 TO 2 B2 P1 TO 3	نوک اردکی XX2-120 (آبگیر مزرعه) XX2-180 (آبگیر درجه ۲) XX2-60 (آبگیر مزرعه)
بازه ۳	۱۱۹۸	۲	CH 3 B2 P2	نوک اردکی کشویی (آبگیر درجه ۲)
بازه ۴	۸۵۸	۲	CH 4 TO 4	نوک اردکی XX2-120 (آبگیر مزرعه)
بازه ۵	۱۴۰۲	۲	CH 5 TO 5 TO 6	نوک اردکی XX2-120 (آبگیر مزرعه) XX2-120 (آبگیر مزرعه)
بازه ۶	۱۱۷۸	۱/۸	CH 6 TO 7 B2 P3	نوک اردکی کشویی (آبگیر مزرعه) XX2-120 (آبگیر درجه ۲)
بازه ۷	۸۶۷	۱/۶	CH 7 TO 8	نوک اردکی XX2-150 (آبگیر مزرعه)
بازه ۸	۱۴۶۹	۱/۶	CH 8 TO 9 TO 10 B2 P4	نوک اردکی کشویی (آبگیر مزرعه) XX2-160 (آبگیر مزرعه) XX2-150 (آبگیر درجه ۲)
بازه ۹	۸۰۱	۱/۶	CH 9 TO 11	نوک اردکی XX2-60 (آبگیر مزرعه)
بازه ۱۰	۶۲۳	۱/۴	CH 10 TO 12	نوک اردکی XX2-120 (آبگیر مزرعه)
بازه ۱۱	۵۳۳	۱/۴	CH 11 B2 P5	نوک اردکی XX2-210 (آبگیر درجه ۲)
بازه ۱۲	۶۵۹	۱/۲	CH 12 TO 13	نوک اردکی کشویی (آبگیر مزرعه)
بازه ۱۳	۱۲۱۲	۱/۲	CH 13 TO 14 TO 15 TO 16 TO 17	نوک اردکی XX2-90 (آبگیر مزرعه) XX2-90 (آبگیر مزرعه) XX2-60 (آبگیر مزرعه)
بازه ۱۴	۱۶۸۵	۱/۲	TO 18	کشویی (آبگیر مزرعه)

جدول ۳- تعداد و نام آبیگرهای هر تعاونی در طول کانال اصلی BRMC.

گنبد	سرچم	الک	آهنگران	توبره ریز	هیئت آباد	ورمهنگ	بلان	کامیاران	نام تعاونی
		TO 14	TO 10	TO 5				TO 1	
		TO 15	TO 11	TO 6		B2 P2		TO 2	
	B2 P5	TO 16	TO 12	TO 7	B2 P4	B2 P3	B2P1	TO 3	شماره آبیگر
		TO 17	TO 13	TO 8		B2 P4		TO 4	
		B2 P5		TO 9					

دوره های بهره برداری در شبکه اصلی

به منظور بررسی تمامی شرایط حاکم بر شبکه و دستیابی به بهترین سناریوی بهره برداری و الگوی مدیریتی، دوره های بهره برداری متعددی مورد ارزیابی قرار گرفتند که می توان به صورت زیر تشریح نمود:

دوره بهره برداری اول (D₁) (دبی طراحی کانال)

این دوره بهره برداری مبتنی بر دبی طراحی کانال اصلی ($4/6 \text{ (m}^3\text{s}^{-1})$) در نظر گرفته شد. هیدروگراف ورودی به کانال BRMC بر اساس نیاز آبی خالص و به ازای ۴ ماه دوره اوج مصرف در دوره بهره برداری از کانال، محاسبه گردید (شکل ۴- الف). شایان ذکر است که هیدروگراف مربوطه برای هر دو واحد عمرانی B1 و B2 وارد کانال اصلی می گردد که نهایتاً به ازای هر ماه ذکر شده بخشی از دبی به ترتیب برابر با $1/6$ ، $1/4$ ، $1/3$ و $1/1 \text{ (m}^3\text{s}^{-1})$ ، به عنوان حق آبه، به ناحیه عمرانی B1 واقع در انتهای شبکه، رهاسازی می گردد. در این نظام بهره برداری، تمام آبیگرهای واقع در کانال اصلی واحد عمرانی B2، به صورت همزمان، با یکدیگر و دائمی آبیگری می نمایند.

دوره بهره برداری دوم (D₂) (دبی اصلاح شده کانال)

پس از طراحی کانال اصلی در سال ۱۳۷۲ مبتنی بر دبی $4/6 \text{ (m}^3\text{s}^{-1})$ در سال ۱۳۸۲ به دلیل محدودیت تأمین آب شبکه توسط سد گاوشان، نیاز خالص آبی اراضی پایاب کانال اصلی مورد بازبینی قرار گرفته و باعث کاهش وسعت اراضی مذکور نسبت به دوره قبلی شد. در شکل ۴- ب هیدروگراف اصلاح شده برای دوره

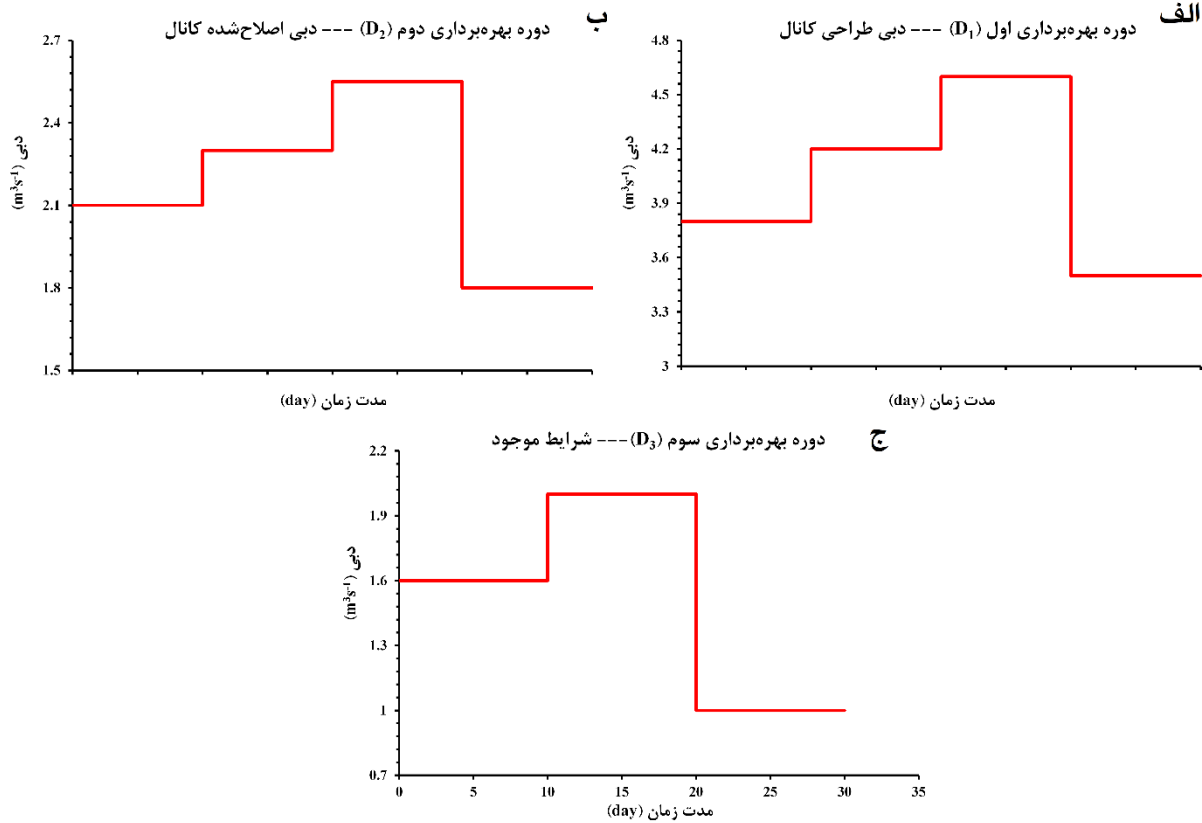
بهره برداری دوم نشان داده شده است. در این دوره، تمام آبیگرهای واقع در کانال اصلی واحد عمرانی B2، به صورت همزمان، با یکدیگر و به طور دائمی آبیگری می نمایند. لازم به ذکر است نیاز آبی متوسط در طول ۴ ماه پیک در دوره بهره برداری و همچنین درصد تخصیص آب به هر تشکل و تعاونی، برای دوره های بهره برداری اول و دوم، در جدول ۴ ارائه شده است.

دوره بهره برداری سوم (D₃) (شرایط موجود)

در دوره های بهره برداری اول و دوم شبکه (D₁ و D₂)، به دلیل وجود مشکلات مدیریتی در شبکه گاوشان در ناحیه عمرانی B2، شبکه اصلی و فرعی به طور کامل تکمیل و به بهره برداری نرسیده است. این در حالی است که تنها کانال اصلی BRMC به همراه آبیگرهای موجود در کانال ساخته شده اند. این امر موجب عدم تأمین اهداف نهایی شبکه شده و باعث تخریب بخش هایی از شبکه اصلی در گذر زمان گردیده است. با شرایط به وجود آمده، کانال اصلی و آبیگرهای ساخته شده، قابلیت انتقال آب به اراضی پایین دست را نداشته و قابلیت بهره برداری مطابق با اهداف طرح را ندارند. به همین دلیل، در چند سال اخیر به جز استفاده از چند دریاچه آبیگر به صورت محدود، هر تشکل و تعاونی، نیاز آبی خود را با قرار دادن لوله های پلی اتیلن در طول کانال اصلی و برداشت آب از کانال به صورت ثقلی، تأمین می نمایند. به منظور بررسی وضعیت بهره برداری در شرایط موجود شبکه با توجه به شرایط خاص آن، آب مورد نیاز شبکه به مدت یک ماه وارد کانال اصلی شد. هیدروگراف ورودی به کانال BRMC در سه بازه زمانی

آبدهی هر تعاونی، در شرایط بهره‌برداری D_3 در جدول ۵ تشریح شده است.

ده روزه تعیین و در شکل ۴-ج ارائه شده است. همچنین مشخصات تعداد لوله‌ها، مقدار دبی موردنیاز و نوبت



شکل ۴- هیدروگراف دوره‌های بهره‌برداری مختلف الف) D_1 ب) D_2 ج) D_3 .

جدول ۴- نیاز آبی متوسط و درصد تخصیص آب به هر تعاونی در طول دوره بهره‌برداری.

دوره بهره‌برداری	نام تعاونی	کامیاران	بلان	ورمهنگ	هیئت‌آباد	توبره‌ریز	آهنگران	الک	سرچم	کنبده
D_1	متوسط نیاز آبی ماه‌های پیک ($L s^{-1}$)	۲۰۱	۴۴۷	۷۰۳	۲۰۱	۲۷۶	۵۵	۵۶۲	۲۹۴	۶۳
	تخصیص آب (درصد)	۷	۱۶	۲۵	۷	۱۰	۲	۲۰	۱۱	۲
D_2	متوسط نیاز آبی ماه‌های پیک ($L s^{-1}$)	۱۰۳	۲۲۸	۳۵۹	۱۰۳	۱۴۱	۲۸	۲۸۷	۱۵۰	۳۲
	تخصیص آب (درصد)	۷	۱۶	۲۵	۷	۱۰	۲	۲۰	۱۱	۲

جدول ۵- مشخصات تعداد لوله‌ها، مقدار دبی موردنیاز و نوبت آبدهی هر تعاونی، در شرایط بهره‌برداری D₃.

تعاونی	نوبت آبگیری	تعداد لوله‌ها	سایز لوله‌ها	دبی برداشتی (L s ⁻¹)			
				دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	
کامیاران	سه روز اول دوره	۱۰۴	۱۲۵، ۱۱۰، ۹۰، ۷۵، ۶۳	۶۸۱	۸۵۱	۴۲۶	
توبره‌ریز		۶۳	۱۶۰، ۱۲۵، ۱۱۰، ۹۰، ۷۵، ۶۳	۶۹۸	۸۷۳	۴۳۷	
ورمهنگ		دریچه	۱۱۰		۲۲۱	۲۷۶	۱۳۸
آهنگران	سه روز دوم دوره	۵۷	۱۶۰، ۱۲۵، ۱۱۰، ۹۰، ۷۵، ۶۳	۶۰۰	۷۵۰	۳۷۵	
هیئت آباد		دریچه	-		۲۰۰	۲۵۰	۱۲۵
الک	سه روز سوم دوره	۷۲	۱۶۰، ۱۲۵، ۱۱۰، ۹۰، ۷۵، ۶۳	۵۴۴	۶۸۰	۳۴۰	
سرچم		دریچه	-		۴۸۰	۶۰۰	۳۰۰
گنبد		۱۴	۱۲۵، ۱۱۰، ۹۰	۱۶۰	۲۰۰	۱۰۰	

سناریوهای بهره‌برداری

به‌منظور ارزیابی تمام شرایط حاکم بر شبکه و کانال اصلی و همچنین رسیدن به چشم‌اندازی از توزیع و گردش آب از لحاظ زمانی و مکانی در شبکه و نهایتاً رسیدن به بهترین الگوی مدیریتی، سناریوهای بهره‌برداری را می‌توان به‌صورت زیر در نظر گرفت:

سناریوی بهره‌برداری اول (S₁)

در این سناریو، دوره بهره‌برداری اول (D₁) با فرض تکمیل آبگیرهای کانال اصلی، شبیه‌سازی می‌شود. هدف از این سناریو، ارزیابی عملکرد شبکه از دیدگاه بهره‌برداری و نحوه توزیع و گردش آب در شبکه اصلی در شرایطی است که تمامی فاز اجرایی و سازه‌ای شبکه اصلی به اتمام رسیده و تکمیل شده باشد.

سناریوی بهره‌برداری دوم (S₂)

در این سناریو، دوره بهره‌برداری دوم (D₂) شبیه‌سازی می‌شود. هدف از این سناریو، ارزیابی

عملکرد شبکه در شرایطی است که دبی کمتر از دبی طراحی وارد کانال شده و تمامی فاز اجرایی و سازه‌ای شبکه اصلی به اتمام رسیده و تکمیل شده باشد.

سناریوی بهره‌برداری سوم (S₃)

در سناریوی سوم، دوره بهره‌برداری سوم (D₃) شبیه‌سازی می‌گردد. هدف از این سناریو، ارزیابی عملکرد شبکه در شرایطی است که تمامی فاز اجرایی و سازه‌ای شبکه اصلی به اتمام رسیده و تکمیل شده، اما به دلیل کمبود آب، دبی هیدروگراف ورودی به کانال اصلی بسیار کمتر از دبی هیدروگراف طراحی باشد.

سناریوی بهره‌برداری چهارم (S₄)

در این سناریو، دوره بهره‌برداری مربوط به شرایط وضع موجود و کنونی شبکه اصلی کانال (D₃) شبیه‌سازی می‌شود. هدف از این سناریو، ارزیابی عملکرد شبکه از دیدگاه بهره‌برداری و نحوه توزیع و گردش آب در شبکه اصلی در شرایطی است که شبکه

شاخص‌های بهره‌برداری و مدیریتی ارزیابی عملکرد شبکه

در مطالعه حاضر جهت بررسی و اولویت‌بندی گزینه‌های تحویل و توزیع آب در شبکه، از ۳ شاخص ارزیابی استفاده گردید که عبارت‌اند از:

کفایت توزیع آب (P_A)

کفایت توزیع عبارت است از نسبت مقدار آب تحویل‌داده‌شده به مقدار آب موردنیاز آبیگرها و بر اساس رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$P_A = \frac{1}{T} \sum \left[\frac{1}{R} \sum (P_a) \right] \begin{cases} P_a = Q_d / Q_r & \text{if } Q_r > Q_d \\ P_a = 1 & \text{if } Q_r < Q_d \end{cases} \quad [1]$$

که در این رابطه، P_A ، کفایت توزیع؛ P_a ، تابع عملکردی نقطه‌ای مربوط به کفایت؛ Q_r و Q_d ، به ترتیب، مقدار آب تحویلی در واقعیت و مقدار آب موردنیاز برای انشعاب X در دوره زمانی t ؛ T ، تعداد دفعات اندازه‌گیری و R ، تعداد مناطق اندازه‌گیری شده است.

راندمان توزیع آب (P_F)

مقدار راندمان توزیع آب به‌عنوان شاخص دوم، با استفاده از معادله زیر تعیین می‌شود:

$$P_F = \frac{1}{T} \sum \left[\frac{1}{R} \sum (P_f) \right] \begin{cases} P_f = Q_r / Q_d & \text{if } Q_r < Q_d \\ P_f = 1 & \text{if } Q_r > Q_d \end{cases} \quad [2]$$

در این رابطه، P_F ، راندمان توزیع آب و P_f ، تابع عملکرد نقطه‌ای مربوط به کفایت می‌باشد.

اعتمادپذیری توزیع آب (P_D)

برای یک آبیگر منفرد شاخص اعتمادپذیری را می‌توان یکنواختی زمانی در تحویل آب تعریف کرد که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (مولدن و گیتس ۱۹۹۰):

$$P_D = \frac{1}{R} \sum CV_T \left(\frac{Q_d}{Q_r} \right) \quad [3]$$

اصلی از لحاظ اجرایی و سازه‌ای به اتمام نرسیده است و برداشت‌ها توسط لوله در سراسر کانال صورت می‌پذیرد. همچنین در این سناریو اثر برداشت‌های غیر مجاز بر شاخص‌های بهره‌برداری از شبکه نیز به‌طور مجزا بررسی می‌گردد.

مدل هیدرودینامیک مورد استفاده

به‌منظور انجام شبیه‌سازی‌ها و ارزیابی عملکرد شبکه اصلی از دیدگاه بهره‌برداری در این تحقیق، از مدل هیدرودینامیک SOBEK, Ver. 2.12.002 استفاده شد. قبل از شبیه‌سازی فیزیکی کانال اصلی، واسنجی مدل بر اساس داده‌های واقعی بهره‌برداری صورت پذیرفت. اندازه‌گیری‌های دبی و رقوم سطح آب در مقاطع مشخصی از کانال، در بازه زمانی یک ماهه (روزانه) و در بازه‌های مشخصی از کانال اندازه‌گیری شد. بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده و بر اساس خروجی‌های مدل SOBRK اجرا شده، مراحل صحت‌سنجی برای ۳۰ درصد داده‌ها و آموزش برای ۷۰ درصد داده‌ها انجام پذیرفت به‌طوری‌که دبی‌های اندازه‌گیری شده به مدل هیدرودینامیک داده شد و متناسب با آن، رقوم سطح آب در مدل با رقوم اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل، از شاخص‌های آماری حداکثر خطا (ME)، میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$)، و راندمان شبیه‌سازی (RE)، استفاده شد. نتایج حاصل از واسنجی مدل در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل

هیدرودینامیک SOBEK

شاخص‌های آماری	تراز سطح آب در کانال (m)	
	واسنجی	صحت‌سنجی
ME	۰/۰۳	۰/۰۴
MAE	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹۵
$RMSE (m)$	۰/۰۱	۰/۰۲۱
$RE (%)$	۹۹/۹	۹۹/۸

شاخص های ارزیابی عملکرد بهره برداری شبکه های آبیاری در جدول ۷ ارائه شده است.

که در این رابطه، P_D ، اعتمادپذیری توزیع و CV_T ، ضریب تغییرات زمانی است. مقادیر استاندارد

جدول ۷- مقادیر استاندارد شاخص های ارزیابی عملکرد بهره برداری (مولدن و گیتس ۱۹۹۰)

کلاس های ارزیابی			شاخص های ارزیابی
ضعیف	متوسط	خوب	
$0/8 >$	$0/8 - 0/89$	$0/9 - 1$	کفایت (P_A)
$0/7 >$	$0/7 - 0/84$	$0/85 - 1$	راندمان (P_F)
$0/2 <$	$0/11 - 0/2$	$0 - 0/1$	اعتمادپذیری (P_D)

قرار داشت. به عبارت بهتر، نیاز آبی آبیگرهای واقع در بخش پایاب تأمین نشده است. از دلایل این موضوع می توان به آبیگری بیش از نیاز واقعی به دلیل مشکلات اجتماعی و فرهنگی در آبیگرهای بالادست به واسطه وجود آب کافی و مازاد بر نیاز آب محصولات در شبکه اشاره داشت و آبیگرهای بخش پایاب و انتهایی به دلیل مشکل طراحی و نامناسب بودن رقوم آبیگری در این بازه از کانال اشاره داشت.

راندمان توزیع آب (P_F)

با توجه سناریوی بهره برداری S_1 ، آبیگرهای واقع در بخش بالادست و ابتدایی کانال اصلی، از راندمان توزیع متوسطی برخوردار بوده اند؛ درحالی که در آبیگرهای بخش میانی و پایین دست شبکه، شاخص راندمان توزیع برابر ۱ بوده و در حد مطلوب می باشد (شکل ۵- ب). به عبارت دیگر راندمان توزیع در آبیگرهای تعاونی های گنبد، سرچم، الک، آهنگران و هیئت آباد در حد مطلوب و قابل قبولی بوده است.

اعتمادپذیری توزیع آب (P_D)

شکل ۵- ج، شاخص اعتمادپذیری توزیع برای کل آبیگرهای واقع در طول کانال اصلی BRMC به ازای سناریوی بهره برداری S_1 را نشان می دهد. با توجه به نتایج حاصل شده، شاخص P_D برای آبیگرهای واقع در

نتایج و بحث

سناریوی بهره برداری اول (S_1)

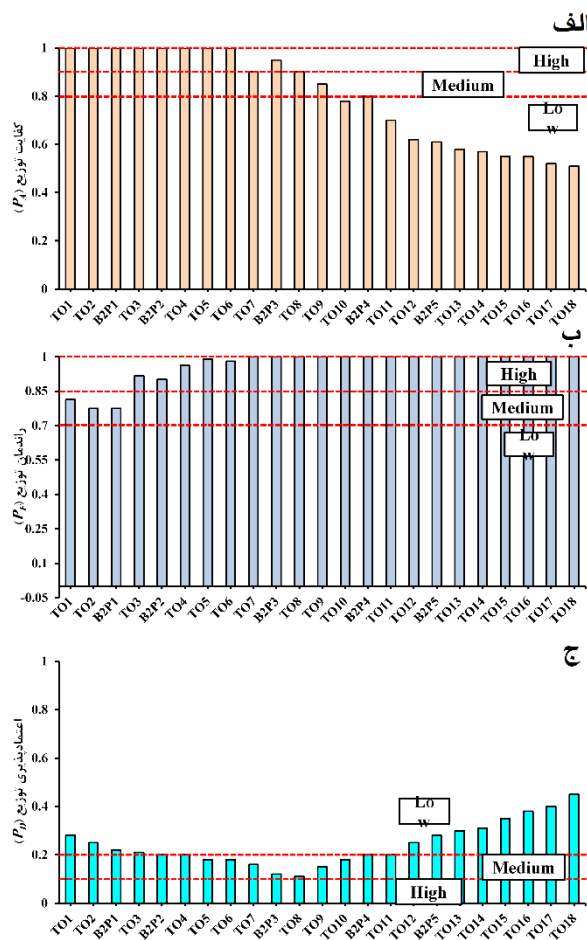
پس از مدل سازی و شبیه سازی کانال اصلی به همراه آبیگری های واقع در کانال اصلی در مدل هیدرودینامیک و اعمال سناریوی بهره برداری S_1 ، به منظور ارزیابی عملکرد شبکه اصلی از دیدگاه بهره برداری، شاخص های کفایت، راندمان و اعتمادپذیری توزیع، محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفتند که در ادامه به صورت مجزا تشریح خواهند شد.

کفایت توزیع آب (P_A)

در شکل ۵- الف شاخص کفایت توزیع آب برای تمامی آبیگرهای نصب شده در طول کانال اصلی BRMC نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵- الف شاخص کفایت توزیع در آبیگرهای واقع در بخش ابتدایی و بالادست شبکه (تعاونی های کامیاران، بلان و توبره ریز)، از وضعیت خوب و مطلوبی برخوردار بوده؛ به طوری که شاخص P_A برای آبیگرهای این بخش برابر با یک بوده است. این درحالی است که برای آبیگرهای واقع در بخش پایین دست و انتهایی کانال واقع در ناحیه عمرانی B2 (تعاونی های گنبد، سرچم، الک و آهنگران)، شاخص کفایت کمتر از $0/8$ بوده و این بدان معنی است که شاخص کفایت در این بخش در حد ضعیف و نامطلوبی

تعاونی‌های توبره‌ریز و هیئت‌آباد، آب را به صورت یکنواخت‌تر و با تغییرات و نوسانات کمتر دبی، دریافت کرده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده از شاخص‌های مورد مطالعه برای سناریوی بهره‌برداری S1، مقدار متوسط کل شاخص‌های کفایت، راندمان و اعتمادپذیری، به ترتیب، ۰/۸۰، ۰/۹۶ و ۰/۲۴ برآورد شد.

بخش ابتدایی و بالادست شبکه و همچنین پایین دست و بخش انتهایی شبکه در حد ضعیفی بوده؛ به طوری که مقدار این شاخص در بخش‌های مذکور بیشتر از ۰/۲ می‌باشد. این در حالی است که آبیگرهای واقع در بخش میانی کانال اصلی از اعتمادپذیری نسبتاً مناسبی برخوردار بوده‌اند و این امر نشان‌دهنده این است که



شکل ۵- تغییرات شاخص‌های ارزیابی برای آبیگرهای واقع در طول کانال اصلی BRMC، به ازای سناریوی S1 (الف) کفایت توزیع (ب) راندمان توزیع (ج) اعتمادپذیری توزیع.

وضعیّت خوب و مطلوبی برخوردار بوده؛ به طوری که شاخص مذکور برای آبیگرهای این بخش برابر با ۱ بوده است (تعاونی‌های کامیاران، بلان و توبره‌ریز). این در حالی است که برای آبیگرهای واقع در بخش میانی و همچنین پایین دست و انتهایی کانال واقع در ناحیه عمران B2، شاخص کفایت کمتر از ۰/۸ بوده و می‌توان نتیجه گرفت که شاخص کفایت در این بخش در حد

سناریوی بهره‌برداری دوم (S2)
کفایت توزیع آب (P_A)

بر اساس شکل ۶- الف، شاخص کفایت برای تمامی آبیگرهای واقع در طول کانال اصلی BRMC محاسبه شد. نتایج نشان داد که شاخص کفایت توزیع در آبیگرهای واقع در بخش ابتدایی و بالادست شبکه، از

گردش آب بر اساس شاخص های کفایت و اعتمادپذیری، در حد بسیار ضعیف و نامطلوبی بوده به طوری که اکثر تعاونی های ذی مدخل در شبکه اصلی به صورت نابرابر و غیرعادلانه آب دریافت نموده اند و همچنین این تعاونی ها به صورت غیر یکنواخت، دبی مورد نیاز خود را دریافت کرده اند.

سناریوی بهره برداری سوم (S_3)

کفایت توزیع آب (P_A)

در شکل ۷- الف شاخص کفایت برای تمامی آبگیرهای واقع در طول کانال اصلی BRMC محاسبه و نشان داده شده است. با توجه به شکل می توان گفت که شاخص کفایت توزیع در اکثر آبگیرهای واقع در طول کانال از عملکرد متوسط (تعاونی های کامیاران و توپره ریز) تا ضعیفی (تعاونی های الک، سرچم و گنبد) برخوردار بوده است. به گونه ای که برای آبگیرهای واقع در بخش های میانی و انتهایی کانال واقع در ناحیه عمرانی B2، شاخص کفایت کمتر از ۰/۸ بوده و این بدان معنی است که شاخص کفایت در این بخش در حد ضعیف و نامطلوبی قرار داشته است. به عبارت بهتر، نیاز آبی آبگیرهای واقع در اکثر نقاط شبکه تأمین نشده و کمتر از نیاز خود آگیری نموده اند. علت این موضوع را می توان به کاهش دبی ورودی به کانال، نسبت به دو سناریوی S_1 و S_2 نسبت داد.

راندمان توزیع آب (P_F)

با توجه سناریوی بهره برداری S_3 ، آبگیرهای واقع در بخش بالادست و میانی کانال از راندمان توزیع مناسب و خوبی برخوردار بوده اند. این در حالی است که آبگیرهای بخش پایین دست کانال نسبت به بخش بالادست، وضعیت بهتری داشته و راندمان توزیع در این نواحی، معادل ۱ می باشد (شکل ۷- ب).

اعتمادپذیری توزیع آب (P_D)

ضعیف و نامطلوبی قرار داشته است. به عبارت دیگر، نیاز آبی آبگیرهای واقع در بخش پایین دست برآورده نگردیده و کمتر از نیاز خود، آگیری نموده اند (تعاونی های گنبد، سرچم، الک و آهنگران).

راندمان توزیع آب (P_F)

با توجه سناریوی بهره برداری S_2 ، همه آبگیرهای واقع در طول کانال اصلی، از راندمان توزیع در حد مطلوب و مناسبی برخوردار بوده اند؛ به طوری که آبگیرهای بخش میانی و پایین دست شبکه وضعیت مناسب تری داشته و شاخص راندمان توزیع در آنها برابر ۱ بوده است (شکل ۶- ب).

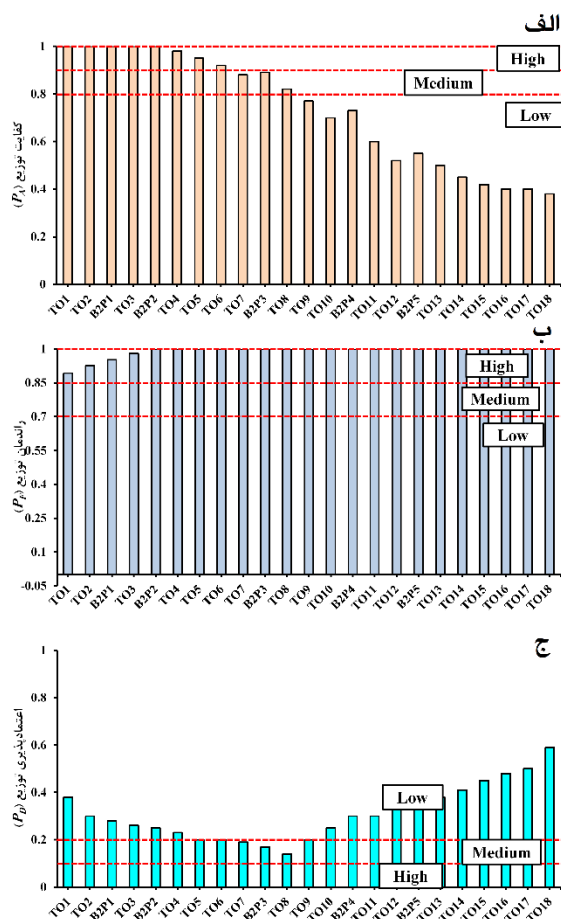
اعتمادپذیری توزیع آب (P_D)

شکل ۶- ج، شاخص اعتمادپذیری توزیع برای کل آبگیرهای واقع در طول کانال اصلی BRMC به ازای سناریوی بهره برداری S_2 را نشان می دهد. با توجه به نتایج بدست آمده، شاخص P_D برای آبگیرهای واقع در بخش ابتدایی و بالادست شبکه و همچنین پایین دست و بخش انتهایی شبکه در حد ضعیفی بود. به گونه ای که مقدار این شاخص در نواحی مذکور بیشتر از ۰/۲ به دست آمد. این در حالی است که آبگیرهای واقع در بخش میانی کانال اصلی از اعتمادپذیری نسبتاً مناسب و متوسطی برخوردار بوده اند و این امر نشان دهنده این است که تعاونی های توپره ریز و هیئت آباد، آب را با یکنواختی بیشتر و نوسانات کمتر دبی، دریافت نموده اند.

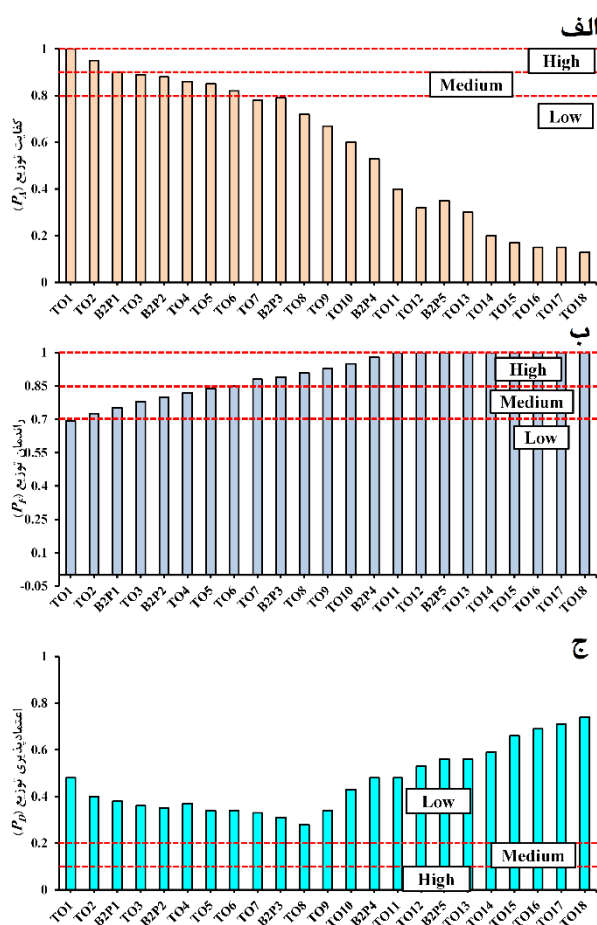
با توجه به نتایج به دست آمده، مقدار متوسط کل شاخص های کفایت، راندمان و اعتمادپذیری، به ترتیب، ۰/۷۱، ۰/۸۴ و ۰/۳۴ بود. بر همین اساس می توان نتیجه گرفت که به ازای سناریوی بهره برداری S_2 ، شاخص راندمان توزیع برای کل شبکه اصلی کانال BRMC در حد متوسطی بوده و گردش و توزیع آب در کل شبکه بر اساس شاخص فوق در حد نسبتاً قابل قبولی بوده است. این در حالی است که عملکرد شبکه اصلی در توزیع و

با توجه به نتایج به دست آمده برای سناریوی بهره‌برداری S3، مقدار متوسط کل شاخص‌های کفایت، راندمان و اعتمادپذیری، به ترتیب، ۰/۶۲، ۰/۷۱ و ۰/۴۶. برآورد گردید. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که به ازای سناریوی بهره‌برداری S3، شاخص راندمان توزیع برای کل شبکه اصلی کانال BRMC در حد ضعیفی بوده و گردش و توزیع آب در کل شبکه بر اساس شاخص فوق در حد قابل قبولی نبوده است. به طوری که تمامی تعاونی‌های ذی‌مدخل در شبکه اصلی به صورت نابرابر و غیرعادلانه آب دریافت نموده‌اند و می‌توان گفت که بهره‌برداری از شبکه در این سناریو نسبت به دو سناریوی پیشین، ضعیف‌تر و نامناسب‌تر بوده است.

شکل ۷-ج، شاخص اعتمادپذیری توزیع برای کل آبگیرهای واقع در طول کانال اصلی BRMC به ازای سناریوی بهره‌برداری S3 را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان نتیجه گرفت که شاخص اعتمادپذیری برای آبگیرهای واقع در تمامی بخش‌های شبکه در حد ضعیفی بوده است. به طوری که مقدار این شاخص در تمامی بخش‌ها بیشتر از ۰/۲ به دست آمد. این امر نشان‌دهنده این است که همه تعاونی‌ها، آب را به صورت غیر یکنواخت و با تغییرات و نوسانات بالای دبی، دریافت نموده‌اند.



شکل ۶- تغییرات شاخص‌های ارزیابی برای آبگیرهای واقع در طول کانال اصلی BRMC. به ازای سناریوی S2 (الف) کفایت توزیع (ب) راندمان توزیع (ج) اعتمادپذیری توزیع.



شکل ۷- تغییرات شاخص‌های ارزیابی برای آبگیرهای واقع در طول کانال اصلی BRMC، به ازای سناریوی S₃ (الف) کفایت توزیع (ب) راندمان توزیع (ج) اعتمادپذیری توزیع.

سناریوی بهره‌برداری چهارم (S₄)

پس از شبیه‌سازی کانال اصلی به همراه آبگیری‌های واقع در آن، در مدل هیدرودینامیک و اعمال سناریوی بهره‌برداری S₄، علاوه بر ارزیابی عملکرد شبکه اصلی از دیدگاه بهره‌برداری، شاخص‌های مورد استفاده، در شرایط وجود و عدم وجود برداشت‌های غیر مجاز مورد محاسبه قرار گرفته‌اند که در ادامه تشریح خواهد شد.

کفایت توزیع آب (P_A)

در شکل ۸- الف شاخص کفایت برای آبگیرهای سه بخش واقع در بالادست، میانی و پایین‌دست کانال اصلی BRMC با احتساب برداشت غیرمجاز از کانال اصلی نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که

شاخص کفایت توزیع در هر سه بخش از کانال از عملکرد ضعیفی برخوردار بوده است. به طوری که برای بخش بالادست که شامل تعاونی‌های کامیاران، توبره‌ریز و ورمهنگ بوده، شاخص کفایت در حدود ۰/۸ بوده و این بدان معنی است که شاخص مذکور در این بخش در حد متوسطی قرار داشته است. اما در دو بخش میانی و پایین‌دست خصوصاً برای تعاونی‌های الک، سرچم و گنبده که جز آخرین تعاونی‌ها می‌باشند، شاخص کفایت بسیار پایین‌تر از ۰/۸ به دست آمد که بیانگر این موضوع است که تعاونی‌های مذکور به اندازه کافی و موردنیاز خود آب دریافت نکرده‌اند. همچنین برداشت‌های غیر مجاز در طول کانال اصلی نیز خود به عنوان عامل تشدیدکننده باعث تضعیف این بخش در

غیر یکنواخت و با تغییرات و نوسانات بیشتر دبی، انتقال یافته است.

با توجه به نتایج حاصل شده و به ازای سناریوی بهره برداری مشخص و معین، شاخص های بهره برداری در آبیگرهای بخش ابتدایی و بالادست کانال از شرایط ایده آل خود فاصله گرفته اند و دلیل آن را می توان به وجود آب مازاد بر نیاز برداشت کشاورزان نسبت داد به طوری که معمولاً اضافه برداشت در آبیگرهای واقع در این بخش وجود داشت. شاخص های بهره برداری در آبیگرهای واقع در بخش پایین دست و انتهایی شبکه نیز در شرایط نامطلوبی قرار داشتند. اضافه برداشت در آبیگرهای بالادستی و نتیجتاً عدم وجود آب کافی در این بخش از کانال و همچنین رقوم طراحی نامناسب کارگزاری آبیگرهای بخش انتهایی کانال اصلی، اصلی ترین دلیل ضعف شاخص ها در بخش انتهایی کانال بود. اما آبیگرهای بخش میانی کانال به دلیل دریافت دبی متناسب با نیاز هر آبیگر در وضعیت مطلوبی قرار داشتند. همچنین با مقایسه بین سناریوهای مختلف بهره برداری می توان نتیجه گرفت که به ازای دبی های ورودی کمتر از دبی طراحی به کانال اصلی، شاخص های بهره برداری در شرایط ضعیف و نامطلوبی قرار داشتند به طوری که در سناریوی S3 و S4، شاخص ها در بدترین شرایط خود قرار داشتند. این امر به واسطه این می تواند باشد که ابعاد کانال، آبیگرها و رقوم کارگزاری آبیگرها متناسب با دبی طراحی بوده است اما زمانی که دبی کمتر از دبی طراحی به کانال ورود پیدا می کند آبیگرها قادر به آبیگری دبی متناسب و مورد نیاز خود نیستند و در نتیجه شاخص های بهره برداری تضعیف می شوند. نتایج تحقیق حاضر با نتایج نام و همکاران (۲۰۱۶)، نجیم و همکاران (۲۰۰۴) و عبدالموتی (۲۰۱۳) کاملاً مشابه بوده است به طوری که در همه آنها عملکرد شاخص های بهره برداری در بخش انتهایی شبکه های آبیاری بسیار ضعیف و نامناسب گزارش شده است. همچنین نتایج با مطالعه خان و گامن (۲۰۰۸)

دریافت آب شده است؛ چرا که آب قابل توجهی در هر سه بخش بالادست، میانی و پایین دست به صورت غیر مجاز از کانال برداشت می گردد. این در حالی است که در شرایط عدم وجود برداشت های غیر مجاز، شاخص P_A نسبت به حالت وجود برداشت غیر مجاز ارتقا یافته است. به طوری که برای تعاونی هایی نظیر کامیاران و توبره ریز واقع در بخش بالادست، شاخص کفایت در آستانه وضعیت مطلوب قرار گرفت. همچنین با وجود اینکه سایر تعاونی های واقع در بخش میانی و پایین دست کانال در وضعیت ضعیف باقی مانده اند، اما نسبت به شرایط وجود برداشت غیر مجاز از کانال، بهتر شده اند.

راندمان توزیع آب (P_F)

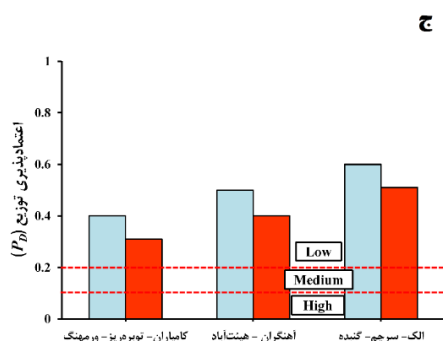
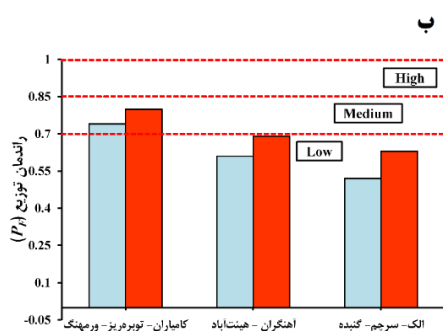
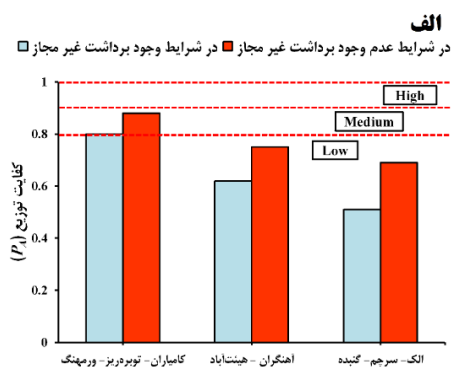
با توجه به شکل ۸-ب، در سناریوی بهره برداری S4، در شرایط وجود برداشت غیر مجاز از کانال، راندمان توزیع آبیگرهای واقع در بخش بالادست (کامیاران، توبره ریز و ورمهنگ)، در ناحیه متوسط ($P_F = 0.75$) و آبیگرهای بخش میانی و بخش پایین دست در ناحیه ضعیف ($P_F < 0.70$) قرار گرفتند. از طرف دیگر، شاخص P_F برای کل آبیگرهای کانال در شرایط عدم وجود برداشت غیر مجاز از کانال در هر سه بخش ارتقا یافت؛ به طوری که تعاونی های بخش بالادست و میانی نظیر کامیاران و آهنگران از وضعیت متوسطی برخوردار بوده اند اما تعاونی های بخش پایین دست مانند گنبد، با وجود بهتر شدن شرایط، هنوز در وضعیت ضعیف ($P_F < 0.70$) قرار دارند.

اعتمادپذیری توزیع آب (P_D)

شکل ۸-ج، شاخص اعتمادپذیری توزیع برای همه آبیگرها را در شرایط وجود و عدم وجود برداشت غیرمجاز نشان می دهد. با توجه به شکل مذکور، شاخص اعتمادپذیری برای تمامی آبیگرها، در هر دو شرایط، در حد ضعیف ($P_D > 0.20$) بود. این امر نشان دهنده این است که به همه تعاونی ها، آب به صورت

شاخص های توزیع آب شده است که این امر در بخش انتهایی کانال مشهود تر بود.

در ارتباط با اثر برداشت های اضافی و غیر مجاز در طول کانال اصلی کاملاً مشابه بوده است به طوری که برداشت های غیر مجاز باعث تضعیف و ناکارآمد شدن



شکل ۸- نحوه تغییرات شاخص های ارزیابی مختلف، به ازای سناریوی بهره برداری چهارم (S₄)، الف) شاخص کفایت توزیع (ب) شاخص راندمان توزیع (ج) شاخص اعتمادپذیری توزیع.

نتیجه گیری کلی

سازی شد. به ازای همه دوره های بهره برداری و همه سناریوها، آبگیرهای واقع در ناحیه بالادست کانال اصلی، از وضعیت مناسب تری از دیدگاه شاخص های بهره برداری برخوردار بودند و این درحالی است که آبگیرهای واقع در بخش پایین دست شرایط نامطلوبی داشتند. همچنین، با مقایسه بین شاخص های توزیع مورد استفاده در سناریوهای مختلف می توان نتیجه گرفت که هر چه دبی ورودی به کانال از دبی طراحی

در تحقیق حاضر، به دلیل به اتمام نرسیدن شبکه اصلی و فرعی با یکدیگر از لحاظ زمانی و فرسوده شدن سازه های کانال اصلی در گذر زمان از یک طرف و پدید آمدن نیازهای آبی جدید به دلیل افزایش سطح زیر کشت از طرف دیگر، باعث پیچیدگی در امر مدیریت تحویل و توزیع آب شده است. لذا سناریوهای مختلف بهره برداری متناسب با شرایط بهره برداری کانال شبیه

بوده که شبکه را دچار مشکلات عدیده‌ای نیز کرده است. بنابراین ضروری است به منظور ارتقای کیفیت توزیع و گردش آب در شبکه و افزایش شاخص‌های بهره‌برداری، مشخصات فنی شبکه تکمیل شده و به شکل کنونی آبرگیری نگردد. در این مورد می‌توان راهکارهایی از جمله تغییرالگوی کشت متناسب با دبی ورودی به کانال، تغییر سطح زیر کشت متناسب با دبی ورودی و فعال نمودن هر چه بهتر تعاونی آبربران محلی به منظور نظارت هر چه بهتر و دقیق‌تر بر توزیع آب را پیشنهاد نمود.

در شرایط بهره‌برداری کنونی از شبکه علاوه بر مشکل نحوه آبرگیری از کانال و همچنین ورود دبی بسیار کمتر از دبی طراحی کانال، برداشته‌های غیر مجاز از کانال باعث ایجاد مشکلات بهره‌برداری متعددی شده است. به طوری که اثر مستقیمی روی شاخص‌های بهره‌برداری گذاشته و آن‌ها را به ضعیف‌ترین مقدار خود رسانده است. لذا متوقف کردن برداشته‌های غیر مجاز از کانال به منظور ارتقای کیفیت توزیع و گردش آب در شبکه امری ضروری است.

کمتر باشد وضعیت شاخص‌های بهره‌برداری از شرایط مطلوب خارج شده و در ناحیه بحرانی قرار می‌گیرد به طوری که در شرایط بهره‌برداری موجود در شبکه ضعف‌های متعددی در مدیریت توزیع آب دیده می‌شود و چنانچه در یکی از فصول زراعی کمبود آب وجود داشته باشد، کل شبکه و اراضی پایاب دچار مشکل خواهند شد. همچنین در شرایط بهره‌برداری موجود و کنونی در شبکه، برداشته‌های غیر مجاز در طول کانال باعث تضعیف مدیریت در توزیع آب بین آبرگیرها شده است.

به صورت کلی نتایج حاصل از آنالیز سناریوهای مورد مطالعه تحقیق حاضر را می‌توان به صورت زیر تشریح نمود:

در سناریوی اول که الگوی بهره‌برداری و دبی طراحی مطابق با مشخصات فنی کانال است، نتایج بهتری از دیدگاه شاخص‌های بهره‌برداری نسبت به سایر سناریوها، به دست آمد. این در حالی است که در شرایط موجود شبکه که مشخصات فنی آن تکمیل نگردیده و الگوی بهره‌برداری و دبی وارده به کانال با آن مطابقتی ندارد، از شاخص‌های بهره‌برداری نامطلوب و پایین

منابع مورد استفاده

- Abdelmoaty MS, 2013. Improving the hydraulic efficiency of Ibrahemia canal. *Water Science* 27: 57-68.
- Burt CM and Styles SW, 1998. Modern water control and management practices in irrigation: impact on performance. Report No. R 98-001 .
- Ebrahimian F, Monem MJ and Delavar M, 2019. Investigating the impact of distribution and delivery management in water shortage conditions on water productivity index using hydrodynamic and crop production model. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 13:142-152. (In Persian with English abstract).
- Hashemi S and Van Overloop P, 2013. Applying decentralized water level difference control for operation of the Dez main canal under water shortage. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 139: 1037-1044 .
- Kanooni A and Abedi A, 2018. Evaluation of spatio-temporal performance and water delivery management of yamchi irrigation network in ardabil province. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research* 19: 113-128 (In Persian with English abstract).
- Kasbdouz Sh, Monem MJ and Kouchekezadeh S, 1998. Application of ICSS-POM hydrodynamic model in determining the most suitable water distribution option in irrigation network (Case Study: irrigation network of ghori chaie). Pp 13-21. The 9th seminar of the National Irrigation and Drainage Committee. 23 October, Tehran, Iran (In Persian with English abstract).

- Khan MZ and Ghumman AR, 2008. Hydrodynamic modelling for water-saving strategies in irrigation canals. *Irrigation and Drainage: The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage* 57: 400-410 .
- Mishra A, Anand A, Singh R and Raghuwanshi N, 2001. Hydraulic modeling of Kangsabati main canal for performance assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 127: 27-34.
- Mohammadi A, Parvaresh Rizi A and Abbasi N, 2017. Evaluation of hydraulic performance of regulators and distribution structures in varamin irrigation network. *Journal of Hydraulics* 12: 1-12 (In Persian with English abstract).
- Mohseni Movahhed A and Monem MJ, 2003. Introducing ICSSDOM model to evaluate the performance and optimize the operation of irrigation canals. Pp. 95-110. The 11th seminar of the National Irrigation and Drainage Committee. 24-25 December, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).
- Molden DJ and Gates TK, 1990. Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 116: 804-823.
- Monem MJ, Najafi MR and Khoshnavaz S, 2007. Optimal water scheduling in irrigation networks using genetic algorithm. *Iran- Water Resources Research* 3: 100-110 (In Persian with English abstract).
- Montazer AA, Kouchakzadeh S, Ghaheri A and Van Overloop PZh, 2007. Designing a central control algorithm of the main channel and evaluating its performance (Case study: Narmada main channel). *International Journal of Engineering Sciences, Iran University of Science and Technology* 18: 33-44 (In Persian with English abstract).
- Najim MMM, Haque MA, Lee TS and Mohammed TA, 2004. Water allocation modeling for in Besut rice irrigation scheme in Malaysia. *Agricultural Engineering* 8: 1-8.
- Nam WH, Hong EM and Choi JY, 2016. Assessment of water delivery efficiency in irrigation canals using performance indicators. *Irrigation Science* 34: 129-143.
- Yaltaghin Khiabani M, Hashemy Shahedani M, Banihabib ME and Hasani Y, 2019. Feasibility of employing non-structural and automation approaches to improving operation of water distribution systems (Case study: Roodasht irrigation district). *Journal of Water and Irrigation Management* 9: 109-127. (In Persian with English abstract).