

بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان تأمین آب شرب با بهره‌برداری تلفیقی پمپاژ از آبخوان و آب انتقالی از سد سلمان فارسی

محمد رضا نیکو*^۱، اکبر کریمی^۲، محمدرضا علیزاده^۳، عبدالحسین بغلانی^۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۵

^۱ استادیار بخش مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه شیراز

^۲ مربی بخش مهندسی عمران، دانشکده مهندسی کلدونیه، مسقط، عمان

^۳ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه شیراز

^۴ استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شیراز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: nikoo@shirazu.ac.ir

چکیده

آب شرب منطقه لارستان در استان فارس، ایران توسط سد سلمان فارسی تأمین می‌گردد، که به علت خشکسالی و حضور ذینفعان دیگر همیشه قابلیت اطمینان ندارد. از سوی دیگر، شرکت آبفای فارس چاه‌های مختلفی را با ظرفیت برداشت و غلظت املاح محلول مختلف در اختیار دارد. ترکیب بهینه چاه‌ها و آب انتقالی از سد برای تأمین آب شرب به‌نحوی که قابلیت تأمین آب بیشینه شده و محدودیت‌های غلظت املاح محلول تأمین گردد سوال اصلی تصمیم‌گیران آبفا می‌باشد. بنابراین، بهره‌برداری تلفیقی رهسازی از سد و پمپاژ به‌عنوان رویکرد مدیریتی انتخاب و با لحاظ قید کیفیت و با هدف بیشینه‌سازی تأمین آب برای نیاز شرب، بهینه‌سازی می‌گردد. بهره‌برداری تلفیقی رهسازی سد و پمپاژ استراتژی انتخابی تصمیم‌گیر برای تأمین آب در این سیستم آبی از میان استراتژی‌های متعدد دیگر در منطقه است. مدل بهره‌برداری تلفیقی فرمول‌بندی، در محیط برنامه‌نویسی GAMS تهیه و توسط مدل بهینه‌سازی غیرخطی MINOS حل شده است. استراتژی بهره‌برداری تلفیقی در سه مرحله کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت برای اجراء، برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی شده و قواعد بهره‌برداری از سد و چاه‌ها ارائه شده است. قابلیت اطمینان در شرایط بدون استفاده از بهره‌برداری تلفیقی در میان‌مدت ۶۳٪ می‌باشد، در حالی که با بهره‌برداری تلفیقی این قابلیت اطمینان به ۹۰٪ می‌رسد. در شرایط بحرانی (خرابی بخشی از خط انتقال)، قابلیت اطمینان تأمین آب شرب ۴۹٪ است در حالی که با بهره‌برداری تلفیقی این قابلیت اطمینان به ۷۷٪ می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری تلفیقی، سد سلمان فارسی، قابلیت اطمینان، قواعد بهره‌برداری، مدل بهینه‌سازی GAMS

Maximizing Reliability of Supplying Drinking Water with Conjunctive Operation of Groundwater and Water Transferred from Salman-Farsi Dam

MR Nikoo^{*1}, A Karimi², MR Alizadeh³, A Baghlani⁴

Received: 09 August 2015 Accepted: 04 January 2017

¹ Assist. Prof., Dept. of Civil and Environmental Engin., Shiraz Univ., Iran

² Lecturer, Dept. of Civil Engin., Caledonian College of Engin., Muscat, Oman

³ M.Sc. Graduate, Dept. of Civil and Environmental Engin., Shiraz Univ., Iran

⁴ Assist. Prof., Dept. of Civil and Environmental Engin., Shiraz Univ. of Technology, Iran

* Corresponding Author, Email: nikoo@shirazu.ac.ir

Abstract

Drinking water supply to Larestan region in Fars, Iran, is fulfilled from Salman-Farsi Dam, which is not reliable all the times due to drought and presence of other stakeholders. On the other hand, there are many well fields available to Fars Water and Wastewater Company with varying discharge capacity and total dissolved solids concentration. Optimum mix of the transferred water from well-fields' pumping and the transferred one from the dam by the pipeline is the main question of the decision makers for maximizing the reliability of the drinking water while fulfilling the water quality constraints. Therefore, conjunctive use of dam's release and pumping is selected as managerial approach to be optimized under water quality constraints with the target of maximum drinking water supply to demands. The conjunctive use of the water released from dam and withdrawn from the wells is a candid strategy selected by the decision makers among many other strategies for water supply in the region. The conjunctive water use model is formulated in GAMS environment and solved by nonlinear optimization solver MINOS. The conjunctive water use strategy is planned and optimized for three stages of short-term, mid-term and long-term Operation, and operation rules for dam's release and pumping rates are presented. Current midterm water supply reliability from dam is 63% while with conjunctive use it becomes 90%. In emergency cases (malfunctioning of water transfer system) the reliability without conjunctive water use is 49% while conjunctive water use increases it to 77%.

Keywords: Conjunctive operation, GAMS optimization model, Operation rules, Reliability, Salman-Farsi Dam

مقدمه

یکی از رویکردهای بسیار مورد توجه در مدیریت منابع آب می‌باشد. که این موضوع برای مباحث پایداری در تأمین آب برای نیازهای آبی نیز مورد توجه محققان قرار داشته است. در چند دهه گذشته در مورد مسائل بهره‌برداری تلفیقی، مدل‌های مختلفی توسعه داده شده‌اند. مدل‌سازی سیستم آب زیرزمینی و ارتباط هیدرولیکی آبخوان و جریان‌ات سطحی (سینگ ۲۰۰۲)، سیستم آبی

مدیریت تلفیقی آب زیرزمینی و سطحی به بهره‌برداری هماهنگ و بهینه از منابع آب زیرزمینی و سطحی اطلاق می‌گردد که در جهت رفع نیازهای آبی و مدیریت کیفی سیستم برای دستیابی به توسعه پایدار بکار گرفته می‌شود. تلفیق منابع آب موجود زیرزمینی با منابع سطحی برای بالابردن قابلیت اطمینان تأمین آب،

مسائل مربوط به کیفیت آب، تدوین نمودند. ایشان در این تحقیق، به‌منظور تدوین مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی، از مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II، تئوری چانه‌زنی Young^۲ و مدل‌های شبیه‌سازی کیفی و کمی آب زیرزمینی MODFLOW و MT3D استفاده نمودند. صفوی و همکاران (۲۰۱۰)، یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی برای استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی در دشت نجف‌آباد اصفهان ارائه کردند. در این مطالعه از یک مدل شبکه عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی ارتباط بین آب-های سطحی و زیرزمینی و نیز از یک مدل الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی استفاده شد. محجوب و همکاران (۲۰۱۱)، یک مدل بهره‌برداری تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی را در ناحیه مراغه در ایران توسعه دادند. در مدل ارائه شده ایشان کاهش تراز آبخوان به‌عنوان معیاری برای قید آب زیرزمینی در نظر گرفته شد. کاندون و مکسول (۲۰۱۳)، یک مدل توسعه تخصیص آب (WAM^۳) برای یک مدل مشخص هیدرولوژیکی ParFlow (مدل جامع هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی جریان‌های سطحی و زیرسطحی)^۴ ارائه کردند. مدل ارائه شده برای بهینه‌سازی کردن رضایت‌مندی متقاضیان و آب‌برها با توجه به قیود و الویت‌های سیستم طراحی شد. به‌دلیل اینکه ParFlow سیستم آب سطحی و زیرزمینی را به‌طور همزمان حل می‌کند، هر دو مدل مدیریتی ارائه شده می‌تواند برای تصمیم‌گیری به‌کار رود. در این تحقیق مدلی ارائه شد که الگوریتم بهینه‌سازی تخصیص را به یک مدل فیزیکی هیدرولوژی (مدل ParFlow-WMA) ترکیب می‌کرد. خان و همکاران (۲۰۱۴) سه استراتژی مدیریت استفاده تلفیقی شامل ماشین آب گنگ (GWM)، پمپاژ همراه کانال‌ها (PAC)، و توزیع پمپاژ و تغذیه مصنوعی (DPR) در حوضه گنگ را مورد بررسی قرار دادند. مدل‌های عددی برای تعیین اثر بخشی این استراتژی‌ها

شامل آبخوان و رودخانه (فردریکس و همکاران ۱۹۹۸، مادوک ۱۹۷۴)، مدل مفهومی^۱ برای بهره‌برداری از مخازن آب با استفاده تلفیقی آب سطحی و زیرزمینی (الحاسان و همکاران ۲۰۰۳، امچ و همکاران ۱۹۹۸، ایلانگسکار و همکاران ۱۹۸۶)، استفاده تلفیقی از آب‌های سطحی و زیرزمینی (پولیدو و همکاران ۲۰۰۸، کارآموز و همکاران ۲۰۰۷، کارآموز و همکاران ۲۰۰۴، اونتتا و همکاران ۱۹۹۶)، مدل مدیریتی استفاده تلفیقی برای تدوین استراتژی‌های بهره‌برداری از یک سیستم رودخانه‌ای (ماتسوکاوا و همکاران ۱۹۹۲) از کارهای صورت گرفته در این زمینه هستند. همچنین در این مورد می‌توان به مهمترین موارد زیر به‌اختصار اشاره کرد: کریمی و اردکانیان (۲۰۱۱) بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی را با لحاظ برهم‌کنش‌های هیدرولوژیکی-اقتصادی-اجتماعی در مقیاس حوضه آبریز در یک افق برنامه‌ریزی بلندمدت با هدف بهینه‌سازی کارایی اقتصادی-اجتماعی تخصیص آب به تقاضاهای شرب، صنعت، کشاورزی در سطح حوضه آبریز زاینده‌رود مورد بررسی قرار داده‌اند. ایازی و کریمی (۲۰۱۳) بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم‌های آبی حوضه آبریز کرخه در یک افق بلندمدت را مورد بررسی قرار دادند در این مطالعه مراحل مختلف توسعه تحت تأثیر هماهنگ‌سازی و عدم‌هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از مخازن (به‌هنگام‌سازی منحنی‌های فرمان مخازن)، رودخانه و سفره زیرزمینی بر تأمین آب نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی، تولید انرژی و نیاز زیست محیطی در نظر گرفته شده است. کریمی و همکاران (۱۳۹۳) تأمین بلندمدت آب در سطح حوضه آبریز زاینده‌رود تحت تأثیر شرایط خشکسالی و توسعه ظرفیت انتقال آب از حوضه را با تدوین سناریوهای بهره‌برداری تلفیقی مورد بررسی قرار دادند. بازرگان و همکاران (۲۰۰۹)، یک مدل حل اختلاف را به‌منظور بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در کلان‌شهر تهران، با در نظر گرفتن

² Young bargaining theory

³ Water allocation module

⁴ Integrated hydrological model for simulating subsurface and surface flow

^۱ Conceptual

رعایت شده و تصمیم‌ها برای برداشت آب نیز از بهیمنگی بلندمدت در قالب درصد تأمین نیاز شرب و هزینه بهره‌برداری برخوردار باشند.

مواد و روش‌ها

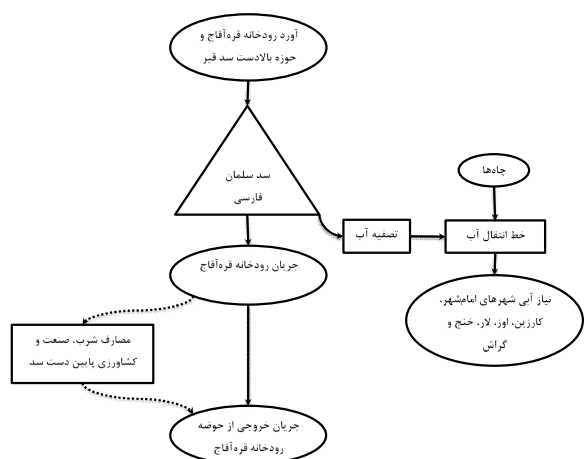
منطقه مورد مطالعه

منطقه قیر و کارزین تا لارستان در بخش خشک و جنوب استان فارس قرار گرفته است. تأمین آب شرب برای روستاها و شهرهای متعددی که از قیر و کارزین تا لارستان، به‌علاوه جهرم در این منطقه قرار دارند توسط سد سلمان فارسی در قیر و کارزین تأمین می‌شود. سد سلمان از طریق یک خط لوله آب را به تصفیه‌خانه انتقال داده و از آنجا توسط خط انتقال دیگری آب به روستاها و مناطق زیادی نظیر امام‌شهر، خنج، لار، اوز، گراش و... ارسال می‌گردد. در سال‌های نخست یکی از مشکلات بهره‌برداری از این سیستم خرابی خط انتقال بود. البته در سال‌های اخیر کم‌آبی و وجود ذینفعان متعدد منجر به کاهش انتقال آب برای شرب گردیده است. آبفا به‌عنوان متولی تأمین آب شرب، برای مقابله با مشکل تأمین آب در صدد است امکان و چگونگی تلفیق چاه‌های موجود و سیستم انتقال (که در آینده دو خط دیگر به آنها اضافه خواهد شد؛ یکی خط دوم لارستان به‌عنوان خط شماره ۲ و دیگری یک خط انتقال برای جهرم) مورد بررسی قرار دهد. شهرها و روستاها در منطقه (فتح‌آباد، قیر، خنج، اوز، گراش، لار و روستاهای بین راهی شامل نیم‌ده، لاغر، سیف‌آباد، کهنویه، سده، فیشور، طیفی و خور) می‌باشد. منابع اصلی تأمین آب، رودخانه قره‌قاج، سد سلمان فارسی و آبخوان محدوده طرح و نیز آب‌انبارها و آب شیرین‌کن‌ها می‌باشد. رودخانه قره‌قاج، سد سلمان فارسی و آبخوان محدوده طرح منابع اصلی و تأثیرگذار تأمین آب هستند، که کارآیی تأمین آب توسط آن‌ها به تقاضاهای آبی، آب قابل عرضه و شیوه تخصیص آب قرار دارد. شکل ۱ نقشه حوضه آبریز رودخانه قره‌قاج،

استفاده شد. نتایج نشان داد که DPR نیز مانند دو روش دیگر نیاز به سرمایه‌گذاری و مدیریت دارد، اما استراتژی توزیع پمپاژ (DPR) کم‌هزینه‌تر است و می‌تواند به‌راحتی از طریق اقتباس از شیوه‌های موجود استفاده از آب در حوضه اجرا شود. رفیع پور و همکاران (۲۰۱۴) مدلی بر مبنای شبکه‌های بیزی برای بهره‌برداری تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی ارائه کردند. در مدل ایشان مدل بهینه‌ساز چندهدفه به مدل بیزی متصل شده است و کیفیت آب و نیز مقدار افت تراز آب زیرزمینی مدنظر قرار گرفته است.

همان‌طور که مشخص است، منطق به‌کاربرده شده در تخصیص آب و بهره‌برداری تلفیقی از منابع مختلف شامل رویکردهای اولویت محور، توابع هدف اقتصادی-اجتماعی-زیست‌محیطی در چارچوب شبیه‌سازی و یا بهینه‌سازی کوتاه و بلندمدت توسط محققان زیادی بررسی شده است. از طرفی در مورد تأمین آب برای منطقه لارستان در جنوب استان فارس نیز استفاده از منابع موجود زیرزمینی در اختیار آب و فاضلاب (آبفا) است. در این تحقیق نحوه صحیح تلفیق منابع آب زیرزمینی با آب انتقالی از سد سلمان در شرایط مختلف تأمین آب از سد، با توجه به هزینه کمتر بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و در مقایسه با استفاده از گزینه‌های دیگر مانند استفاده از آب شیرین‌کن‌ها، دریاچه‌های فصلی و یا آب‌انبارها مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف اصلی این پژوهش یافتن راهکارهایی است که بتواند کارکرد سیستم آبی را در شرایط مختلفی هیدرولوژیکی و خرابی سیستم انتقال آب، در حد کارآمد از منظر تأمین آب حفظ نموده و از محدودیت‌های زیست‌محیطی نیز تخطی نکند به‌طوری‌که میزان برداشت بهینه توأمان از منابع سطحی (رودخانه قره‌قاج و مخزن سد سلمان فارسی) و سفره آب زیرزمینی محدوده طرح در شرایط کم‌آبی با شدت‌های متفاوت در قالب سناریوهای برداشت آب تعیین شود، به‌نحوی که محدودیت‌های بهره‌برداری از هر دو منبع

گراش)، منطقه ۵ (لار) و منطقه ۶ (لطیفی) تقسیم شده است. در محدوده مورد مطالعه در مجموع تعداد ۳۸ حلقه چاه برداشت وجود دارد.



شکل ۲- مدل مفهومی مسئله بهره‌برداری تلفیقی در تأمین نیاز آب.

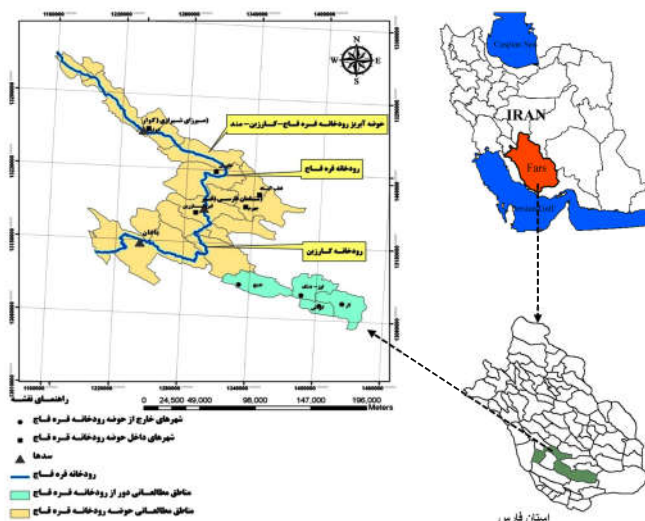
نهایت بهترین قاعده برای تأمین آب شرب با قابلیت اطمینان بالا برای منطقه مورد مطالعه ارائه شد. در این پژوهش هدف از حل مساله بهره‌برداری تلفیقی موارد زیر می‌باشد:

- تعیین درصد افزایش تأمین آب شرب در شرایط بهره‌برداری تلفیقی نسبت به شرایط بدون آن
- تعیین قواعد بهره‌برداری بهینه تلفیقی از رودخانه، مخزن، آبخوان و برآورد اثرات مختلف مترتب بر آن (افزایش تأمین آب، کاهش اثرات زیست‌محیطی)

تشریح مسئله در قالب مدل مفهومی

شکل ۲ مدل مفهومی سیستم آبی، اجزاء آن و ارتباطات آن‌ها در این مطالعه را نشان می‌دهد. در این مدل تأثیر بهره‌برداری بالادست، و تأثیر بر جریان آب در پایین‌دست سد سلمان فارسی و عملکرد تلفیقی آن با آبخوان و دیگر منابع نشان داده شده است که توسط

سدها و مناطق مطالعاتی آن را نشان می‌دهد. به‌منظور بررسی سیاست‌های بهینه برداشت تلفیقی محدوده مورد مطالعه به ۶ منطقه شامل، منطقه ۱ (قیر و کارزین)، منطقه ۲ (خنج)، منطقه ۳ (اوز)، منطقه ۴



شکل ۱- نقشه حوضه آبریز رودخانه قره‌قاج، سدها و مناطق مطالعاتی آن.

ساختار پیشنهادی

در این تحقیق از رویکرد مدل‌سازی ریاضی برای تهیه ابزار مناسب تحلیل عملکرد سیستم آبی از منظر تأمین آب در شرایط مختلف استفاده شده است. ابتدا سیستم در قالب یک مدل مفهومی تعریف شده و ارتباط اجزاء مختلف سیستم تأمین آب در آن مشخص شده است. سپس این مدل با امکان تحلیل اثرات مختلف بر تأمین آب به‌صورت ریاضی مدل‌سازی گردید. سناریوهای مختلف برای خرابی سیستم انتقال آب در مراحل مختلف توسعه، خط فعلی، دو خط انتقال به لارستان و خط سوم به جهرم به‌علاوه سناریوهای کاهش آبدی چاه‌ها و بدتر شدن کیفیت آن‌ها تدوین شدند. تحلیل‌های مختلف برای هر ترکیب از سناریوها در بدترین حالت صورت گرفته و نتایج به‌دست آمد. این نتایج برای هر سناریو در قالب قاعده نیز ارائه گردید. در

آن می‌توان تأثیر سناریوهای مختلف تأمین آب شرب را بر بهره‌برداری سیستم و تأمین نیازهای دیگر ذینفعان بررسی نمود.

ساخت مدل بهره‌برداری تلفیقی

مدل بهره‌برداری تلفیقی به این منظور که بتوان توسط آن تأمین آب برای تقاضاهای آبی را در حوضه آبریز رودخانه قره‌قاج با لحاظ اهداف تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت و محیط‌زیست در یک افق بلندمدت ارزیابی نمود، تدوین شده است. در این تحقیق مدل-سازی با ساختار مشخص به‌نحوی صورت گرفته که مقدار آب قابل تأمین توسط مدل بهره‌برداری سیستم آبی تعیین گردد با این هدف که مقدار کمبود در تأمین تقاضاهای آبی در دوره برنامه‌ریزی کمینه شود. نحوه مدل‌سازی به این صورت می‌باشد که برای یک منطقه نمونه شامل اجزا سیستم آبی مدل‌سازی صورت می‌گیرد. فرض می‌شود که در یک منطقه نمونه اجزایی شامل؛ مخزن سد، رودخانه، آب زیرزمینی، نقاط برداشت آب، مصارف شرب، صنعت، کشاورزی و نیاز کمینه زیست‌محیطی رودخانه قرار دارند. موارد دیگری که ارتباط این منطقه نمونه را با مناطق دیگر نشان می‌دهد شامل، ورودی از رودخانه مناطق بالادست به رودخانه و یا مخزن در منطقه نمونه، خروجی از رودخانه منطقه نمونه به مناطق پایین‌دست، انتقال آب از مناطق دیگر به مخزن و رودخانه در منطقه نمونه، انتقال آب از مخزن و رودخانه منطقه نمونه به مناطق دیگر می‌باشد. بدین ترتیب با جمع‌مدل‌های هر یک از مناطق مدل کل حوضه آبریز با لحاظ اندرکنش بین مناطق مختلف تشکیل‌دهنده آن، ساخته می‌شود. معادلات اصلی مدل نیز، بیلان آب و جرم نمک در مخزن سد و

لوله خط انتقال آب شرب می‌باشد. سرتاسر خط انتقال در نقاطی که پمپاژ چاه‌ها به خط وارد می‌شود، معادلات بیلان حجم آب و جرم نمک استفاده شده است. در نقاطی که برداشت آب از خط لوله انجام می‌شود نیز بیلان آب و جرم نمک مورد استفاده قرار گرفته است. چاه‌ها به‌عنوان یک منبع با مقدار برداشت بیشینه مشخص و شوری مشخص در مدل لحاظ شده‌اند. برداشت از مجموعه چاه‌ها در نقاط مشخصی به جریان در خط لوله افزوده می‌شود. در هر نقطه تعداد چاه‌هایی که می‌توان از آن برداشت انجام داد مشخص است.

مدل ریاضی بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی

مدل بهره‌برداری از سیستم آبی و نیز مدل‌سازی تقاضاهای آبی توسط معادلات ریاضی صورت گرفته است. همچنین برای مدل‌سازی عدم‌قطعیت در آوردها و تقاضاهای آبی، از رویکرد سناریوها استفاده شده است. این روش جزء رویکردهای صریح لحاظ عدم‌قطعیت در مدل‌سازی می‌باشد. در این روش عدم‌قطعیت توسط سناریوهایی برای هر پارامتر غیرقطعی در نظر گرفته شده و توأمان توسط مدل تحلیل می‌گردد. در معادله ۱ تابع هدف مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی ارائه شده است. استراتژی تابع هدف انتخاب ترکیب بهینه چاه‌های موجود آبفا در هر منطقه با آب انتقالی از سد با هدف تأمین نیازهای شرب از منظر کمی و کیفی می‌باشد. استفاده از گزینه‌های دیگر مانند آب دریاچه‌های فصلی، ذخیره آب در آب انبارها، انحراف سیلاب و مدیریت آن‌ها و تغذیه مصنوعی دشت، به‌واسطه هزینه‌ها و کیفیت نامطلوب آب مرتبط با این منابع و نیز زمان‌بر بودن بهره‌برداری از آن‌ها در تدوین معادله در نظر گرفته نشده است.

$$\begin{aligned}
 Obj = & \sum_y \left(\sum_m \left(w_1 \frac{R_{y,m}}{TD_y} \right) + \sum_m \left(w_2 \frac{SWD_{y,m}}{DD_{y,m}} \right) + \sum_m \left(w_3 \frac{\sum_{r,j} QW_{r,j}^{y,m}}{DD_{y,m}} \right) + \right. \\
 & \sum_r \left(w_4 \frac{DWDef_{y,r}}{DD_{y,r}} \right) + \left(w_5 \frac{DERIR_y}{DRD_y} \right) + \left(w_6 \frac{DefIND_y}{INDD_y} \right) + \left(w_7 \frac{DefENV_y}{EnvD_y} \right) \\
 & + \left(w_8 \frac{DefENVQ_y}{EnvqT_y} \right) + \sum_m \left(w_9 \frac{SP_{y,m}}{S_{max}} \right) + \sum_m \left(w_{10} \frac{E_{y,m}}{S_{max}} \right) + \sum_m \left(w_{11} \frac{PCF_{y,m}^r}{12 \times TRGTQ} \right) \\
 & + w_{12} \frac{DEVST}{S_{max}}
 \end{aligned} \quad [9]$$

در معادلات بالا تعریف متغیرها به شرح زیر می‌باشد:

R	رهاسازی از مخزن سد (MCM)	$INDD$	نیاز صنعت (MCM)
SWD	آب تأمین شده از سد برای خط انتقال (شرب) (MCM)	$EnvD$	نیاز زیست محیطی (MCM)
QW	مقدار پمپاژ در نقطه z از خط انتقال (MCM)	$EnvqT$	کیفیت مطلوب زیست محیطی ($mg L^{-1}$)
$DWDef$	کمبود در تأمین نیاز شرب (MCM)	SP	سرریز از مخزن سد (MCM)
$DERIR$	کمبود در تأمین نیاز کشاورزی (MCM)	S_{max}	بیشینه حجم ذخیره مخزن (MCM)
$DefIND$	کمبود در تأمین نیاز صنعت (MCM)	E	تبخیر ماهانه از مخزن (MCM)
$DefENV$	کمبود در تأمین نیاز زیست محیطی (MCM)	PCF	کیفیت آب در خط لوله ($mg L^{-1}$)
DRD	نیاز کشاورزی (MCM)	$DEVST$	انحراف حجم ذخیره از مقدار مطلوب (MCM)
$TRGTQ$	مقدار آرمانی کیفیت آب ($mg L^{-1}$)	w	وزن اهمیت اهداف مختلف
TD	کل نیاز پایین‌دست سد (MCM)	m	ماه مورد نظر
DD	نیاز شرب پایین‌دست سد (MCM)	r	شمارنده منطقه
		y	شمارنده سال

رویکرد برنامه‌ریزی استراتژیک تدوین‌شده

رویکرد برنامه‌ریزی استراتژیک تدوین‌شده در این مطالعه تأمین آب شرب از طریق تلفیق آب انتقالی از سد و پمپاژ از چاه‌های آبفا می‌باشد. البته تهدیدهایی چون خشکسالی و خرابی خط لوله نیز لحاظ شده است. بهره‌برداری تلفیقی به‌عنوان یک فرصت در کنار استفاده از پتانسیل‌های موجود (سد و آبخوان) برای کاهش تهدیدها و رفع بخشی از نقطه ضعف سیستم که ناکافی بودن حجم انتقال می‌باشد، در راستای تأمین نیاز آبی شهرهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. هدف یا دورنمای این استراتژی شامل موارد زیر می‌باشند:

- تأمین نیازهای شرب شهرها و روستاهای در مسیر خط انتقال از منظر کمی و کیفی.

- تأمین آب برای نیازهای فعلی در حدود ۳۶ میلیون متر مکعب (با توجه به اطلاعات در دسترس) و ۴۳ میلیون متر مکعب در سال در افق طرح.
- تأمین کیفیت آب ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر برای غلظت کل جامدات محلول (TDS^5) (مقدر حد مجاز غلظت کل جامدات محلول، ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد)

با توجه به اینکه اصلی‌ترین نقطه ضعف این سیستم در کنار نقطه قوت تأمین آب کافی و با کیفیت، خرابی خط لوله در نقاط بحرانی آن (نظیر نقطه قعر قبل از خنج) می‌باشد، استراتژی بلندمدت، مقاوم‌سازی و بهبود سیستم انتقال و ساخت خطوط انتقال جدید برای کاهش ریسک خرابی سیستم انتقال آب است. در

⁵ Total dissolved solid

گرفته شده است. مدل بهینه‌سازی به‌ازای شرایط مذکور و با لحاظ ۵ سناریوی مختلف برای هرکدام از شرایط مختلف نیازهای آبی شرب، برای امکان تأمین آب شرب از خط لوله، اجرا گردیده است.

حالت نیاز آبی ۱: نیاز شرب ۱۵/۵ میلیون مترمکعب، معادل با دبی ۴۹۱/۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد و به‌ازای امکان تأمین ۳۰، ۵۰، ۷۵، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیازهای شرب فعلی از خط لوله (به‌ترتیب معادل با ۱۴۷/۴۵، ۲۴۵/۷۵، ۳۶۸/۶۲، ۳۹۳/۲ و ۴۹۱/۵ لیتر بر ثانیه).

حالت نیاز آبی ۲: نیاز شرب ۳۱ میلیون مترمکعب، معادل با دبی ۹۸۳ لیتر بر ثانیه می‌باشد و به‌ازای امکان تأمین ۵۰، ۶۵، ۷۵، ۸۰ و ۹۰ درصد نیازهای شرب از خط لوله (به‌ترتیب معادل با ۴۹۱/۵، ۶۳۸/۹۵، ۷۳۷/۲۵، ۷۸۶/۴ و ۸۸۴/۷ لیتر بر ثانیه).

حالت نیاز آبی ۳: نیاز شرب ۳۶ میلیون مترمکعب، معادل با دبی مورد نیاز ۱۱۴۱/۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد و به‌ازای امکان تأمین ۵۵، ۶۰، ۷۵، ۸۰ و ۹۰ درصد نیازهای شرب از خط لوله (به‌ترتیب معادل با ۶۲۷/۸، ۶۸۴/۹، ۸۵۶/۱۲، ۹۱۳/۲ و ۱۰۲۷/۳۵ لیتر بر ثانیه).

حالت نیاز آبی ۴: نیاز شرب ۴۳ میلیون مترمکعب، معادل با دبی مورد نیاز ۱۳۶۳/۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد و به‌ازای امکان تأمین ۶۵، ۷۰، ۷۵، ۸۰ و ۹۰ درصد نیازهای شرب از خط لوله (به‌ترتیب معادل با ۸۸۶/۲۷، ۹۵۴/۴۵، ۱۰۲۲/۶۲، ۱۰۹۰/۸ و ۱۲۲۷/۱۵ لیتر بر ثانیه).

نتایج و بحث

با توجه به قواعد تدوین شده (قواعد بهینه برداشت تلفیقی در شرایط رخداد سناریوهای مختلف) برای برداشت از چاه‌ها با توجه به مقدار آب تحویلی به خط انتقال از سد سلمان، اثرات کوتاه و بلندمدت کاربرد قوانین مربوطه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. کاربرد هر یک از قواعد مربوط به هر مرحله از توسعه، که از کوتاه‌مدت (دوره کنونی) تا بلندمدت را در بر می‌گیرد،

خصوص ساخت سناریوها در چارچوب استراتژی‌های مورد نظر موارد زیر در نظر گرفته شده است:

- شرایط آورد به سد از منظر نرمال، خشک و تر بودن سال و تاثیر آن بر آب قابل انتقال تحلیل و در مقدار آب قابل انتقال لحاظ شده است. در تمامی حالات آب شرب قابل تأمین بوده است.
- تخصیص فعلی، نیمی از تخصیص نهایی و تخصیص نهایی شرایط بهره‌برداری کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت را در چارچوب استراتژی تأمین آب تعریف می‌کنند. مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از سد و آبخوان در هر یک از شرایط نیاز آبی مذکور تحلیل شده است.

استفاده از منابع مختلف برای تأمین آب شرب و تلفیق نمودن آن‌ها در شبکه تأمین آب، با توجه به امکانات تکنولوژیکی، ارزش افزوده بیشتری در مقایسه با سرمایه‌گذاری اولیه برای تأمین آب بر حسب اطمینان‌پذیری در بلندمدت خواهد داشت. بدین علت که امکان انتقال بین منابع با توجه به هزینه یا قابلیت اطمینان تأمین آب راحت‌تر خواهد بود. استفاده تلفیقی از منابع آبخوان و آب سطحی در مناطق با کمبود آب، به‌منظور تأمین آب کافی و افزایش قابلیت اطمینان تأمین آب صورت می‌گیرد. با به‌کارگیری این سیاست اختلاف و رقابت بین ذینفعان آب بر نیز کاهش می‌یابد (ماریو ۲۰۰۱، دالیائوس ۲۰۱۲). تحلیل مدل برای حالات مذکور در بالا که مبین تهدیدها و اهداف سیستم می‌باشند، برنامه عملکردی بهینه برای تأمین اهداف را در قالب استراتژی انتخابی به‌دست می‌دهد که در ادامه به صورت قواعد بهینه برداشت ارائه شده‌اند.

قواعد بهینه برداشت تلفیقی در شرایط رخداد سناریوهای مختلف

به‌منظور تعیین قواعد بهره‌برداری در شرایط مختلف نیازهای آبی شرب، در این بخش، ۴ مقدار نیاز آبی مختلف برابر با ۱۵/۵ (نیازهای فعلی)، ۳۱، ۳۶ و ۴۳ میلیون مترمکعب و در هر حالت ۵ سناریو مختلف در نظر

مقدار برداشت آب مورد نیاز در منطقه ۶، صفر بوده است برای همین نموداری برای آن ترسیم نشده است). شکل‌های زیر با توجه به لحاظ شرایط مختلف محتمل در امکان تأمین آب از خط لوله، دبی لازم برای پمپاژ از چاه‌های هر منطقه را تعیین کرده است.

همان‌طورکه در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌گردد، در دو منطقه ۱ و ۲، تنها در دو سناریوی ۱ و ۲ (شرایطی که تنها، امکان تأمین نیاز ۳۰ و ۵۰ درصد کل نیازهای آبی شرب فعلی از خط لوله، فراهم است)، نیاز به تزریق دبی چاه‌ها به شبکه خط لوله است. در بقیه سناریوها، برداشت از چاه‌ها، صفر خواهد بود.

جدول ۱- نتایج ارزیابی قواعد بهره‌برداری در کوتاه‌مدت (تأمین نیاز شرب ۱۵/۵ میلیون متر مکعب).

شاخص‌های ارزیابی					سناریوی نیاز شرب ۱۵/۵ (MCM)				
					قاعده ۱	قاعده ۲	قاعده ۳	قاعده ۴	قاعده ۵
تأمین از سد (MCM)					۴/۷	۷/۸	۱۱/۶	۱۲/۴	۱۵/۵
تأمین از چاه‌ها					۱۰/۸	۷/۷	۳/۹	۳/۱	۰
بیشینه غلظت (mg L ⁻¹)					۸۳۳	۷۲۷	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵
کمینه غلظت (mg L ⁻¹)					۶۲۴	۶۶۲	۶۱۷	۶۱۴	۶۲۵
متوسط غلظت (mg L ⁻¹)					۷۶۵	۶۸۸	۶۲۱	۶۱۹	۶۲۵
اختلاف غلظت (mg L ⁻¹)					۲۱۰	۶۵	۸	۱۱	۰
تعداد چاه‌ها					۲۶	۲۰	۹	۹	۰

جدول ۲- نتایج ارزیابی قواعد بهره‌برداری در میان‌مدت (تأمین نیاز شرب ۳۱/۱ میلیون متر مکعب).

شاخص‌های ارزیابی					سناریوی نیاز شرب ۳۱/۱ (MCM)				
					قاعده ۱	قاعده ۲	قاعده ۳	قاعده ۴	قاعده ۵
تأمین از سد (MCM)					۱۵/۶	۲۰/۲	۲۲/۳	۲۴/۹	۲۸
تأمین از چاه‌ها					۱۵/۶	۱۰/۹	۷/۸	۶/۲	۳/۱
بیشینه غلظت (mg L ⁻¹)					۱۰۰۰	۷۵۶	۶۶۹	۶۴۷	۶۲۵
کمینه غلظت (mg L ⁻¹)					۶۵۳	۶۵۰	۶۴۷	۶۳۸	۶۱۹
متوسط غلظت (mg L ⁻¹)					۷۷۹	۶۹۵	۶۵۷	۶۴۲	۶۲۲
اختلاف غلظت (mg L ⁻¹)					۳۴۷	۱۰۶	۲۲	۱۰	۶
تعداد چاه‌ها					۳۶	۲۶	۲۱	۱۴	۹

توسط تحلیل SWOT^۶ (ماتریس حاوی نقاط قوت، ضعف، فرصتها و تهدیدها) ارزیابی‌شده و اثرات آن‌ها در قالب ملزومات تأمین آب و کیفیت آب تأمین‌شده ارائه شده است. تحلیل SWOT یکی از ابزارهای برنامه‌ریزی استراتژیک است که برای ارزیابی وضعیت داخلی و خارجی یک سناریو استفاده می‌شود. از این روش علاوه بر برنامه‌ریزی راهبردی به‌طور کلی در تحلیل وضعیت سناریوها استفاده می‌شود. پایه و اساس این ابزار کارآمد در مدیریت استراتژیک است. خلاصه قواعد بهره‌برداری از سیستم آبی سد (خط انتقال) و چاه‌ها در جداول ۱ تا ۴ نشان داده شده است. شاخص‌های در نظر گرفته‌شده برای ارزیابی هر سناریوی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت، مقدار آب تأمین‌شده از سد (خط لوله انتقال آب)، مقدار آب تأمین شده از چاه‌ها، غلظت متوسط TDS، بیشینه و کمینه آن و تعداد چاه‌های بهره‌برداری شده در نظر گرفته شده است.

رتبه‌بندی و ارزیابی قواعد بهره‌برداری

به‌منظور ارزیابی و امتیازبندی (رتبه‌بندی) قواعد بهره‌برداری در هر یک از سناریوهای توسعه مصرف شرب با توجه به جایگاه کیفیت آب در بخش شرب، قواعد بهینه بهره‌برداری با توجه به حجم آب تحویلی از سد در قالب جداول ۱ تا ۴ ارائه شد. با توجه به جایگاه کیفیت آب در بخش شرب و نیز با توجه به کیفیت بهتر آب مخزن، تقریباً در تمامی سناریوهای توسعه، اولویت تأمین آب از مخزن مشاهده می‌شود. با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته قاعده ۵ بیشترین امتیاز را کسب می‌کند.

در شکل‌های ۳ تا ۷، قواعد در قالب مقدار دبی بهینه برداشت از چاه‌های مناطق شش‌گانه منطقه مورد مطالعه، به‌ترتیب، به‌ازای امکان تأمین ۳۰، ۵۰، ۷۵، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیازهای شرب فعلی از خط لوله (به‌ترتیب معادل با ۱۵۴۷/۴۵، ۲۴۵۰/۷۵، ۳۶۸/۶۲، ۳۹۳/۲ و ۴۹۱/۵ لیتر بر ثانیه)، ارائه شده است (لازم به ذکر است که

⁶ Strengths, weaknesses, opportunities and threats analysis (SWOT)

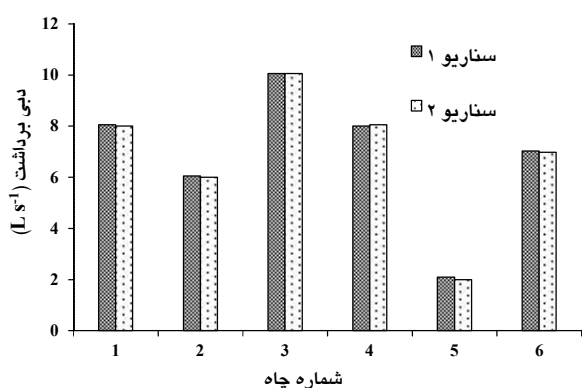
جدول ۳- نتایج ارزیابی قواعد بهره‌برداری در میان‌مدت

(تأمین نیاز شرب ۳۶ میلیون متر مکعب).

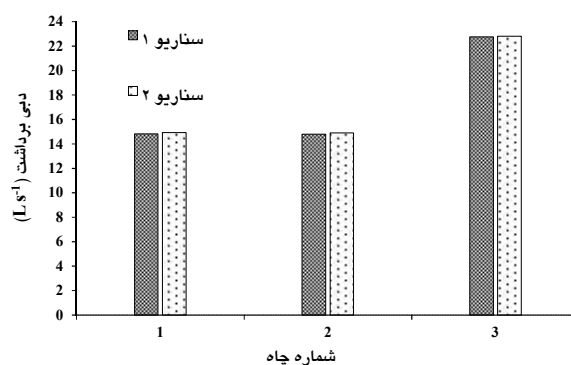
جدول ۴- نتایج ارزیابی قواعد بهره‌برداری در بلندمدت

(تأمین نیاز شرب ۴۳ میلیون متر مکعب).

سناریوی نیاز شرب ۳۶ (MCM)					سناریوی نیاز شرب ۴۳ (MCM)				
شاخص‌های ارزیابی					شاخص‌های ارزیابی				
قاعده	قاعده	قاعده	قاعده	قاعده	قاعده	قاعده	قاعده	قاعده	قاعده
۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
تأمین از سد (MCM)	۱۹/۸	۲۱/۶	۲۷	۲۸/۸	۳۲/۴	۲۸/۸	۲۲/۳	۳۰/۲	۲۸/۱
تأمین از چاه‌ها	۱۶/۲	۱۴/۴	۹	۷/۲	۲/۶	۷/۲	۱۲/۸	۱۴/۹	۴/۳
بیشینه غلظت (mg L^{-1})	۱۰۰۰	۸۸۷	۶۸۶	۶۵۴	۶۲۵	۶۵۴	۷۱۸	۷۸۲	۶۲۸
کمینه غلظت (mg L^{-1})	۶۵۰	۶۴۸	۶۴۴	۶۴۳	۶۲۱	۶۴۳	۶۴۱	۶۴۲	۶۲۴
متوسط غلظت (mg L^{-1})	۷۷۴	۷۳۸	۶۶۶	۶۴۷	۶۲۳	۶۴۷	۶۷۴	۶۹۷	۶۲۵
اختلاف غلظت (mg L^{-1})	۳۵۰	۲۳۹	۴۲	۱۱	۴	۱۱	۷۷	۱۴۰	۳
تعداد چاه‌ها	۳۷	۳۳	۲۵	۲۰	۹	۲۰	۲۵	۲۹	۱۳



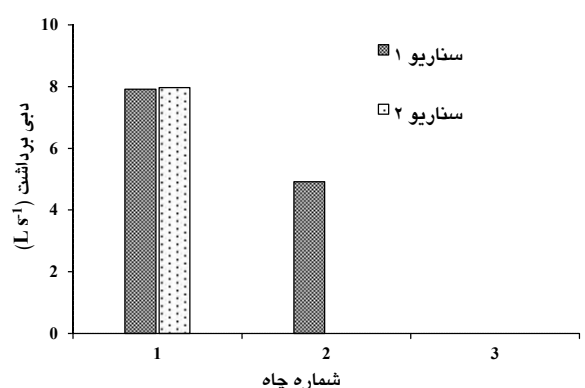
شکل ۴- برداشت از چاه‌های منطقه ۲ (خنج) در سناریوهای مختلف تأمین نیاز از خط لوله در شرایط فعلی.



شکل ۳- برداشت از چاه‌های منطقه ۱ (قیر و کارزین) در سناریوهای مختلف تأمین نیاز از خط لوله در شرایط فعلی.

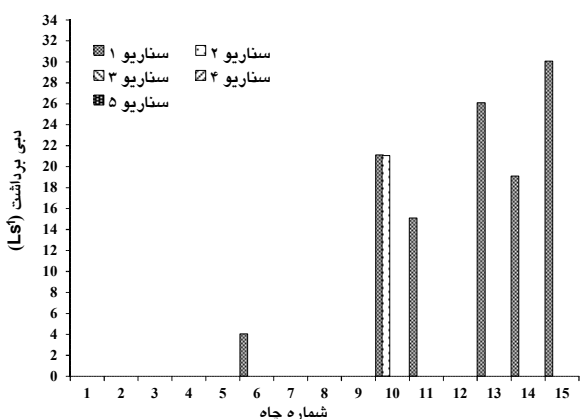
پذیرد و در سناریوی ۲ نیز فقط دبی چاه اول نیاز است به شبکه تزریق شود. در سایر سناریوها، دبی لازم برای برداشت از همه چاه‌ها صفر است.

همان‌طورکه در شکل ۶ نشان داده شده است، در منطقه ۴ که دارای ۹ حلقه چاه می‌باشد، در چهار سناریوی ۱ تا ۴، بایستی از همه چاه‌ها، آب برداشت شود و به شبکه تزریق گردد. تنها در شرایط سناریوی ۵ (شرایطی که امکان تأمین نیاز ۱۰۰ درصد کل نیازهای آبی شرب فعلی از خط لوله، فراهم است) مقدار برداشت آب از چاه‌ها تقریباً قابل صرف نظر کردن است و خط لوله، جواب‌گوی تأمین نیاز در این منطقه، خواهد بود. لذا در سایر حالات، در منطقه ۴، باید پمپاژ آب از چاه‌های آبفا به شبکه صورت پذیرد.



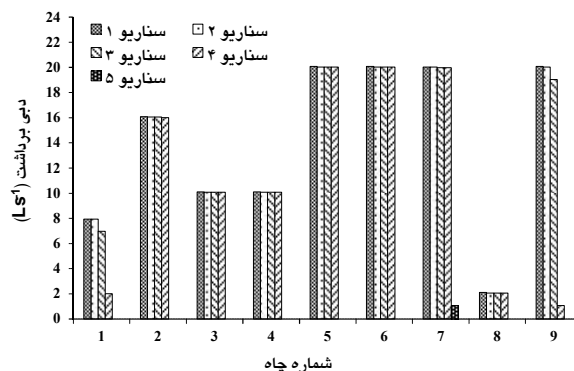
شکل ۵- برداشت از چاه‌های منطقه ۳ (اوز) در سناریوهای مختلف تأمین نیاز از خط لوله در شرایط فعلی.

در منطقه ۳، همان‌طورکه در شکل ۵ نشان داده شده است، از سه چاه موجود در این منطقه، در سناریوی ۱، از دو چاه اول و دوم باید برداشت صورت



شکل ۷- برداشت از چاه‌های منطقه ۵ (لار) در سناریوهای مختلف تأمین نیاز از خط لوله در شرایط فعلی.

سناریوهایی که در شرایط خرابی یک یا هر دو خط لوله از کدام چاه‌ها استفاده شود، در شرایط مختلف بررسی شده و نتایج آن نیز ارائه شده است. نتایج عملکرد سناریوها و قواعد بهره‌برداری در تلفیق خطوط لوله آبرسانی از مخزن و نیز چاه‌های بهره‌برداری برای بالا بردن اطمینان‌پذیری تأمین آب در شرایط بهره‌برداری تلفیقی نسبت به شرایط بدون آن نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان اگر فقط سد استفاده می‌شد ۶۳٪ و در حالت خرابی خط لوله‌ها ۴۹٪ بوده است که با تلفیق و بهینه‌سازی این مقادیر به بالای ۷۵٪ رسیده است. همچنین در تخصیص کامل بدون خرابی قابلیت اطمینان (آخرین ستون) ۷۳٪ می‌بود که با تلفیق و بهینه‌سازی به ۱۰۰٪ رسیده است.



شکل ۶- برداشت از چاه‌های منطقه ۴ (گراش) در سناریوهای مختلف تأمین نیاز از خط لوله در شرایط فعلی.

در منطقه ۵ که دارای ۱۵ حلقه چاه می‌باشد، همان‌طور که در شکل ۷ نشان‌دهنده شده است، تنها در سناریوهای اول و دوم نیاز است به ترتیب، از ۶ و یک حلقه چاه آب برداشت شده و به شبکه تزریق گردد. در سایر حالات، در منطقه ۵، نیازی به پمپاژ آب از چاه‌های آبفا به شبکه نخواهد بود. در منطقه ۶ (لطیفی) نیز مقدار آب مورد برداشت از چاه‌ها در تمامی سناریوها صفر خواهد بود. مدل تخصیص آب، که برای ارزیابی بلندمدت اثر سیاست‌ها و هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از مخازن و سفره آب زیرزمینی بر مقدار آب قابل عرضه، قابلیت اطمینان و پایداری آن، می‌تواند به‌کار گرفته شود، به‌صورت خلاصه در جدول ۵ ارائه شده است. بهره‌برداری از سد به‌گونه‌ای انجام پذیرفته است که قابلیت اطمینان تأمین آب شرب بیشینه شود. همچنین

جدول ۵- نتایج عملکرد سناریوها و قواعد بهره‌برداری در بیشینه‌سازی آب قابل تأمین در تلفیق خط لوله کنونی و چاه‌ها.

تخصیص کامل خط لوله لار و خط لوله	خرابی یکی از دو خط لوله لارستان		تخصیص کامل خط لوله لار و	شرایط تخصیص و انتقال و پارامترهای تأمین آب
	خط لوله دو لار	خط لوله یک لار		
چهرم	و چهرم	و چهرم	چهرم	
۵/۴۴	۳/۶۲۸	۳/۶۲۸	۳/۵۱۵	حجم ماهانه آب انتقالی از سد (MCM)
۱/۹۷	۲/۰۵۸	۱/۹۸۳	۱/۴۶۴	حجم ماهانه برداشت از آبخوان (MCM)
۵/۱۴	۵/۱۴۲	۵/۱۴۲	۳/۸۵۸	نیاز ماهانه آبی لارستان (MCM)
۲/۲۷	۲/۲۶۸	۲/۲۶۸	۱/۷۰۱	نیاز ماهانه آبی چهرم (MCM)
۹۳۰	۱۱۳۳	۱۱۱۲	۱۰۴۸	کیفیت آب (mg L ⁻¹)
۱/۰۰	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۹۰	قابلیت اطمینان (%)
۱/۴۰	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۷۰	دبی خط انتقال لارستان (CMS)
۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۶۶	دبی خط انتقال چهرم (CMS)
۸۸/۹	۸۸/۹	۸۸/۹	۶۶/۷	نیاز آبی سالانه (MCM)

آب سطحی (خط لوله) و زیرزمینی (چاه‌ها) نشان می‌دهد که در شرایط نیاز آبی فعلی (۱۵/۵ میلیون مترمکعب)، قاعده ۵ بیشترین امتیاز را نسبت به سایر حالات کسب می‌کند که در نتیجه این حالت درصد برداشت از چاه در کنار آب تأمین شده از سد (خط لوله انتقال آب) صفر می‌باشد. از طرفی درصد چاه‌های مورد استفاده در کنار آب تأمین شده از سد در دوره میان مدت ۲۴٪ و بلندمدت ۳۴٪ به دست می‌آید. از این رو چنانچه چاه‌های آبفا نیز در ترکیب با خط انتقال هم‌زمان مورد استفاده قرار گیرد امکان تأمین ۸۸/۹ میلیون مترمکعب نیاز شرب با کیفیت غلظت املاح محلول ۹۳۰ میلی گرم در لیتر به طور متوسط برای نیاز شرب وجود خواهد داشت. همچنین بررسی تأثیر هماهنگ‌سازی عملکرد اجزا سیستم آبی و بهره‌برداری تلفیقی از سیستم آب سطحی و زیرزمینی بر تخصیص آب، اطمینان‌پذیری و پایداری آن، میزان قابلیت اطمینان بالای ۹۰٪ را فراهم می‌کند. با توجه به شرایط حاکم بر مسئله بهره‌برداری تلفیقی، نتایج نشان می‌دهد که مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی از عملکرد مناسبی برخوردار بوده است.

انتظار می‌رود بهره‌برداری تلفیقی به مقدار تأمین و قابلیت اطمینان بیشتر برای تأمین آب شرب بیانجامد (ماریو ۲۰۰۱، دالپائوس ۲۰۱۲) و نتایج مدل در جدول شماره ۵ (مقایسه ستون اول و سوم با ستون دوم)، و جداول ۱ تا ۴ تأییدکننده این انتظار می‌باشند. در جداول ۱ تا ۴، مقایسه ستون قاعده ۱ و قاعده ۵ که به ترتیب مبین تلفیق غیربهبوده و بهینه می‌باشند، درجات مختلف تلفیق منابع و درجه بهینگی آن‌ها در سیستم آبی را نیز نشان می‌دهد. بنابراین، مدل از بابت نشان دادن رفتار مورد انتظار به درستی عمل کرده است که بیانگر صحت‌سنجی مدل است.

نتیجه‌گیری کلی

به منظور تعیین قواعد بهره‌برداری در شرایط مختلف، ۴ مقدار نیاز آبی شرب مختلف برابر با ۱۵/۵ (نیازهای فعلی)، ۳۰، ۳۶ و ۴۳ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شد. مدل بهینه‌سازی به‌ازای شرایط مذکور و با لحاظ ۵ سناریوی مختلف برای امکان تأمین آب شرب از خط لوله، اجرا گردید. نتایج ارزیابی و امتیازبندی (رتبه‌بندی) قواعد بهره‌برداری برداشت تلفیقی از منابع

منابع مورد استفاده

- کریمی، نیکو، کرچیپور، ر و مختارپور، ا، ۱۳۹۳. بهره‌برداری بلندمدت تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در سطح حوضه آبریز با در نظر گرفتن کیفیت آب (مطالعه موردی: حوضه آبریز زاینده رود). مجله پژوهش آب ایران، سال ۸، شماره ۱۴، صفحه‌های ۹۷ تا ۱۰۸.
- Ayazi A and Karimi A, 2013. Assessment of Karkheh multi-reservoir systems' operation coordinating impacts on long-term water supply at different stages of basin development, *Water Engineering Journal* 6(18): 99-115.
- Bazargan-Lari MR, Kerachian R and Mansoori A, 2009. A conflict-resolution model for the conjunctive use of surface and groundwater resources that considers water-quality issues: A case study. *Environmental Management* 43: 470-482.
- Condon LE and Maxwell RM, 2013. Implementation of a linear optimization water allocation algorithm into a fully integrated physical model. *Advances in Water Resource* 60: 135-167.
- D'Alpaos C, 2012. The value of flexibility to switch between water supply sources. *Applied Mathematical Sciences* 6(128): 6381 - 6401.
- Elhassan AM, Goto A and Mizutani M, 2003. Effect of conjunctive use of water for paddy field irrigation on groundwater budget in an alluvial fan. *International Commission of Agricultural Engineering, the CIGR Journal of Scientific Research and Development, Manuscript LW 03 002. Vol. V.*
- Emch PG, Yeh WW-G, 1998. Management model for conjunctive use of coastal surface water and groundwater. *Journal of Water Resources Planning and Management* 124(3): 129-139.
- Fredericks J, Labadie J and Altenhofen J, 1998. Decision support system for conjunctive stream-aquifer management. *Journal of Water Resource Planning and Management* 124(2): 69-78.

- Illangasekare T and Morel-Seytoux HJ, 1986. A discret kernel simulation model for conjunctive management of a stream-aquifer system. *Journal of Hydrology* 85: 319-338.
- Karamouz M, Kerachian R and Moridi A, 2004. Conflict resolution in water pollution control in urban areas: A case study. *Proceedings of the 4th International Conference on Decision Making in Urban and Civil Engineering*. 28-30 October, Porto, Portugal.
- Karamouz M, Tabari MM and Kerachian R, 2007. Application of artificial neural networks and generic algorithms in conjunctive use of surface and groundwater resources. *Water International* 32(1): 163-176.
- Karimi A and Ardakanian R, 2011. Development of a long-term water allocation model for agriculture and industry demands. *Water Resources Management* 24: 1717-1746.
- Khan MR, Voss C, Yu W and Michael HA, 2014. Water resources management in the Ganges basin: A comparison of three strategies for conjunctive use of groundwater and surface water. *Water Resources Management* 28(5): 1235-1250
- Maddock T, 1974. The operation of a stream-aquifer system under stochastic demands. *Journal of Water Resources Research* 10(1): 1-10
- Mahjoub H, Mohammadi M and Parsinejad M, 2011. Conjunctive use modeling of groundwater and surface water. *Journal of Water Resource and Protection* 3(10): 726-734.
- Marino MA, 2001. Conjunctive management of surface water and groundwater, regional management of water resources. Pp. 165-173. *Proceedings of a symposium held during die Sixth IAHS Scientific Assembly*. July 2001, Maastricht, Netherlands.
- Matsukawa J, Finney B and Willis R, 1992. Conjunctive-use planning in mad river basin, California. *Journal of Water Resources Planning and Management* 118(2): 115-132
- Onta P, Gupta A and Harboe R, 1991. Multi-step planning models for conjunctive use of surface and groundwater resources. *Journal of Water Resources Planning and Management* 117(6): 662-678.
- Pulido-Velazquez D, Ahlfeld D, Andreu J and Sahuquillo A, 2008. Reducing the computational cost of unconfined groundwater flow in conjunctive-use models at basin scale assuming linear behaviour: The case of Adra-Campo de Dalí'as. *Journal of Hydrology* 353: 159-174
- Rafipour-Langeroudi M, Kerachian M and Bazargan-Lari MR, 2014. Developing operating rules for conjunctive use of surface and groundwater considering the water quality issues. *Journal of Civil Engineering* 18(2): 454-461
- Safavi HR, Darzi F and Marino MA, 2010. Simulation-Optimization modeling of conjunctive use of surface water and groundwater. *Water Resource Management* 24: 1968-1988
- Singh DK, 2002. *Conjunctive use of surface and groundwater*. Water Technology Center, Indian Agricultural Research Institute, New Dehli 110012.