Archive of SID

بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی با رویکرد انتقال آب بین‌حوضه‌ای: محدوده مطالعاتی پیرانشهر

محمود محمد رضاپور طبری [۱]

(دریافت ۸۹/۱/۲۵ پذیرش ۹۰/۱/۳۱)

چکیده

عدم توجه به آب به‌عنوان کلید توسعه پایدار منجر به بحران در مقوله آب در ایران شده که این مسئله بزرگ‌ترین عامل به حاشیه رانده شدن مدیریت درازمدت و برنامه‌ریزی شده برای آب است. اتخاذ سیاست‌های توسعه پایدار در مدیریت منابع آب ایران مستلزم توجه به حوضه‌های مدیریتی مختلف است که هر کدام از آنها برنامه‌های منسجم علمی را می‌طلبد. بهره‌برداری بهینه از منابع آب سطحی و زیرزمینی داخل حوضه و انتقال آبهای مازاد به مناطق بلافصل حوضه‌های مجاور از جنبه‌های مختلف حائز اهمیت است. هدف از این تحقیق ارائه برنامه بهینه بهره‌برداری از منابع آب داخل حوضه کلاس و احیای منابع آبی برون‌حوضه‌ای بر پایه سه هدف بود که عبارت‌اند از: تأمین نیازهای آبی داخل حوضه‌ای، کاهش میزان آبی خروجی از مرز ایران و افزایش انتقال آب به حوضه مجاور (حوضه دریاچه ارومیه). در این مدل، تخصیص از منابع آبی موجود با توجه به اولویتهای منابع و مصارف و محدودیتهای تراز سطح آب صورت می‌گیرد. با توجه به پیچیده و غیرخطی بودن اهداف و متغیرهای تصمیم، برای اجرای مدل از الگوریتم ژنتیک مبتنی بر جواب غیرپست استفاده شد. با اجرای مدل پیشنهادی توسط این الگوریتم می‌توان مقادیر بهینه تخصیص از منابع و میزان آب انتقالی به حوضه مجاور را مشخص نمود. بر پایه این مقادیر بهینه و دوره برنامه‌ریزی در نظر گرفته شده، سیاست‌های بهینه تخصیص، ارائه گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با اعمال برنامه‌های بهینه بهره‌برداری تدوین شده می‌توان حجم قابل توجهی از منابع آبی داخل حوضه را به‌منظور احیای منابع آبی به برون از حوضه انتقال داد و از خروج آب توسط رودخانه‌های مرزی به میزان زیادی جلوگیری نمود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری تلفیقی، انتقال بین حوضه‌ای، برنامه‌ریزی چندهدفه، تخصیص بهینه، دریاچه ارومیه

Conjunctive Use of Surface and Groundwater with Inter-Basin Transfer Approach: Case Study Piranshahr Plain

Mahmoud Mohammad Rezapour Tabari[1]

(Received Apr. 14, 2009 Accepted Apr. 20, 2010)

Abstract

In IRAN, inconsideration to water as a key sustainable development is the water crisis. This problem is the biggest factor for being marginalize planning and long-term management of water. The sustainable development policies in water resources management of IRAN require consideration of the different aspects of management that each of them required the scientific integrated programs. Optimal operation from inter-basin surface and groundwater resources and transfer surplus water to adjacent basins is important from different aspects. The purpose of this study is to develop an efficient optimization model based on inter-basin water resources and restoration of outer-basin water resources. In the proposed model the different three objective function such as inter-basin water supply demand, reduce the amount of water output of the boundary of IRAN and increase water transfer to adjacent basins are considered. In this model, water allocation is done based on consumption and resources priorities and groundwater table level constrain. In this research, the non-dominate sorting genetic algorithm is used for solution developed model because the objectives function and decision variables are

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد
mrtabari@eng.sku.ac.ir ۰۹۱۲۲۴۹۲۶۱۵

1. Assist. Prof. of Civil Eng., Dept. of Eng., Shahrekord University, Shahrekord 09122492615mrtabari@eng.sku.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

complex and nonlinear. The optimal allocation of each water resources and Water transfer to adjacent basin are can be determined by using of proposed model. Based on optimal value and planning horizon, optimal allocation policy presented. The result as shown that applying the optimal operation policy can be transfer considerable volume of water resources within the basin for restoration the outside basin. Based on policy, can be prevented the great flow of water from river border.

Keywords: Conjunctive Use, Inter-Basin Water Transfer, Multi-Objective Planning, Optimal Allocation, Uromieh Lake

۱- مقدمه

نظریه‌های مدیریتی مبتنی بر وفور منابع آب، امروزه باید بر فرضهای محدودیت منابع آب ارائه شوند. لذا باید به نظریه‌های مدیریتی برای توسعه پایدار با توجه به محدودیت منابع آب نظری جدی انداخته شود. بهره‌برداری بهینه تلفیقی از منابع آب یک حوضه آبریز و انتقال آبهای مازاد به مناطق بلافصل حوضه‌های مجاور از نظر فنی، اقتصادی، اجتماعی، حقوقی، زیست محیطی، سیاسی و امنیتی با عنایت به مقوله ارزش اقتصادی آب حائز اهمیت است و به‌همین دلیل مطالعات مدیریت تلفیقی در حوضه آبریز برای ارائه برنامه‌های بهینه بهره‌برداری از منابع آب با رویکرد انتقال بین‌حوضه‌ای قابل توجه است.

یوجویچ[1] در سال ۲۰۰۱ مشکلات عمیق ناشی از انتقال آب بین حوضه‌ای بین کشورهای مختلف را بررسی کرده و مشخصه‌های ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی را از پارامترهای بسیار مؤثر در این مبحث می‌داند [۱]. شائو[2] و ونگ[3] در سال ۲۰۰۳ امکان‌پذیری انتقال آب بین حوضه‌های آبریز رودخانه‌های زرد و یانگ ته‌سه را در راستای طرح انتقال آب از شمال به جنوب چین، بررسی کرده‌اند. آنها اثرات این طرح را بر قوانین آب، روند سیاست‌گذاری، روشهای موجود مدیریت حوضه‌های آبریز و همچنین محیط زیست حوضه‌های آبریز، مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۲]. فنج و همکاران[4] در سال ۲۰۰۷ برای بررسی اثرات اقتصادی- اجتماعی طرح انتقال آب از شمال به جنوب در چین، یک سیستم پشتیبانی در تصمیم‌گیری تهیه و ارائه نموده‌اند که آسیب‌پذیری منابع آب موجود را ارزیابی می‌کند [۳]. کارآموز و همکاران در سال ۱۳۸۶ با بررسی طرح انتقال آب از حوضه رودخانه کارون به رفسنجان در حوضه آبریز مرکزی، مدل بهینه‌سازی با تابع هدف اقتصادی به‌منظور حداکثر نمودن منافع خاص را تدوین نموده‌اند. آنها با شبیه‌سازی ماهانه متغیرهای کیفی، اثرات زیست‌محیطی این طرح انتقال را نیز بررسی کرده‌اند [۴]. از طرحهای انتقال آب بین حوضه‌ای در کشور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- تونل بهشت‌آباد برای انتقال آب رودخانه بهشت‌آباد به زاینده‌رود

۲- تونل‌های کوهرنگ به‌منظور انتقال آب از سرشاخه‌های کارون به زاینده‌رود

۳- انتقال آب گلاب به‌منظور انتقال آب از سد زاینده‌رود به کاشان

۴- تونل انتقال آب قمرود به‌منظور انتقال آب از شاخه‌های رودخانه دز به رودخانه قمرود

۵- کانال زیاران برای انتقال آب سد طالقان به دشت قزوین

۶- انتقال آب رودخانه سیروان به دشت ذهاب توسط یک بند انحرافی

با افزایش نیازهای آبی مصارف مختلف، میزان مقبولیت در بهره‌برداری بهینه از منابع آب سطحی و زیرزمینی بالا رفته است. استفاده مجزا از منابع می‌تواند منجر به بروز مشکلات متعددی همچون کمبود آب در مواقع خشکسالی، ناپایداری در تولید محصول، افت تراز سطح ایستابی و افزایش هزینه پمپاژ در نتیجه برداشت بی‌رویه شود. استفاده تلفیقی از منابع باعث افزایش ذخیره منابع آبی موجود، حداقل نمودن اثرات منفی استفاده مجزا از منابع و مدیریت مؤثر و بهینه آب می‌شود.

به‌طور کلی زمانی که از منابع آب به‌صورت تلفیقی استفاده می‌شود اثرات بهتری نسبت به بهره‌برداری مجزا حاصل می‌گردد [۵].

پولیدو و همکاران[5] در سال ۲۰۰۸ مدل مدیریت بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه آدرا کامپو را ارائه کرده‌اند. در این مدل تابع پاسخ آبخوان برای کاهش زمان همگرایی به‌صورت خطی در نظر گرفته شده است. مؤلفه‌های منابع آب در نظر گرفته شده عبارت‌اند از: سد، آبخوان و رودخانه. با استفاده از روش برنامه‌ریزی مرحله‌ای، مقادیر بهینه تخصیص به نیازها تعیین شده‌اند. نتایج مدل نشان می‌دهد که ساده‌سازی در بیان رفتار آبخوان‌های با تغییرات تراز کم می‌تواند منجر به کاهش چشمگیر زمان اجرای مدل گردد [۶].

در سال ۱۳۸۶ صفوی و همکاران اقدام به تهیه مدل شبیه‌سازی کمّی- کیفی اندرکنش آبراهه با سفره آب زیرزمینی نموده‌اند. در این تحقیق ارتباط کمّی و کیفی آبراهه‌ها با آب زیرزمینی مورد

[1] Yevjevich
[2] Shao
[3] Wang
[4] Feng et al.
[5] Pulido et al.

www.SID.ir

Archive of SID

شبیه‌سازی قرار گرفته و به‌عنوان یک ابزار مناسب برای مدیریت حوضه‌های آبریز معرفی گردیده است [۷].

به‌منظور بررسی سیاست‌های بهره‌برداری از منابع آب، گلیان و همکاران در سال ۱۳۸۶ مدل دینامیکی بر پایه روش تحلیل پویایی سیستم را توسعه داده‌اند. بر اساس این مدل، سیاست‌های مختلف توسعه و بهره‌برداری از منابع آب تحلیل شده و مناسب‌ترین سیاست که منافع همه کاربری‌ها را ارضاء می‌کند، انتخاب گردیده است [۸].

همچنین استاد رحیمی و همکاران در سال ۱۳۸۵ اقدام به تهیه مدل بهره‌برداری بهینه از سیستم ذخیره سیکلی با رویکرد توده‌ای نموده‌اند. در تحقیق مذکور با توجه به تابع هدف اقتصادی اقدام به بهینه نمودن میزان تخصیص از منابع آب گردیده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که با استفاده از مدل‌های توده‌ای می‌توان به طور مناسبی سیستم‌های ذخیره سیکلی را مورد بررسی قرار داد [۹].

بررسی مطالعات صورت گرفته قبلی نشان می‌دهد که انتقال آب بین حوضه‌ای در مدل‌های مدیریت تلفیقی از منابع آب دیده نشده و صرفاً به‌صورت موردی اقدام به مدل‌سازی برای مدیریت آبهای بین‌حوضه‌ای شده است. در صورتی که لازم است اثرات این انتقال به نحو مطلوبی بر وضعیت منابع و مصارف حوضه‌های مبدأ و مقصد در فرایند مدل‌سازی دیده شود. لذا در این مطالعه با توجه به رشد و تمرکز فزاینده جمعیت در مناطق اطراف دریاچه ارومیه و به تبع آن افزایش بی‌رویه مصرف آب، انتقال بین‌حوضه‌ای برای احیای این دریاچه همراه با مدیریت بهره‌برداری تلفیقی در داخل حوضه زاب مورد توجه قرار گرفت.

دریاچه ارومیه به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه شور جهان با توجه به افزایش حقابه‌های تعریف شده بر منابع ورودی بر دریاچه، با افت شدید تراز و افزایش شوری مواجه شده و وضعیت اکولوژیکی منطقه را دچار اختلال نموده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد روند نیازهای آبی دریاچه به‌صورت تصاعدی افزایش داشته که ادامه این روند می‌تواند منجر به خشک شدن آن گردد. ذکر این نکته ضروری است که این دریاچه با ظرفیت ۳۵ میلیارد متر مکعب درگذشته دارای آوردی معادل ۹ میلیارد متر مکعب در سال بوده و تحت چنین شرایطی توانسته پایداری خود را علی‌رغم کاهش قابل توجه در میزان جریان‌های ورودی حفظ نماید. اما در شرایط کنونی به‌دلیل افزایش نیازهای آبی مصارف حوضه‌های اطراف دریاچه و تعدد ساخت سد بر روی رودخانه‌های منتهی به آن، جریان‌های ورودی به دریاچه به‌میزان ۷۷ درصد کاهش یافته و وضعیت این تالاب بین‌المللی را با بحرانی جدی مواجه نموده است [۱۰].

در این مطالعه برای بهبود وضعیت دریاچه ارومیه و با توجه به منابع آبی موجود و نحوه تأمین نیازهای شرب و کشاورزی، مدل بهینه‌سازی چند هدفه‌ای به‌منظور تعیین مقادیر بهینه تخصیص با توجه به محدودیتهای موجود و با هدف حداکثر نمودن تأمین نیازهای آبی داخل حوضه و افزایش آب انتقالی از حوضه کلاس به حوضه گدار (دریاچه ارومیه) و همچنین کاهش آب خروجی از مرز تدوین گردید. به‌عبارت دیگر هدف از این تحقیق استفاده بهینه از منابع آبی درون حوضه کلاس و تخصیص آب مازاد به احیای دریاچه ارومیه بود. در تحقیق صورت گرفته سعی شد از مزایا و پتانسیل‌های منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌صورت توأمان و بهینه و در راستای اهداف تعریف شده استفاده شود.

۲- مطالعه موردی و اجزای مدل مدیریت منابع آب

حفظ و مدیریت منابع آبی واقع در مرزهای مشترک به‌صورت بهینه با توجه به محدودیتهای موجود برای استفاده در داخل کشور یکی از دغدغه‌های مدیران و تأمین‌کنندگان نیازهای آبی است. در این راستا، متدولوژی ارائه شده بر روی یکی از رودخانه‌هایی که از مرز غربی کشور خارج شده و قابلیت احیای دریاچه ارومیه را داراست، اعمال شد.

به‌منظور ارائه برنامه بهینه بهره‌برداری تلفیقی با توجه به انتقال آب از یک حوضه به حوضه دیگر لازم است ابتدا اجزا و مؤلفه‌های آن مشخص و به‌دقت مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. این المان‌ها عبارت بودند از: وضعیت زهکشی و توزیع آب در منطقه، وسعت و ظرفیت شبکه کانال‌ها، تغییرات در رژیم جریان آب زیرزمینی، شرایط خاکشناسی و هواشناسی منطقه، میزان آب مورد نیاز برای مکان‌های مختلف، بررسی امکان اجرای سازه‌های سطحی و شرایط زیست‌محیطی منطقه.

با توجه به مطالب مذکور می‌توان دریافت که برای استفاده بهینه از منابع آبی موجود، لازم است مدلی استفاده شود که بتواند پاسخ حوضه را به تغییرات طبیعی، میزان تغذیه و پمپاژ و سایر گزینه‌هایی که در سیاست‌های بهره‌برداری مؤثر است، شبیه‌سازی نماید. در این راستا به‌منظور تدوین سیاست‌های بهینه برداشت و انتقال سه جزء سدهای واقع در محدوده حوضه کلاس، خطوط انتقال آب، چاههای بهره‌برداری و مناطق نیازها در مدل مدیریتی مورد توجه قرار گرفت. محدوده مورد مطالعه از چهارده سد، سه بند انحرافی، سیزده منطقه کشاورزی و یک منطقه شهری و صنعتی به‌همراه دو کانال انتقال آب بین حوضه‌ای تشکیل شده است.

بر اساس مطالعات صورت گرفته مقادیر نیازهای آبی زیست‌محیطی برخی از ساختگاه‌ها مورد محاسبه قرار گرفت و در محلهای فاقد اطلاعات، بر اساس نظر کارشناسی، میزان حداقل جریان زیست‌محیطی برابر ۱۰ درصد جریان درازمدت هر ماه منظور شد. برای انتقال آب به خارج از حوضه به‌منظور احیای دریاچه ارومیه، می‌توان به دو صورت زیر عمل نمود:

www.SID.ir

Archive of SID

۱- از طریق تونلی با ظرفیت ۱۶ cms از مخزن سیلوه به‌سمت سد چپرآباد در حوضه گدار

۲- انتقال از طریق تونلی به ظرفیت ۵۵ cms از مخزن سد کانی‌سیب

برای تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی اولویتهای زیر در نظر گرفته شد:

۱- تخصیص از منابع آب سطحی به‌منظور تأمین نیاز و استفاده از منابع آب زیرزمینی برای جبران کمبود به‌عنوان اولویت دوم. با توجه به اینکه منابع آب سطحی در معرض تبخیر بوده و در صورت پر شدن مخازن ذخیره به‌صورت سرریز از دسترس خارج می‌شوند، لذا در این مطالعه تخصیص به نیازها ابتدا از منابع آب سطحی صورت گرفت تا بتوان حداکثر استفاده از آورد سطحی حوضه را برای مدیریت بهینه منابع آب به‌عمل آورد. همچنین با توجه به اینکه آبخوان دشت پیرانشهر از پتانسیل اندکی در تأمین نیازها برخوردار است، لذا چنانچه این منبع در اولویت اول تخصیص قرار داده شود علاوه بر اینکه بهره‌بردار مجبور به استفاده توأمان از هر دو منبع در اکثر دوره‌ها می‌گردد (در صورتی که نیاز به بهره‌برداری توأمان نیست و نیازها به‌راحتی توسط منابع آب سطحی قابل تأمین هستند) عملاً آبخوان فرصت ذخیره آب از منابع آب سطحی که به‌صورتهای مختلف و در زمان‌های متفاوت منجر به تغذیه آن می‌شود را از دست داده و سیستم طبیعی منبع زیرزمینی به هم می‌خورد.

۲- جریان حداقل زیست‌محیطی رودخانه‌ها

۳- نیاز شرب داخل حوضه

۴- نیاز کشاورزی داخل حوضه

۵- انتقال آب به حوضه گدار برای تأمین نیاز اکولوژیک دریاچه ارومیه

تأمین نیازهای درون منطقه در مرتبه اول اهمیت قرار داشته و پس از آن سایر نیازها مورد توجه قرار گرفته است.

۳- ساختار مدل بهینه‌سازی با رویکرد انتقال بین‌حوضه‌ای

ارائه راهکارها و دستورالعمل‌های مدیریتی به‌منظور بهبود وضعیت منابع آبی موجود و همچنین تخصیص بهینه از هر منبع می‌تواند راهگشای مدیران و مجریان باشد. با توجه به مشکلات و معضلات ارائه شده می‌توان گفت که اهدافی که در تهیه و تدوین مدل بهینه‌سازی دنبال می‌گردد عبارت‌اند از: حداقل نمودن میزان عدم تأمین نیاز، احیای دریاچه ارومیه با انتقال آب مازاد حوضه کلاس و کاهش میزان آب خروجی از مرز ایران به‌سمت کشور عراق. در این بخش ساختار مدل بهینه‌سازی تدوین شده ارائه می‌گردد.

تابع هدف

(۱)

$$\text{Minimize } F_1 = \sum_{t=1}^{m}\sum_{s=1}^{ns}\left(DM_{ts} - TAW_{ts}\right)^2 + \text{Penalty Function}$$

$$\text{Minimize } F_2 = \sum_{t=1}^{m} RO_t + \text{Penalty Function}$$

$$\text{Maximize } F_3 = \sum_{t=1}^{m}\sum_{n=1}^{ndam} RTO_{tn} + \text{Penalty Function}$$

محدودیتها

(۲)

$$S^n_{t+1} = \max\left(\min\left(\left(S^n_t + I^n_t - E^n_t - \sum_{s=1}^{ns} RS_{st} - RTI_{tn} - RTO_{tn}\right), S^n_{max}\right), S^n_{min}\right)$$

$$Spill^n_t = \max\left(S^n_{t+1} - S^n_{max}, 0\right) \quad (۳)$$

$$Release^n_t = E^n_t + Spill^n_t \quad (۴)$$

$$TAW_{ts} = RS_{st} + RG_{st} \quad , \ t = 1,\ldots,m\times y \ , \ s = 1,2,3 \quad (۵)$$

(۶)

$$DV_t = \begin{cases} Input_t - Output_t + \left(1 - W^{waste} \times P^{percol}\right) \times RG_{ts} & , \ \text{if} \quad t = 1 \\ DV_{t-1} + \left(1 - W^{waste} \times P^{percol}\right) \times RG_{ts} & , \ \text{otherwise} \end{cases}$$

با توجه به تغییرات حجم ماهانه آبخوان دشت پیرانشهر و خصوصیات هیدروژئولوژیکی آن، می‌توان مطابق رابطه زیر تغییرات ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی را محاسبه نمود

$$\Delta h_t\left(DV_t\right) = \frac{DV_t}{A \times S_S} \quad (۷)$$

(۸)

$$\text{PenaltyFunction} = \sum_{t=1}^{m}\left(\begin{array}{l} \max\left(\left(1 - \frac{S^n_t}{S^n_{min}}\right), 0\right) + \max\left(\frac{\Delta h_t}{\Delta h_{max}} - 1, 0\right) + \ldots \\ \ldots + \max\left(\frac{\sum_{n=1}^{ndam} RTO_{tn}}{Cap^n_{max}} - 1, 0\right) + \max\left(\frac{\sum_{n=1}^{ndam} RTI_{tn}}{Cap^n_{max}} - 1, 0\right) \end{array}\right) \times \alpha$$

متغیرهای ارائه شده در معادلات بالا به‌صورت زیر تعریف می‌شوند، (واحد همه حجم‌ها MCM است):

F_1, F_2, F_3 به‌ترتیب مقادیر توابع هدف مرتبط با میزان عدم تأمین نیاز، حجم کل آب خروجی از مرز و حجم کل آب انتقالی به دریاچه ارومیه،

DM_{ts} و TAW_{ts} به‌ترتیب نیاز آبی و میزان کل آب تخصیص داده شده به بخش s در دوره t،

RO_t میزان آب خروجی از مرز در دوره t

RTO_{tn} میزان حجم کل آب انتقالی به دریاچه ارومیه در دوره t،

www.SID.ir

Archive of SID

E_t^n میزان نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست مخزن سد n ام در دوره t،

S_t^n و I_t^n به‌ترتیب حجم مخزن و میزان آورد رودخانه در محل ورود به سد nام در دوره t،

RS_{st} میزان آب تخصیص داده شده به بخش s از مخزن سد n ام در دوره t (متغیر تصمیم)،

RTI_{tn} میزان حجم آب انتقالی از مخزن سد n ام به‌منظور تخصیص به مصارف داخل حوضه در دوره t

RTO_{tn} میزان حجم آب انتقالی از مخزن سد n ام به‌منظور تخصیص به مصارف بیرون از حوضه در دوره t،

S_{max}^n و S_{min}^n به‌ترتیب حداکثر و حداقل ظرفیت مخزن سد n ام

$Spill_t^n$ و $Release_t^n$ به‌ترتیب حجم آب سرریز شده و آب خروجی از مخزن سد n ام در دوره t،

RG_{ts} و TAW_{ts} حجم کل آب زیرزمینی و حجم کل آب تخصیص داده شده به بخش s در دوره t،

$\Delta h_t(DV_t)$ میزان تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان در نتیجه برداشت به میزان DV_t در دوره t،

$Input_t$ و $Output_t$ به‌ترتیب حجم کل آب ورودی و خروجی از آبخوان به صورت زیرزمینی در دوره t ،

W^{waste} درصد تبدیل به پساب آب تخصیص داده شده به مصارف،

P^{percol} درصد تبدیل پساب به آب نفوذی به آبخوان،

DV_t تغییرات حجم آبخوان در دوره t،

A و S_s به‌ترتیب مساحت آبخوان بر حسب کیلومتر مربع و ضریب ذخیره ویژه آبخوان،

Δh_{max} حد مجاز تغییر ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی (متر)،

Cap_{max}^n ظرفیت کانال انتقالی از مخزن سد n ام،

Penalty Function میزان کل جریمه تخصیص داده شده به‌دلیل عدم رعایت محدودیت حجم مخزن سدها، ظرفیت خطوط انتقال آب و تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی (بی‌بعد)،

α عدد بسیار بزرگی است جهت خارج نمودن جواب غیرموجه،

s بخش مصرف‌کننده آب (شرب و کشاورزی) و

m و ndam به‌ترتیب تعداد ماههای دوره برنامه‌ریزی و تعداد سدهای واقع در محدوده مورد مطالعه است.

در رابطه ۱، هر یک از توابع هدف به تفکیک محاسبه می‌شود. در این روابط میزان جریمه‌ای که در نتیجه عدم رعایت محدودیتها در نظر گرفته شده است، محاسبه می‌شود و به مقادیر توابع هدف اضافه می‌گردد تا مجموعه جوابهای نامناسب در فرایند بهینه‌سازی حذف شده و یا به‌سمت بهبود پیش رود.

به‌منظور اعمال محدودیتهای مرتبط با ظرفیت مخزن سدهای واقع در محدوده مورد مطالعه، حجمهای حداقل و حداکثر توسط رابطه ۲ به مدل اعمال شده و چنانچه تخطّی از این احجام صورت نگیرد مقدار حجم مخزن در گام زمانی بعد با استفاده از رابطه پیوستگی قابل محاسبه است. در واقع این رابطه به بررسی ظرفیتهای حداقل و حداکثر مخازن واقع در محدوده مورد مطالعه می‌پردازد. بر اساس این رابطه مقدار حجم مخزن در انتهای دوره با توجه به حجم مخزن ابتدای دوره، میزان جریان ورودی به آن، میزان تبخیر، میزان آب تخصیص داده شده به بخش نیازها و میزان حجم آب انتقالی از مخزن سد n ام به‌منظور تخصیص به مصارف داخل و خارج حوضه مورد محاسبه قرار می‌گیرد. سپس حجم انتهای دوره و حداکثر ظرفیت مخزن سد مورد مقایسه قرار گرفته و حجم کمتر انتخاب می‌شود. علت انتخاب حجم کمتر این است که در صورت بیشتر بودن حجم آب انتهای دوره از حجم نرمال سد، لازم است مازاد به‌صورت سرریز از مخزن خارج شود. حال اگر این حجم انتخابی از حجم مرده سد نیز کمتر شود، نمی‌تواند به‌عنوان حجم انتهای دوره در نظر گرفته شود لذا حجم حداقل برای استفاده در دوره‌های بعد مورد توجه قرار می‌گیرد.

عدم رعایت حداقل و حداکثر ظرفیت مخزن سد منجر به دریافت جریمه‌ای به‌صورت رابطه ۸ شده و ابزار بهینه‌سازی بر اساس این جریمه اعمال شده، عمل کرده و جوابی که منجر به این گونه برداشت شده را از مجموعه جوابها خارج می‌نماید و یا با تغییراتی در آن جهت مورد استفاده قرار می‌دهد. در رابطه ۳ میزان حجم آب سرریز شده با توجه به ظرفیت مخزن هر سد مشخص می‌شود. با توجه به میزان آب سرریز شده و حداقل نیاز زیست‌محیطی در نظر گرفته شده در پایین‌دست مخزن هر سد، میزان کل آب خروجی از هر سد مطابق رابطه ۴ مشخص می‌شود.

با توجه به میزان آب تخصیص داده شده به هر بخش از مصارف، می‌توان مقدار کل آب تخصیصی را مطابق رابطه ۵ محاسبه نمود. با توجه به جریان‌های ورودی و خروجی زیرزمینی و درصدی از مقادیر آب تخصیص داده شده که تبدیل به پساب شده و وارد آبخوان می‌گردد، تغییرات حجم آب در هر دوره محاسبه می‌شود (رابطه ۶). با توجه به شبیه‌سازی توده‌ای آبخوان، تغییرات ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی دشت با استفاده از پارامترهای بیلان و مطابق رابطه ۷ محاسبه می‌گردد. با توجه به محدودیتهای مرتبط با مخزن سد و تغییرات مجاز ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی و همچنین ظرفیت کانال‌های انتقال آب، جریمه‌ای مطابق رابطه ۸ فرموله شده است.

در مدل بهینه‌سازی تدوین شده ابتدا تخصیص‌ها از منابع آب سطحی و سپس از منابع آب زیرزمینی صورت می‌گیرد. کمبودهایی

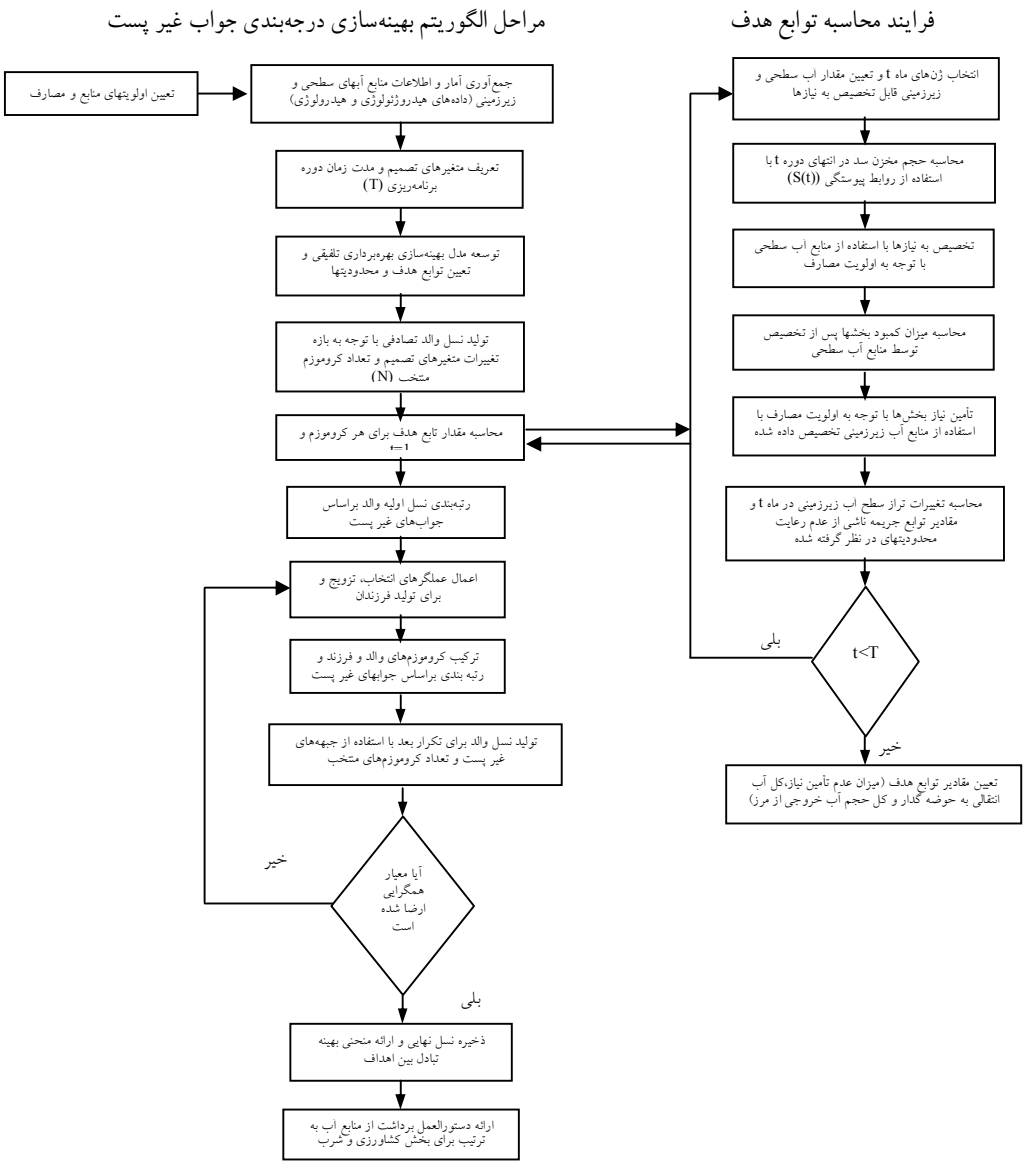
www.SID.ir

Archive of SID

را که پس از تخصیص از منبع آب سطحی باقی می‌ماند با توجه به محدودیت تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی (۵ سانتی‌متر در ماه)، می‌توان از منابع آب زیرزمینی با توجه به اولویتهای در نظر گرفته شده، تأمین نمود. در این مدل بهینه‌سازی برای هر ماه از افق برنامه‌ریزی، ۲۶ متغیر تصمیم مشتمل بر مقادیر تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی به مصارف در نظر گرفته شده است که برای یک دوره ده ساله تعداد کل متغیرهای تصمیم برابر با ۳۱۲۰=۱۰×۱۲×۲۶ خواهد شد.

در این مطالعه با توجه به تعداد زیاد متغیرهای تصمیم و چندهدفه و غیرخطی بودن روابط حاکم، از الگوریتم ژنتیک درجه‌بندی جواب غیرپست[1] برای تعیین مقادیر بهینه تخصیص استفاده شد. به‌منظور نشان دادن روند اجرای ساختار مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری چندهدفه تدوین شده، فلوچارت شکل ۱ تهیه گردید.

[1] Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-11)



شکل ۱- ساختار مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مقدار متوسط بهینه بلندمدت انتقالی از طریق کانال کانی‌سیب (MCM)

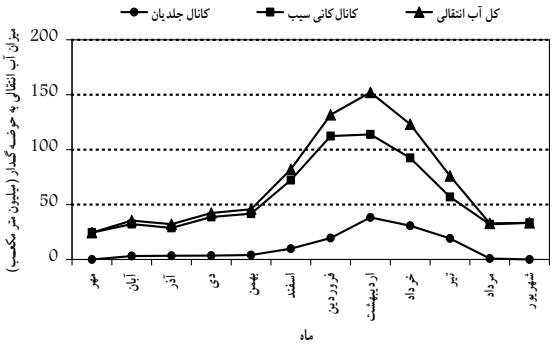
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مجموع
متوسط	۲۴/۴	۳۲/۳	۲۸/۷	۳۸/۷	۴۱/۷	۷۲/۳	۱۱۲/۳	۱۱۳/۸	۹۲/۴	۵۶/۹	۳۱/۹	۳۳/۴	۶۷۸/۸

برای آشنایی با روند اجرای مدل تدوین شده، به تحقیق صورت گرفته توسط طبری مراجعه شود [۱۱].

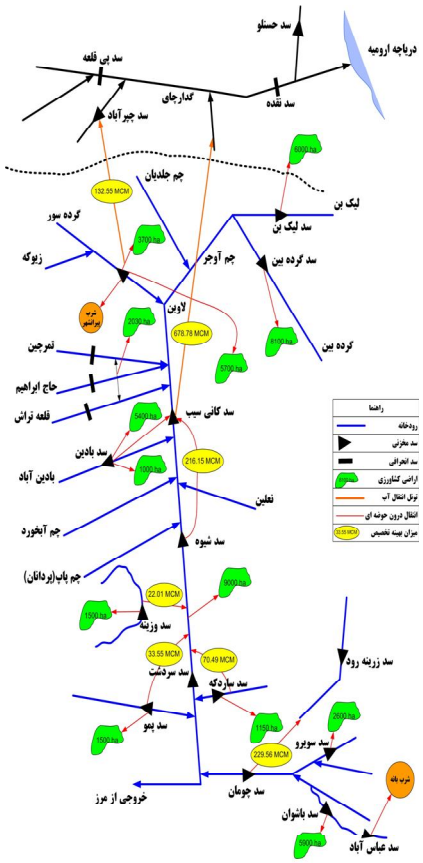
۴- ارائه نتایج مدل بهینه‌سازی چندهدفه

با توجه به ساختار مدل مدیریتی تدوین شده و اجرای آن با الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II می‌توان منحنی تبادل بین سه هدف را به‌دست آورد. همچنین بر اساس این منحنی تبادل بهینه، مقادیر بهینه تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی به نیازها تعیین می‌گردد. نتایج مطالعات نشان‌دهنده این مطلب است که پیچیدگی‌های سیستم از جنبه‌های مختلفی چون تنوع در منابع مختلف تخلیه و تغذیه و وجود طرحهای توسعه در دست مطالعه و اجرا، تأثیر قابل توجهی در بیلان آبی منطقه مورد مطالعه دارند، لذا استفاده از مدل‌های مدیریت بهینه بهره‌برداری تلفیقی با توجه به محدودیت تغییرات سطح آب اجتناب‌ناپذیر است. در این مطالعه با توجه به اطلاعات منابع و مصارف بخش‌های واقع در محدوده مورد مطالعه و بازه زمانی برنامه‌ریزی ده‌ساله، ساختار پیشنهادی مورد اجرا قرار گرفته و سیاست‌های بهینه بهره‌برداری از منابع تدوین گردید. به‌منظور اجرای مدل بهینه‌سازی، ابتدا تحلیل حساسیتی بر روی اندازه جمعیت کروموزم‌ها صورت گرفت که بر اساس آن ۳۰۰ کروموزم برای هر نسل از جوابها به‌دلیل عدم تغییرات قابل توجه در منحنی تبادل بین اهداف، برای اجرای مدل NSGA-II انتخاب گردید که با اجرای آن منحنی تبادل بهینه بین سه هدف تعیین شد. از آنجا که جوابهای این الگوریتم منجر به تولید سناریوهای بهره‌برداری متعدد می‌گردد، در این بخش نتایج یکی از این سناریوها که در آن میزان عدم تأمین نیاز و جریان خروجی از مرز کمترین مقدار و میزان آب انتقالی از حوضه کلاس به حوضه گدار بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است، ارائه گردید.

به‌عنوان نمونه جدول ۱ میزان بهینه متوسط بلندمدت آب انتقالی از تونل کانی‌سیب به حوضه گدار را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مقدار بهینه کل آب انتقالی از حوضه کلاس به حوضه گدار به‌طور متوسط، سالانه برابر با ۸۱۱/۳ MCM است که ۱۳۲/۵ MCM آن از طریق تونل جلدیان و ۶۷۸/۸ MCM با استفاده از تونل کانی‌سیب صورت می‌گیرد. در این حالت متوسط سالیانه آب خروجی از مرز برابر با ۸۱۷/۲ MCM خواهد بود. تغییرات ماهانه آب انتقالی به حوضه گدار در شکل ۲ و مقادیر بهینه آب انتقال یافته از کانال‌ها و تونل‌های محدوده مورد مطالعه به‌صورت شماتیک در شکل ۳ نشان داده شده است. در تابع هدف



شکل ۲- متوسط بلندمدت میزان بهینه آب انتقالی از حوضه کلاس به حوضه گدار (MCM)



شکل ۳- میزان بهینه آب انتقالی از کانال‌ها و تونل‌های محدوده مورد مطالعه (MCM)

www.SID.ir

Archive of SID

ساختار پیشنهادی، حداقل نمودن میزان عدم تأمین نیاز مورد توجه بوده و مناسب‌ترین شاخصی که بیانگر آب تخصیص داده شده در مقایسه با نیاز آبی است، شاخص اطمینان‌پذیری یا قابلیت اطمینان است. قابلیت اطمینان یعنی احتمال این که شکستی در بهره‌برداری از سیستم در مدت زمانی مشخص رخ ندهد. بر مبنای این تعریف، قابلیت اطمینان نقطه مقابل مفهوم ریسک است. این شاخص بیانگر میزان تأمین اهداف سیستم است و یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای بررسی کارایی سیاست‌های بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب در شرایط عادی به‌شمار می‌رود [۱۲]. با توجه به مقادیر بهینه تخصیص از منابع آب می‌توان شاخص اطمینان‌پذیری مناطق نیاز را که نشان‌دهنده درصد تأمین نیاز است، به‌صورت ماهانه تعیین نمود (جدولهای ۲ و ۳). مقایسه مقادیر کمبود نیازها در شرایط تخصیص بهینه با شرایط بهره‌برداری به‌صورت استاندارد یعنی بهره‌برداری بر مبنای منابع آبی موجود و بدون در نظر گرفتن شرایط آتی نشان می‌دهد که در شرایط بهینه متوسط کل کمبود نیازها در طی دوره برنامه‌ریزی معادل MCM ۳۲۸ بوده که MCM ۲۶ کمتر از بهره‌برداری در شرایط استاندارد یعنی MCM ۳۵۴ است. این به آن معنی است که ساختار پیشنهادی، مدیریت بهتری را برای تخصیص به مصارف با توجه به آوردهای آینده ارائه می‌دهد و منجر به خسارت کمتری در نتیجه عدم تأمین نیازها خواهد شد. همچنین بر پایه سیاست‌های استخراج شده می‌توان دریافت که حوضه زاب قابلیت مناسبی در احیای دریاچه ارومیه با استفاده از آب مازاد این حوضه برای انتقال به حوضه گدار را داراست که این امر علاوه بر بهبود شرایط زیست‌محیطی منطقه، منجر به کاهش حجم آب خروجی از مرز نیز می‌شود.

نکته قابل توجه در نتایج استخراج شده این است که آب انتقالی به حوضه گدار از محل دوره‌هایی که سدها در حال سرریز بوده و یا مصرفی برای آن در نظر گرفته نشده است، تأمین شده و به‌همین دلیل امکان از بین بردن کمبودها وجود ندارد. در مدل ارائه شده حداکثر سعی در بهبود وضعیت تخصیص‌ها با توجه به توزیع زمانی منابع آبی و نیاز و محدودیتهای موجود بود. برای ارزیابی نتایج مدل مدیریتی تدوینی، شبیه‌سازی سیستم منابع آب بر اساس سیاست بهره‌برداری استاندارد[1] انجام شد. مقایسه نتایج حاصل از این مدل با مدل مدیریتی بهره‌برداری تلفیقی، نشان‌دهنده کارآیی بالای سیاست‌های بهره‌برداری ارائه شده در تخصیص بهینه به نیازها بود. مطابق جدول ۴ می‌توان دریافت که در صورت اعمال برنامه بهینه بهره‌برداری، میزان کمبود نیازها از MCM ۹۲۵/۲ به MCM ۳۲۸ کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به هدف در نظر گرفته شده در این تحقیق، میزان آب خروجی از مرز به MCM ۸۱۷/۲۱ کاهش و میزان آب انتقالی به حوضه گدار به MCM ۸۱۱/۳۳ افزایش می‌یابد. برای نشان دادن بهبود وضعیت تخصیص به نیازها در صورت اجرای برنامه بهینه ارائه شده، شکل ۴ ترسیم شده است. بر اساس این شکل، قابلیت اطمینان در تأمین نیازهای شرب و کشاورزی شهر پیرانشهر و روستاهای اطراف در طول افق برنامه‌ریزی به‌میزان ۸ درصد افزایش یافته که این امر در نتیجه تخصیص زمانی مناسب آب در طی دوره بهره‌برداری است. لذا شبیه‌سازی صورت گرفته نشان می‌دهد که بر اساس مقدار آب سطحی و زیرزمینی موجود می‌توان مدیریت بهتری را بر روی تخصیص‌ها برای دستیابی به اهداف مورد نظر اعمال نمود و از هدررفت آب به میزان قابل توجهی جلوگیری به‌عمل آورد.

[1] Standard Operation Policy (SOP)

جدول ۲- شاخص قابلیت اطمینان تأمین نیاز شرب شهر پیرانشهر (درصد)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
متوسط	۹۵/۱۱	۹۹/۹۷	۹۹/۹۹	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹	۹۹/۹۸	۱۰۰	۹۹/۹۹	۹۹/۹۷	۱۰۰	۸۸/۰۹

جدول ۳- شاخص قابلیت اطمینان مرتبط با تأمین نیاز کشاورزی اراضی تحت پوشش سد سردشت (درصد)

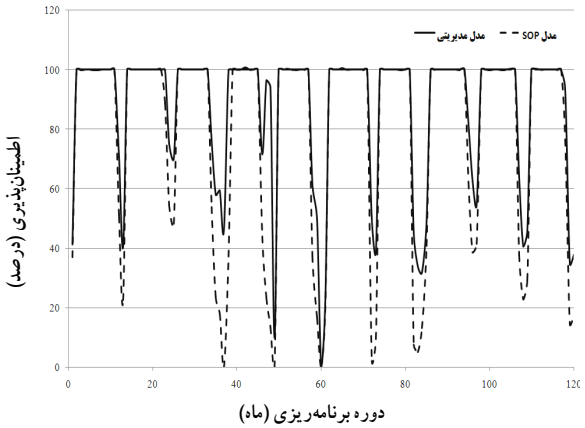
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
متوسط	۹۳/۹۹	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۹۹	۹۹/۹۴	۱۰۰/۰۰	۹۹/۹۹

جدول ۴- مقایسه نتایج بهره‌برداری مدل SOP و مدل مدیریتی تدوین شده (MCM)

نوع مدل/پارامتر	میزان کمبود	متوسط آب خروجی از مرز	متوسط میزان آب انتقالی
SOP	۹۲۵/۲	۸۳۶/۷	۸۰۷/۵۷
مدل مدیریتی تدوین شده	۳۲۸	۸۱۷/۲۱	۸۱۱/۳۳

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- مقایسه میزان اطمینان‌پذیری تأمین آب برای مصارف شرب و کشاورزی پیرانشهر (درصد)

جدول ۵- سیاست بهینه بهره‌برداری تلفیقی برای مناطق نیاز شهری و کشاورزی (درصد)

منطقه نیاز / ماه	لیک‌بن		گرده‌بین		شرب پیرانشهر		کشاورزی سیلوه		تمرچین، حاجی‌ابراهیم و قلعه‌تراش		بادین‌آباد	
	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی
مهر	۶۴/۵	۳۵/۵۵	۸۵/۳	۱۴/۷۵	۷۴/۵	۲۵/۵۵	۳۴/۹	۶۵/۱	۳۹/۳	۶۰/۷	۹۰/۳	۹/۷۲
آبان	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۹۳/۷	۶/۲۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
آذر	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۹۹/۹	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
دی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۹۹/۹	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
بهمن	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۹۹/۹	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
اسفند	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۹۹/۹	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
فروردین	۹۹/۹	۰/۰۱	۹۹/۹	۰/۰۱	۹۹/۹	۰/۰۱	۹۹/۹	۰/۰۲	۹۹/۹	۰/۰۱	۹۹/۹	۰/۰۱
اردیبهشت	۹۹/۹	۰/۰۱	۱۰۰	۰/۰۰	۹۹/۹	۰/۰۴	۹۹/۹	۰/۰۲	۹۹/۹	۰/۰۱	۸۶/۴	۱۳/۶۵
خرداد	۹۶/۴	۳/۵۷	۹۹/۹	۰/۰۱	۱۰۰	۰/۰۰	۹۹/۹	۰/۰۴	۹۸/۹	۱/۰۲	۴۶/۵	۵۳/۴۶
تیر	۸۰/۱	۱۹/۹۲	۸۵/۵۲	۱۴/۴۸	۹۶/۵	۳/۵۵	۷۵	۲۴/۹۸	۷۴/۸	۲۵/۲۲	۱۱/۹	۸۸/۱۰
مرداد	۷۵/۹	۲۴/۰۶	۸۰/۰۰	۲۰/۰۰	۹۳/۷	۶/۲۵	۶۲	۳۷/۹۵	۴۶/۳	۵۳/۶۸	۲۲/۲	۷۷/۷۹
شهریور	۷۹	۲۰/۹۷	۸۳/۹	۱۶/۰۹	۷۵/۸	۲۴/۱۴	۳۰/۷	۶۹/۲۸	۳۹/۵	۶۰/۵۲	۳۰/۵	۶۹/۴۸

۵- تدوین سیاست‌های بهینه بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب

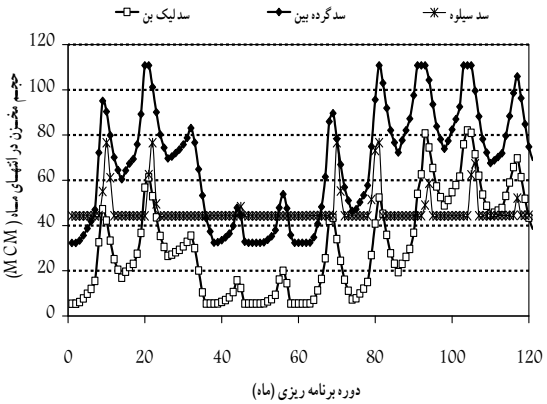
با توجه به در نظر گرفتن آبخوان دشت پیرانشهر به‌عنوان منبع آب زیرزمینی برای تأمین نیازها، مناطقی که قابلیت برنامه‌ریزی تلفیقی دارند عبارت‌اند از: اراضی کشاورزی لیک‌بن، گرده‌بین، تمرچین، حاج‌ابراهیم، قلعه‌تراش، بادین‌آباد و مصارف شرب شهر پیرانشهر. بنابراین به‌منظور ارائه سیاست‌های بهینه بهره‌برداری تلفیقی از منابع، برای این مناطق با توجه به مقادیر بهینه تخصیص مشخص شده با استفاده از الگوریتم NSGA-II به‌صورت ماهانه، برنامه‌ریزی برداشت مطابق جدول ۵ ارائه گردید.

همانطور که در این جدول مشخص است با توجه به اینکه اولویت برداشت از منابع برای تخصیص به نیازها ابتدا با آب سطحی است، لذا در اکثر ماهها درصد قابل توجهی از نیازها توسط منابع آب سطحی تأمین شده و در صورت کمبود و رعایت محدودیت تراز سطح آب زیرزمینی، برداشتی از آبخوان صورت می‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

برای دستیابی به سیاست‌های بهینه ارائه شده، لازم است منحنی فرمان هر یک از سدها تهیه شود و در اختیار بهره‌برداری قرار گیرد. برای این منظور براساس مقادیر بهینه تخصیص‌ها و استخراج حجم مخزن متناسب با آنها اقدام به ارائه تغییرات حجم مخازن نسبت به زمان (منحنی فرمان) گردید. به‌عنوان نمونه منحنی فرمان سه سد سیلوه، گرده‌بین و لیک بن که اهمیت زیادی در تأمین نیازهای آب محدوده دارند، مطابق شکل ۵ ارائه شده است. در واقع در صورت رعایت برداشت از منابع آب سطحی مطابق منحنی‌های فرمان می‌توان به سیاست‌های بهینه تخصیص دست یافت.



شکل ۵- منحنی فرمان بهره‌برداری از سدهای سیلوه، گرده‌بین و لیک‌بن

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به کمبود منابع آبی کشور و عدم مدیریت صحیح از منابع آب سطحی و زیرزمینی، لازم است برای احیای طبیعی منابع و استفاده بهینه از آنها مدل‌های مدیریتی با توجه به اهداف سازگار با منطقه و محدودیتهای آن تهیه و برنامه‌ریزی‌های متناسب با آن استخراج گردد. لذا در این مقاله بر پایه داده‌ها، اطلاعات پایه و گزارشهای هیدرولوژی، هیدروژئولوژی و مطالعات نیاز آبی محدوده مطالعاتی حوضه کلاس، مدل چندهدفه بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی تدوین گردید. در این مدل اهداف در نظر گرفته شده عبارت بودند از: کاهش میزان عدم تأمین نیاز، کاهش میزان آب خروجی از مرز ایران و افزایش میزان آب انتقالی به حوضه‌گدار برای احیای دریاچه ارومیه. به‌منظور تعیین مقادیر بهینه تخصیص از منابع آبی موجود، محدودیتهایی در خصوص تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی، ظرفیت کانال‌ها و تونل‌های مورد استفاده، وضعیت مصارف و حجم مخازن واقع در محدوده طرح، اعمال گردید. با توجه به اینکه طول دوره برنامه‌ریزی ده ساله در نظر گرفته شده است و متغیرهای در نظر گرفته شده برای هر ماه برابر با ۲۶ است، لذا تعداد کل متغیرهای تصمیم معادل ۳۱۲۰ خواهد شد. بنابراین با توجه به تعداد زیاد متغیرهای تصمیم و غیرخطی بودن روابط حاکم بر سامانه منابع آبی، لازم است برای حل ساختار بهره‌برداری تلفیقی ارائه شده از الگوریتمی مناسب استفاده گردد. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک درجه‌بندی جواب غیرپست NSGA-II به‌دلیل به‌کارگیری عملگرهای مناسب از سرعت و دقت قابل توجهی در دستیابی به جواب‌های نزدیک به بهینه کلی برخوردار است. لذا در این مطالعه نیز این الگوریتم مورد توجه قرار گرفت. با اجرای ساختار پیشنهادی توسط الگوریتم NSGA-II، مقادیر بهینه تخصیص به نیازها به‌صورت ماهانه تعیین گردید. نتایج نشان می‌دهد که مقدار بهینه کل آب انتقالی از حوضه کلاس به حوضه گدار به‌طور متوسط، سالانه برابر با ۸۱۱/۳۳ MCM است که ۱۳۲/۵۵ MCM آن از طریق تونل جلدیان و ۶۷۸/۷۸ MCM با استفاده از تونل کانی‌سیب صورت می‌گیرد. در این حالت متوسط سالیانه آب خروجی از مرز برابر با ۸۱۷/۲۱ MCM خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد که اجرای سیاست‌های ارائه شده توسط مدل پیشنهادی می‌تواند از خروج حجم قابل توجهی از منابع آبی از مرز جلوگیری نموده و با مدیریت مناسب و بهینه، مقادیر مازاد بر نیاز حوضه را به حوضه مجاور انتقال دهد.

۷- مراجع

1- Yevjevich, V. (2001). "Water diversions and inter-basin transfers." *International Water Resources Association Water International*, 26 (3), 342-348.

2- Shao, X., and Wang, H. (2003). "Inter-basin transfer projects and their implications: A china case study." *Intl. J. River Basin Management*, 1 (1), 5-14.

3- Feng, S., Li, L., X., Duan, Z.G., and Zhang, J.L. (2007). "Assessing the impacts of south-to-north water transfer project with decision support systems." *Decision Support Systems*, 42 (4), 1989-2003.

4- Karamouz, M., Mojahedi, E., and Ahadi, A. (2007). "Economic assessment in development of operating plices for inter-basin water transfer." *Iran Water Resources Reserch*, 3(2), 10-25. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

5- Mohammad Rezapour Tabari, M., Maknoon, R., and Ebadi, E. (2009). "Multi-objective optimal model for canjuctive use management using SGAs and NSGA-II models." *J. of Water and Wastewater*, 69, 2-12. (In Persian)

6- 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 Dalı´as." *J. of Hydrology*, 353, 159-174.

7- Safavi, H., Afshar, A., Ghaheri, A., Abrishamchi, A., and Tajrishi, M. (2007). "A quality- quantity simulation model for stream- aquifer interation." *J. of Water and Wastewater*, 61, 2-14. (In Persian)

8- Golian, S., Abrishamchi, A., and Tajrishii, M. (2007). "A system dynamics- based analysis of operation plicies for water resources at river basin scale." *J. of Water and Wasewater*, 63, 70-80. (In Persian)

9- Ostadrahimi, L., Ardeshir, A., and Afshar, A. (2007). "Optimum design and operation of cyclic storage systems; lumped approach." *J. of Water and Wastewater*, 60, 41-54. (In Persian)

10- Abgir Cansulting Eng. (2008). *Orumiye lake water demand determination*, Tehran. (In Persian)

11- Mohammad Rezapour Tabari, M. (2009). "Uncertainty based conjuctive use modeling in regional scale." Ph.D. Thesis, Dept. of Civil and Environment Eng., Amir Kabir University of Tech., Tehran. (In Persian)

12- Chen, L., McPhee, J., and Yeh, W.W. G. (2007). "A diversified multiobjective GA for optimizing reservoir rule curves." *Advances in Water Resources*, 30, 1082-1093.

www.SID.ir