

ارائه ساختاری به منظور برنامه ریزی بلند مدت بهینه بهره برداری تلفیقی

تقی عبادی^۱

رضا مکنون^۲

محمود محمد رضا پور طبری^۱

(دریافت ۸۸/۹/۵ آخرین اصلاحات دریافتی ۹۰/۴/۲۹ پذیرش ۹۰/۵/۷)

چکیده

کمیت و کیفیت منابع آبی قابل دسترس به عنوان مهم ترین فاکتور محدود کننده توسعه در اکثر مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می شوند. مدیریت در استفاده تلفیقی از منابع آب، یکی از مهم ترین گزینه هایی است که می تواند به منظور بهره برداری بهینه از منابع آبی قابل دسترس، مفید و مؤثر واقع شود. در این تحقیق به منظور برنامه ریزی بلند مدت بهره برداری تلفیقی، مدلی با هدف حداقل نمودن میزان عدم تأمین نیاز سیستم با توجه به منابع آبی موجود تدوین گردید. در این راستا محدودیتهای در نظر گرفته شده برای مدل سازی شامل محدودیت برداشت از منابع، اولویتهای مصرف در مناطق و بخشهای مختلف، طرحهای انتقال آب بین حوضه ای و میزان تقاضای سیستم برای یک دوره ۳۰ ساله بودند. به منظور همگرایی سریع تر مدل تدوین شده از مدل بهینه سازی الگوریتم ژنتیک مرحله ای استفاده شد. با توجه به نتایج مدل بهینه سازی، دستورالعمل های بهره برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی به تفکیک برای مصارف شرب و کشاورزی به ترتیب به صورت سالانه و ماهانه برای سه افق کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت به نحوه مطلوبی تدوین شد و مورد صحت سنجی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان دهنده کارایی بالای سیاست های ارائه شده در جهت بهبود پتانسیل های آبی منطقه و جلوگیری از تلفات بی رویه آب در نتیجه استفاده نامطلوب از آن در اراضی کشاورزی و افزایش پایداری در سیستم آب زیرزمینی بود.

واژه های کلیدی: بهینه سازی، بهره برداری تلفیقی، الگوریتم ژنتیک مرحله ای، اطمینان پذیری، سیاست های بلند مدت

Development Structure for Optimal Long-Term Planning in Conjunctive Use

Mahmoud Mohammad Rezapour Tabari¹

Reza Maknoon²

Taghi Ebadi²

(Received Nov. 26, 2009 Revised July 20, 2011 Accepted July 29, 2011)

Abstract

In the most of arid and semi-arid countries, the quality and quantity of available water resources play a significantly limiting role in development. In these regions, the conjunctive management is a suitable alternative that can lead to the optimal operation of available water resources. In this study, a conjunctive use model is developed in order to maximize water supply demands in 30-year period historical records. Discharge from resources, consumption priority in sectors and zones, inter-basin water conveyance plans and water demands are considered as the optimization model's constraints. The ultimate goal of the study is to present short-term, medium-term and long-term operating policy. The sequential genetic algorithm is used to speed up the convergence to near global solution. The operating rules of surface and groundwater resources are separately developed for agriculture as well as domestic demands in the annual and monthly manner, respectively in the three above-mentioned periods. Finally, these rules are verified based on previously unused historical records. The results showed that the proposed model can effectively improve water resources potential, sustainable groundwater resources and undesirable use in agriculture sector.

Keywords: Optimization, Conjunctive Use, Sequential Genetic Algorithm, Reliability, Long-Term Policy.

1. Assist. Prof. of Civil Eng., Dept. of Eng., Shahrekord University, Shahrekord (Corresponding Author) (+98 21) 55391429
mrtabari@eng.sku.ac.ir

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد (نویسنده مسئول)
mrtabari@eng.sku.ac.ir، ۵۵۳۹۱۴۲۹ (۰۲۱)

2. Assist. Prof. of Civil and Environmental Eng., Dept. of Civil Eng., Amir Kabir University of Tech., Tehran

۲- استادیار گروه عمران و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

مناسبی به منظور تأمین نیازهای کشاورزی مورد توجه قرار گیرد [۴].

پولیدو و لاکیزوز و همکاران^۵ در سال ۲۰۰۶ مدل مدیریت بهره‌برداری تلفیقی را ارائه نموده‌اند. در این مدل تابع پاسخ آبخوان به منظور کاهش زمان همگرایی به صورت خطی در نظر گرفته شده است. با استفاده از روش برنامه‌ریزی مرحله‌ای، مقادیر بهینه تخصیص به نیازهای شرب و کشاورزی تعیین شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که ساده‌سازی در بیان رفتار آبخوان‌هایی با تغییرات تراز کم، می‌تواند منجر به کاهش چشمگیر زمان اجرا گردد [۵].

دال و همکاران^۶ در سال ۲۰۰۸ بهره‌برداری تلفیقی از مخزن سد و آب زیرزمینی را تحت سه طرح مدیریتی مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند. برای این منظور از یک مدل غیرخطی ماهانه در داخل مدل برنامه‌ریزی پویای تصادفی استفاده گردیده است. در گام اول پارامترهای مدل تحت سیستم ترکیبی مخزن سد و آب زیرزمینی و شرایط بهره‌برداری با استفاده از سری تاریخی کالیبره شده است. سپس مدل به منظور تخمین منافع حاصل از مدیریت مخزن آب تحت سناریوهای اقتصادی مورد استفاده قرار گرفته است. این سناریوها شامل سناریوی تولید برقآبی، سناریوی بهره‌برداری تلفیقی و سناریوی بدون استفاده تلفیقی بوده است [۶].

افشار و همکاران در سال ۲۰۱۰ مدل ذخیره سیکلی را تدوین نموده‌اند. تأکید این مطالعه بر روی توسعه و اجرای الگوریتم ترکیبی الگوریتم ژنتیک دو مرحله‌ای و برنامه‌ریزی خطی به منظور بهینه نمودن یک سیستم غیرخطی، غیرمحدب و نیمه‌گسترده بزرگ مقیاس در یک منطقه تحت آبیاری بوده است. این روش نسبت به سایر روشها به دلیل زیاد بودن تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی از عملکرد بالایی در دستیابی به جواب موجه عملی، برخوردار است. نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی ذخیره سیکلی از انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به مدل غیر سیکلی در کاهش هزینه ساخت و بهره‌برداری برخوردار است [۷].

در تحقیقی که توسط صفوی و علیجانی در سال ۲۰۱۰ ارائه گردیده است، الگوی کشت بهینه و بهره‌برداری تلفیقی برای دشت نجف‌آباد توسعه داده شده است. از سیستم استنتاج فازی به منظور در نظر گرفتن نظرات متخصصان و افراد با تجربه اعم از تصمیم‌گیران و کشاورزان استفاده شده است تا بر اساس نیاز آبی هر محصول بتوان برنامه‌ریزی بهینه‌ای را برای آن ارائه داد و آب با قابلیت اطمینان بالا با توجه به شرایط اقلیمی به هر محصول اختصاص داده شود. نتایج نشان می‌دهد که این روش بر روی بازه وسیعی از شرایط اقلیمی مختلف قابل اجرا است [۸].

کمیت و کیفیت منابع آبی قابل دسترس به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور محدود کننده توسعه در اکثر مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شوند. افزایش نیاز آبی، چالش‌های جدیدی را برای برنامه‌ریزی سیستم‌های منابع آب مطرح نموده است. لذا توسعه، اجرا و مدیریت کارا در پروژه‌های منابع آب امری ضروری است و لازمه آن، مطالعات دقیق با در نظر گرفتن مسائل و پیچیدگی‌های موجود و ارائه راهکاری مناسب برای حل آنها است. مدیریت در استفاده تلفیقی از منابع، یکی از گزینه‌هایی است که می‌تواند به منظور مدیریت بهتر و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی، مفید و مؤثر واقع شود. مفهوم استفاده تلفیقی به‌طور نسبی یک مفهوم جدید است که در کشوری مانند ایران کمتر و یا در برخی موارد اصلاً به آن توجه نشده است. یکی از اولین مطالعاتی که در زمینه بهره‌برداری تلفیقی از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی انجام شده است توسط براس^۱ در سال ۱۹۶۳ ارائه گردیده است. در این تحقیق از منابع آب سطحی (سد) و زیرزمینی به منظور تأمین نیاز آبی اراضی کشاورزی استفاده شده است. در این مدل، تغذیه مصنوعی از سد به آبخوان نیز مدنظر قرار گرفته است. برای بهینه نمودن برداشت از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی، از مدل برنامه‌ریزی پویای احتمالاتی با گام زمانی سالانه استفاده گردیده است [۱].

مکنون و برجس^۲ در سال ۱۹۷۸ مؤلفه‌های مؤثر در سیستم‌های بهره‌برداری تلفیقی را معرفی و راهکارهای لازم به منظور مدیریت تلفیقی از منابع آبی موجود را ارائه نموده‌اند. این راهکارها کلی بوده و در مسائل خاص می‌تواند به‌عنوان راهنمایی مناسب مورد استفاده قرار گیرد [۲].

عزیز^۳ در سال ۲۰۰۲ مدل تصمیم‌گیری چند مرحله‌ای را به منظور بهره‌برداری تلفیقی با توجه به تغذیه مصنوعی ارائه نموده است. در این مدل نیاز آبی به صورت تصادفی و هزینه‌های فرصت^۴ در مدل بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است. تابع هدف مدل، حداقل نمودن هزینه‌های بهره‌برداری از سیستم است [۳].

کارآموز و همکاران در سال ۲۰۰۴ مدل یکپارچه بهره‌برداری تلفیقی را به منظور تأمین نیازهای کشاورزی، حداقل نمودن میزان هزینه پمپاژ و کنترل تراز سطح آب زیرزمینی ارائه کرده‌اند. در این مطالعه تغذیه ناشی از چاههای جذبی در مدل شبیه‌سازی دیده شده است. روابط پاسخ آبخوان در مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی پویا به منظور بررسی تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی ارائه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده تلفیقی می‌تواند به‌عنوان ابزار

¹ Buras

² Burges

³ Azaiez

⁴ Opportunity Costs

⁵ Pulido-Velazquez et al.

⁶ Dale et al.

علاوه بر مطالعات بالا تحقیقات زیادی دیگری نیز تا کنون انجام شده که از مهم‌ترین آنها می‌توان به کو^۱، لطیف^۲، اونتو^۳ و همکاران^۴، بارلو^۴، ودلا^۵، کارآموز، محمد رضا پور طبری، مهجوری، اسلامی، هاشمی، استاد رحیمی و همکاران و صفوی و همکاران اشاره نمود [۹-۲۳].

از مطالعات صورت گرفته در خصوص بهره‌برداری تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی که از سال ۱۹۶۳ شروع شده و تا کنون ادامه دارد می‌توان دریافت که در تمامی این مطالعات، بخشهایی از یک سیستم منابع آب مورد توجه قرار گرفته است و از مدل‌سازی مسائل و واقعیتهای سیستم منابع آب در بهره‌برداری تلفیقی خودداری شده است. هدف این تحقیق ارائه سیاست‌های بهینه برداشت از منابع آب بر پایه نظرات و سیاست‌های تصمیم‌گیران تأمین آب بود که در نظر گرفتن این پارامتر در مطالعات انجام شده قبلی به چشم نمی‌خورد. لذا در این تحقیق سعی شد با توجه به ابزارهای مدل‌سازی به نحوه مطلوبی، سیاست‌ها و دستورالعمل‌های مدیریتی به منظور بهره‌برداری از هر منبع به تفکیک نوع مصرف برای افقهای کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت با اعمال نظرات توزیع‌کنندگان آب تدوین شود.

۲- مؤلفه‌ها و اجزای برنامه‌ریزی تلفیقی

برنامه‌ریزی تلفیقی در یک منطقه مورد مطالعه نیازمند اجزایی است که باید به دقت مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. این اجزا عبارت‌اند از: وضعیت زهکشی و توزیع آب در منطقه، تغییرات دینامیکی در رژیم جریان آب زیرزمینی و کیفیت آن، میزان آب مورد نیاز، بررسی امکان اجرای سازه‌های سطحی و زیرزمینی، شرایط اکولوژیکی و محیط زیستی منطقه و تغییراتی که در الگوی اقتصادی و اجتماعی منطقه احتمال وقوع دارد. به منظور استفاده بهینه از منابع آبی موجود، استفاده از مدلی که بتواند پاسخ حوضه را به تغییرات طبیعی، میزان تغذیه و پمپاژ و سایر گزینه‌هایی که در سیاست‌های بهره‌برداری مؤثر هستند، شبیه‌سازی نماید امری ضروری است.

بارش یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آبهای سطحی است که میزان آن وابسته به شدت رواناب تولید شده و گستردگی آن در سطح حوضه آبریز است. آبهای سطحی را می‌توان با استفاده از انتقالهای بین حوضه نیز تأمین نمود. شرایط ذخایر زیرزمینی به‌طور کمی و کیفی برای زمان‌ها و مکان‌های مختلف متفاوت بوده و تابعی از قابلیت دسترسی به آبخوان، میزان تغذیه سفره و کیفیت آب

زیرزمینی دارد. همچنین میزان تغذیه آبخوان توسط چاهها و برداشت بیش از اندازه از آبخوان از جمله عوامل مؤثر در بهره‌برداری از منابع زیرزمینی هستند که باید آنها را در برنامه‌ریزی تلفیقی مدنظر قرار داد. وضعیت و طبیعت نیازهای آبی سیستم مورد بررسی نیز عامل مهم دیگری در برنامه‌ریزی تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی است. به‌طور کلی اجزای سیستم بهره‌برداری تلفیقی شامل رودخانه، مخازن زیرزمینی، چاههای پمپاژ، چاههای تغذیه، سیستم‌های انتقال آب و سیستم انحراف جریان رودخانه به‌منظور تغذیه مصنوعی و مناطق نیاز است.

۳- ساختار مدل بهینه‌سازی تدوین شده

با توجه به منابع آبی موجود، نیازهای رو به رشد و برداشت‌های نامتعادل برای تأمین نیازهای آبی سیستم، وضعیت طبیعی سیستم منابع آبی به تدریج رو به تخریب رفته و چنانچه مدیریت صحیح بر این امر صورت نپذیرد در آینده‌ای نزدیک بحران منابع آب به‌صورت جدی تر مطرح خواهد شد. لذا ارائه دستورالعمل‌های مدیریتی به منظور بهبود وضعیت منابع آبی موجود و همچنین تخصیص بهینه از هر منبع سطحی و زیرزمینی می‌تواند راهگشای مدیران و مجریان مرتبط با این موضوع باشد.

با توجه به مشکلات و معضلات ارائه شده می‌توان گفت که اهدافی که در تهیه و تدوین مدل بهینه‌سازی دنبال می‌گردد شامل حداقل نمودن هزینه‌های ناشی از عدم تأمین نیاز، احیای آبخوان و کنترل تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی و استفاده بهینه از ذخایر منابع آب سطحی است. مهم‌ترین فرضیاتی که در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شد به‌صورت زیر بود: الف) اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی به‌صورت غیرمستقیم در مدل دیده شد. به این صورت که پساب آب برداشت شده از منابع سطحی به‌عنوان منبعی برای تغذیه آبخوان در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه رودخانه در محدوده آبخوان دارای جریانی نیست لذا ارتباط هیدرولیکی بین این دو منبع در مدل تدوین شده، لحاظ نشد. ب) عدم قطعیت در پارامترهای جریان سطحی ورودی به مخزن سد و ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان دیده نشد. ج) با توجه به اینکه در این تحقیق، مدیریت منابع آب در تخصیص به‌منظور ارائه برنامه بهینه بهره‌برداری مورد توجه بود، لذا منافع حاصل از تأمین نیازها در این تحقیق مدنظر قرار نگرفت. لازم به‌ذکر است در تابع هدف مدل پیشنهادی می‌توان اهدافی همچون مسائل اقتصادی در تأمین، مسائل مرتبط با کیفیت آب تخصیص داده شده و غیره را نیز اضافه نمود. د) آبخوان دشت مورد مطالعه به‌صورت توده‌ای به شبیه‌سازی تراز سطح آب زیرزمینی می‌پردازد. به‌منظور افزایش شبیه‌سازی رفتار آبخوان، لازم است سفره به‌صورت گسترده مورد شبیه‌سازی

¹ Coe

² Latif

³ Onta et al.

⁴ Barlow

⁵ Vedula

تابع هدف

$$\text{Minimize} \left(\sum_{t=1}^m \sum_{z=1}^{nz} \sum_{s=1}^{ns} (DM_{tzs} - TAW_{tzs})^2 + \text{PenaltyFunction} \right) \quad (1)$$

محدودیتها

$$E_t = EV_t \times 10^{-3} \times (-3 \times 10^{-5} \times S_t^2 + 0.023 \times S_t + 0.4098) \quad (2)$$

$$S_{t+1} = \max(\min((S_t + I_t - E_t - R_t), S_{\max}), S_{\min}) \quad (3)$$

$$TSR_t = R_t + R_{\text{taleghan}_t} + R_{\text{bin}_t} - DMT_t \quad (4)$$

$$\text{PenaltyFunction} = \sum_{t=1}^m \left(\max \left(\left(1 - \frac{S_t + I_t - E_t - R_t}{S_{\min}} \right), 0 \right) \times \gamma + \sum_{z=1}^{nz} \sum_{s=1}^{ns} \left((RS_{tzs} - ARS_{tzs})^2 \times \alpha + (RG_{tzs} - ARG_{tzs})^2 \times \beta \right) \right) \quad (5)$$

$$TAW_{tzs} = RS_{tzs} + RG_{tzs}, \quad t=1, \dots, m \times y, \quad z=1, \dots, nz, \quad s=1, 2, 3 \quad (6)$$

$$ARS_{tzs} = \begin{cases} DM_{tzs} & \text{if} \left(TSR_t - \sum_{z=1}^{z-1} \sum_{s=1}^s DM_{tzs} - \sum_{z=1}^z \sum_{s=1}^{s-1} DM_{tzs} \right) \geq DM_{tzs} \\ \left(TSR_t - \sum_{z=1}^{z-1} \sum_{s=1}^s DM_{tzs} - \sum_{z=1}^z \sum_{s=1}^{s-1} DM_{tzs} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$Z = IZ(1), \dots, IZ(nz), \quad S = IS(1), \dots, IS(ns)$$

$$TDF_{tzs} = DM_{tzs} - ARS_{tzs} \quad (8)$$

$$Dh_t(V_t) = \frac{(\text{Input}_t - \text{Output}_t - \text{Eff} \times V_t)}{A \times S_s} \quad (9)$$

$$ARG_{tzs} = \begin{cases} TDF_{tzs} & \text{if} \left(Dh_t \left(\sum_{z=1}^{z-1} \sum_{s=1}^s TDF_{tzs} - \sum_{z=1}^z \sum_{s=1}^{s-1} TDF_{tzs} \right) \leq \Delta h_{\max} \right) \\ \frac{(\text{Input} - \text{Output} + \Delta h_{\max} \times A \times S_s)}{\text{Eff}} - \sum_{z=1}^{z-1} \sum_{s=1}^s TDF_{tzs} - \sum_{z=1}^z \sum_{s=1}^{s-1} TDF_{tzs} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

$$Z = IZ(1), \dots, IZ(nz), \quad S = IS(1), \dots, IS(ns)$$

بخش s در دوره t از منطقه z، EV_t میزان تبخیر واحد از مخزن سد در دوره t (میلی متر)، E_t تبخیر از مخزن سد در دوره t، S_t حجم مخزن سد در دوره t، I_t میزان آورد رودخانه در دوره t، R_t حجم آب خروجی از مخزن سد در دوره t، S_{\max} حداکثر و S_{\min} حداقل ظرفیت مخزن سد، R_{taleghan_t} میزان حجم آب انتقالی از مخزن سد طالقان در دوره t، R_{bin_t} حجم آورد بین راهی در دوره t، TRS_t میزان کل آب سطحی تخصیص داده شده در دوره t، RS_{tzs} حجم کل آب سطحی تخصیص داده شده به بخش s در دوره t از منطقه z، RG_{tzs} حجم کل آب زیرزمینی تخصیص داده شده به بخش s در

قرار گیرد. در این بخش ساختار مدل بهینه سازی تدوین شده ارائه شد.

که در این روابط

واحد حجم ها میلیون مترمکعب است¹، Penalty Function میزان کل جریمه تخصیص داده شده به دلیل عدم رعایت اولویتها، برداشت، مصرف و احیای منابع آبی موجود (بی بعد)، DM_{tzs} نیاز آبی بخش s در دوره t از منطقه z، DMT_t میزان نیاز آبی شهر تهران از منابع آب سطحی در ماه t، TAW_{tzs} میزان کل آب تخصیص داده شده به

¹ Million Cubic Meter (MCM)

دوره t از منطقه Z ، ARS_{tZ} حجم کل آب سطحی تخصیص داده شده به بخش s در دوره t از منطقه Z (با در نظر گرفتن اولویتهای منابع و مصارف)، ARG_{tZ} حجم کل آب زیرزمینی تخصیص داده شده به بخش s در دوره t از منطقه Z (با در نظر گرفتن اولویتهای منابع و مصارف)، β, α, γ ضرایب ثابت به منظور هم بعد نمودن توابع جریمه مرتبط با برداشت از منابع آب سطحی، زیرزمینی و ظرفیت مخزن که در این مطالعه β, α برابر با ۱۰ و γ برابر با ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد، $IS(s)$ میزان اولویت بخش s ، $IZ(z)$ میزان اولویت منطقه Z ، TDF_{tZ} حجم کل کمبود آب بخش s در دوره t از منطقه Z ، $Dh_t(V_t)$ میزان تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان در نتیجه برداشت به میزان V در دوره t ، $Input_t$ حجم کل آب ورودی به آبخوان به صورت زیرزمینی، $Output_t$ حجم کل آب خروجی از آبخوان به صورت زیرزمینی، Eff درصد استفاده مفید از آب تخصیص داده شده، A مساحت آبخوان (کیلومتر مربع)، S_0 ضریب ذخیره ویژه آبخوان، Δh_{max} حد مجاز تغییر ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی (متر)، nZ تعداد مناطق نیاز و nS تعداد بخشهای مصرف کننده آب واقع در هر منطقه نیاز است.

در این مدل بهینه سازی، متغیرهای تصمیم (ژن های هر کروموزوم) شامل میزان تخصیص از منابع آب زیرزمینی به منظور تأمین نیازهای ۵ شهر کرج بزرگ، کمالشهر، محمدشهر و مشکین دشت، ماهدشت، گرمدره و روستاهای شهرستان کرج و همچنین نیازهای کشاورزی و صنعت بود. همچنین متغیرهای تصمیمی به منظور تخصیص از منابع آب سطحی برای مصارف شهرهای کرج بزرگ، کمالشهر و اراضی کشاورزی نیز در نظر گرفته شد (جدول ۱). میزان آب خروجی از سد کرج نیز به عنوان آخرین متغیر تصمیم در هر ماه مدنظر قرار گرفت. در مجموع تعداد متغیرهای تصمیم برای هر ماه از افق برنامه ریزی برابر با ۱۲ بود که برای یک دوره ۳۰ ساله تعداد کل متغیرهای تصمیم برابر با $12 \times 12 \times 30 = 4320$ خواهد بود. به منظور تدوین سیاست های بهره برداری دراز مدت از منابع آب سطحی و زیرزمینی سه افق ۱۳۹۰، ۱۴۰۰ و ۱۴۱۰ در نظر گرفته شد و سیاست ها به تفکیک برای این سه دوره تعیین گردید.

هدف مدل تدوین شده، تأمین نیاز بخشهای مختلف با توجه به اولویتهایی بود که برای آنها در نظر گرفته شد (جدول ۲). بنابراین

به منظور دستیابی به این هدف لازم است مدل، تخصیص ها را به نحوی ارائه دهد که حتی امکان با توجه به منابع آبی موجود، نیازها تأمین شوند (بخش اول تابع هدف). همچنین از آنجا که الگوریتم بهینه سازی مورد استفاده قادر به تشخیص اولویتهای تخصیص نیست، لذا باید ترم دیگری را نیز به تابع هدف اضافه نمود تا تخصیص صورت گرفته مطابق اولویتهای مدنظر باشد و از آن تخطی ننماید. در صورت عدم ارائه این ترم، ممکن است تأمین نیاز صورت گیرد اما بخشهایی که دارای اولویت بالا در تأمین هستند از قابلیت اطمینان پایینی برخوردار شود که مطلوب این تحقیق نیست.

بر اساس رابطه سطح - حجم مخزن سد کرج و میزان ارتفاع تبخیر ماهانه می توان میزان کل تبخیر از سطح دریاچه سد را مطابق رابطه ۲ به دست آورد. میزان حجم مخزن سد در انتهای هر گام زمانی با استفاده از رابطه ۳ مورد محاسبه قرار گرفت. با توجه به اینکه شهر تهران در اولویت اول تخصیص از سد کرج قرار دارد، لذا مطابق رابطه ۴ ابتدا مجموع آب حاصل از کانال انتقال سد طالقان، میزان آب خروجی از سد کرج و جریانات بین راهی که پس از سد کرج وارد ایستگاه بیلقان می شود، به شهر تهران تخصیص می یابد و مازاد آن به منظور تخصیص به نیازهای کرج در نظر گرفته می شود.

در محدوده مورد مطالعه، برداشت آب از منابع سطحی و زیرزمینی به میزان نیاز صورت می گیرد و برداشت مازادی در این زمینه انجام نمی شود تا برنامه ریزی بر روی آن صورت گیرد. در روابط ارائه شده، دو مقدار برای تخصیص از هر منبع ذکر شد. این دو مقدار عبارتند از: تخصیص بر اساس متغیرهای تصمیم (RS_{tZ} و RG_{tZ}) و بر اساس اولویتهای منابع و مصارف (ARS_{tZ} و ARG_{tZ}). تفاوت این مقادیر در اولویتهای منابع و مصارف است. به این صورت که به منظور تخصیص، ابتدا بر اساس اولویت منابع، تخصیص به نیازها صورت می گیرد. با توجه به اینکه منابع آب سطحی در اولویت اول برداشت قرار دارند، تأمین نیازها با توجه به اولویت مناطق و بخشها بر اساس این منبع انجام شده و در صورت کمبود و با رعایت محدودیتهای برداشت از آبخوان (با توجه به شرایط پایداری آبخوان که تخصیص باید به میزان ورودی منهای خروجی و در نظر گرفتن محدودیت تغییرات تراز ماهانه نیازها باشد)، کمبود نیازها جبران می گردد (رابطه ۸).

جدول ۱- نحوه تأمین مصارف از منابع آب سطحی و زیرزمینی

مصارف	شهر تهران	کرج بزرگ	کمالشهر	مشکین دشت	ماهدشت	گرمدره	روستاها	صنعت	کشاورزی
منابع آب سطحی	✓	✓	✓						✓
منابع آب زیرزمینی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

جدول ۲- میزان اولویت مصارف در تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی

مصارف	شهر تهران	کرج بزرگ	کمالشهر	مشکین دشت	ماه‌دشت	گرم‌دره	روستاها	صنعت	کشاورزی
اولویت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹

زه‌رایی و همکاران در سال ۲۰۰۸ مورد بازنگری و اصلاح قرار گرفته است [۲۵].

ساختار مدل بهینه‌سازی مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۱ ارائه شده است. در این روش حل، ابتدا مدل بهینه‌سازی برای یک دوره یک‌ساله اجرا و مقادیر بهینه آن تعیین شد. سپس از نتایج بهینه‌سازی مرتبط با سال اول به عنوان مقادیر اولیه به جای تولید مقادیر تصادفی برای هر ژن، برای بهینه‌سازی سال دوم مورد استفاده قرار گرفت. این روند تا تکمیل دوره برنامه‌ریزی مورد نظر ادامه یافت.

در این تحقیق اولویت منابع، مصارف و مناطق مورد بررسی در مدل بهینه‌سازی به این صورت دیده شد که ابتدا با توجه به حجم آورد رودخانه، تخصیص از منابع آب سطحی در اولویت اول نسبت به منابع آب زیرزمینی قرار گرفت. در خصوص مصارف نیز ابتدا بخش شرب سپس صنعت و در نهایت اراضی کشاورزی، تأمین نیاز شد. در خصوص اولویت‌بندی مناطق نیز به این صورت عمل گردید که ابتدا مناطق شهری بزرگ و سپس مناطق حاوی اراضی کشاورزی و صنعتی از منابع آبی موجود بهره‌مند شدند.

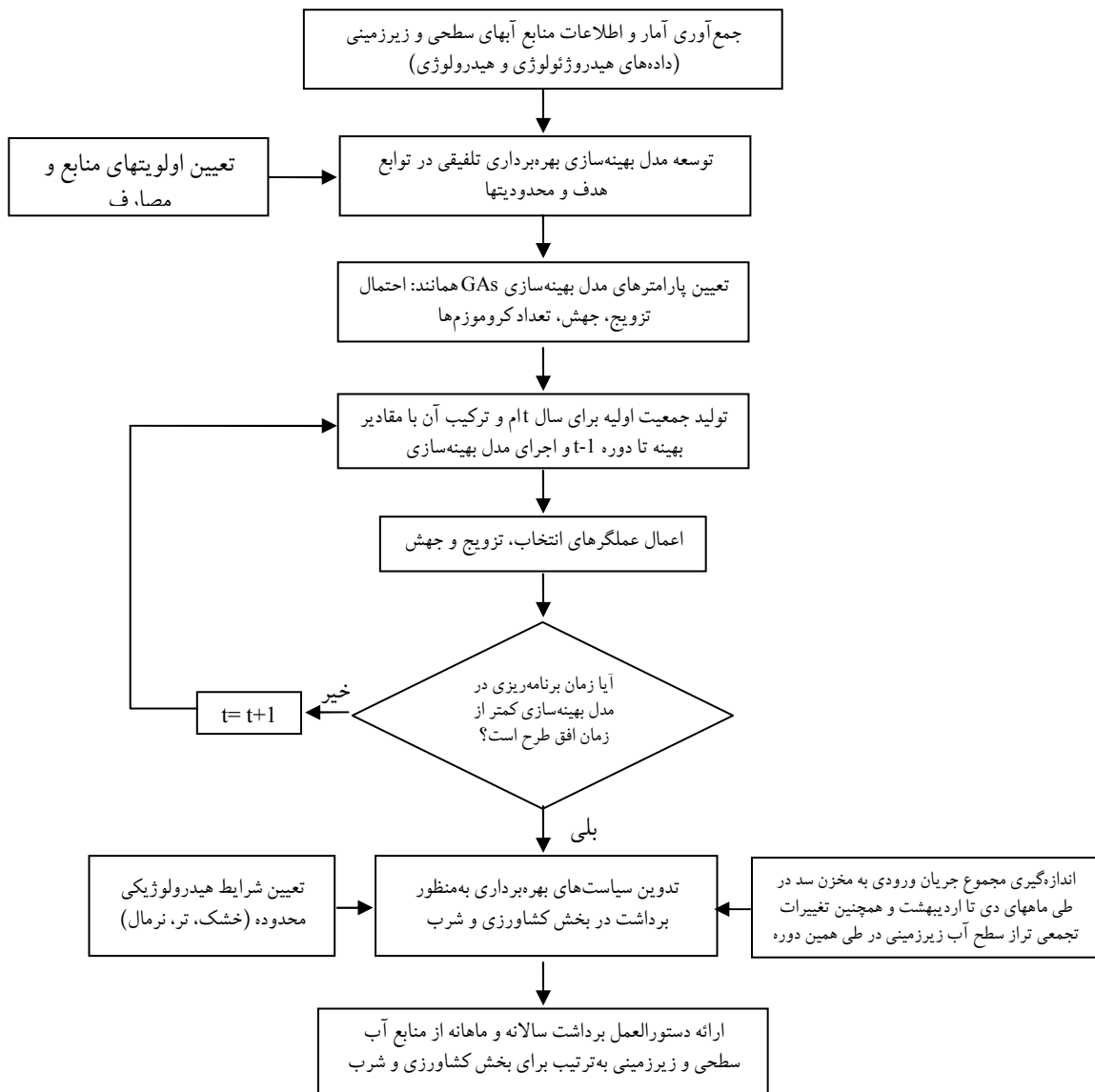
۴- کاربرد مدل

با توجه به اهمیت مطالعه مناطق بحرانی و دارای حساسیت خاص سیاسی، اجتماعی و منطقه‌ای، محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، شهرستان کرج انتخاب گردید. این محدوده به دلیل نزدیکی به مرکز کشور، تراکم جمعیتی زیادی را در سالهای اخیر متحمل شده است. این امر منجر به افزایش برداشت از ذخایر زیرزمینی و در نتیجه افت قابل توجه در آبخوان دشت تهران- کرج شده است.

در این مطالعه به منظور تعیین مقادیر بهینه تخصیص و تدوین سیاست‌های دراز مدت، محدوده مورد تحقیق به پنج منطقه شهری، یک منطقه روستایی و دو منطقه کشاورزی و صنعتی تقسیم‌بندی شد و نیازهای آبی در طول سه دوره کوتاه مدت (۱۳۹۰)، میان مدت (۱۴۰۰) و بلند مدت (۱۴۱۰) به صورت ثابت فرض شد. همچنین فرض شد که راندمان آبیاری از ۴۰ درصد در شرایط فعلی به ۶۰ درصد در افق طرح (۱۴۱۰) خواهد رسید. با توجه به اینکه اکثر مناطق مورد بررسی، شهرهای کوچک بوده و آبخوان دشت به تنهایی قابلیت تأمین نیازهای آبی آنها را دارد لذا از بین مناطق شهری تنها شهرهای کرج بزرگ و کمالشهر قادر به تأمین نیازهای آبی خود از هر دو منبع سطحی و زیرزمینی هستند.

به عبارت دیگر مقادیر تخصیص داده شده به مصارف مطابق روابط ۷ و ۱۰ بر اساس اولویت منابع و مصارف بوده و در صورت وجود آب، تنها به میزان نیاز آب تخصیص می‌یابد و متغیرهای تصمیم نیز در طی فرایند بهینه‌سازی خود را به این مقادیر نزدیک می‌نمایند که در صورت اختلاف مقادیر تخصیصی بر مبنای اولویت (ARS_{isz} و ARG_{isz}) و مقادیر متغیر تصمیم (RS_{tzs} و RG_{tzs})، تابع جریمه‌ای مطابق ترم دوم رابطه ۵ به مقدار تابع هدف اضافه می‌شود تا جواب مشخص شده توسط مدل مورد بازنگری قرار گیرد. ترم اول این رابطه در واقع محدودیت ظرفیت مخازن را کنترل می‌نماید که با استفاده از ضریب γ (که برابر با ۱۰۰۰ است) با ترم اول این رابطه هم بعد می‌گردد. ضرایب β, α که برابر با ۱۰ هستند، به منظور هم بعد نمودن مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که این ضرایب با سعی و خطا تعیین شده‌اند. همچنین محدودیت در نظر گرفته شده برای تخصیص بهینه به مصارف از منابع آب زیرزمینی به این صورت است که برداشت به گونه‌ای صورت گیرد که تغییرات ماهانه تراز سطح آب زیرزمینی از ۳ سانتی‌متر تجاوز نماید. با توجه به اینکه چاههای جذبی در نقاط شهری و آب برگشتی از اراضی کشاورزی، حجم قابل توجهی را وارد آبخوان می‌نمایند، به منظور تعیین میزان تغییرات حجم آب زیرزمینی، از میزان خالص برداشت از منبع آب زیرزمینی استفاده شد (رابطه ۹).

در این مطالعه با توجه به تعداد زیاد متغیرهای تصمیم و در نتیجه زمان بر بودن اجرای مدل بهینه‌سازی، از الگوریتم ژنتیک مرحله‌ای به منظور تعیین مقادیر بهینه تخصیص استفاده گردید. این الگوریتم نسخه مناسب تری از الگوریتم ژنتیک معمولی برای تسریع در دستیابی به جواب بهینه است. از آنجا که در اغلب مدل‌های مدیریتی تعداد متغیرهای تصمیم زیاد است و همچنین فرایند محاسبه تابع هدف از پیچیدگی بالایی برخوردار است، لذا باید از روشهای فراکاوشی به منظور تعیین مقادیر بهینه استفاده شود. استفاده از این الگوریتم برای حل مسائل چند دوره‌ای توسط کراچیان و کارآموز توصیه و توسعه داده شده است [۲۴]. در این مدل‌ها میزان تخصیص در هر ماه تابعی از ماههای قبل و بعد از آن است. به عبارت دیگر این الگوریتم‌ها به صورت دینامیکی عمل کرده و تخصیص در هر زمان را به طور مستقل از سایر زمان‌ها در نظر نمی‌گیرند. این نحوه برخورد منجر به اتخاذ سیاست‌های واقعی تری خواهد شد که در بسیاری از مسائل مدیریت منابع آب امروز مورد استفاده قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که این الگوریتم توسط



شکل ۱- ساختار مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی به منظور ارائه دستورالعمل بهره‌برداری بهینه

۵- ارائه نتایج

با توجه به مدل بهینه‌سازی تدوین شده و استفاده از الگوریتم ژنتیک مرحله‌ای، مقادیر بهینه تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی برای افقهای برنامه‌ریزی مورد نظر مشخص گردید. با توجه به این مقادیر بهینه، سیاست‌ها و دستورالعمل‌های بهره‌برداری برای هر بخش در هر افق تدوین شد. به منظور ارائه سیاست‌های بهره‌برداری در بخش کشاورزی به این صورت عمل شد که با توجه به آمار مصرف سالانه کشاورزی می‌توان دریافت که میزان آب تخصیص یافته در فصلهای کشت سال جاری، متأثر از میزان آورد رودخانه و تغییرات تجمعی تراز سطح آب زیرزمینی در طی یک دوره ۵ ماهه است. لذا میزان برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی به منظور تخصیص به بخش کشاورزی را می‌توان به صورت رابطه ۱۱ تعریف نمود

مؤلفه‌های برنامه‌ریزی منابع آب در نظر گرفته شده در این مطالعه عبارت بودند از: رودخانه کرج و چالوس، سد کرج و طالقان (مخزن سطحی)، چاههای برداشت (منبع زیرزمینی) و مناطق نیازها که شامل شهرها، روستاها، مناطق کشاورزی و صنعتی می‌شود (شکل ۲).

در این مطالعه با توجه به کمبود منابع آبی درون حوضه‌ای از منابع آبی برون حوضه‌ای مانند رودخانه چالوس نیز استفاده شد. همچنین از آنجا که برای تأمین نیاز آبی شرب، لازم است از خط انتقال طالقان نیز برای این امر استفاده گردد، میزان آب انتقالی توسط این خط در برنامه‌ریزی توسعه منابع آب مورد توجه قرار گرفت. به منظور شبیه‌سازی سیستم منابع آب سطحی محدوده، از داده‌های تاریخی ۳۰ سال گذشته که بیانگر دوره‌های خشک، تر و نرمال است، استفاده گردید.

$$Q = f \left(\sum_{m=Day}^{Ordi} I_m, \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m \right) \quad (11)$$

با توجه به ارتباط خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته ارائه شده در رابطه ۱۱، برای تدوین سیاست بهره‌برداری از رگرسیون خطی بین مقادیر بهینه تخصیص و سری تاریخی آورد رودخانه کرج و تغییرات تجمعی تراز سطح آب زیرزمینی استفاده شد (جدول ۳). مطابق این جدول، زمانی که میزان آورد رودخانه و تغییرات تجمعی تراز سطح آب زیرزمینی در طی دوره ۵ ماهه یعنی دی تا اردیبهشت زیاد باشد، دستورالعمل تدوین شده برداشت بیشتر از منابع آب سطحی را توصیه خواهد نمود که امری کاملاً منطقی و مطابق سیستم طبیعی رودخانه است. در صورتی که میزان تغییرات تجمعی تراز سطح آب زیرزمینی

آبخوان کم باشد و آورد رودخانه نیز در حد نیاز آبی نباشد، سیاست تدوین شده، استحصال از منابع آب زیرزمینی را توصیه می‌نماید. به‌منظور صحت‌سنجی سیاست‌های تدوین شده، از داده‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی تاریخی که قبلاً در مدل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار نگرفته بود، استفاده شد. نتایج صحت‌سنجی بیانگر مطلوب بودن دستورالعمل‌های بهره‌برداری تدوین شده برای افق کوتاه مدت مختلف برنامه‌ریزی است (شکل‌های ۳ و ۴). همچنین به‌منظور ارزیابی میزان خطای سیاست‌های تدوین شده از شاخصهای ارائه شده در جدول ۴ استفاده شد. مطابق این جدول، شاخصهای خطا در دوره صحت‌سنجی از مقادیر مطلوبی برخوردار بوده و این نشان‌دهنده کارایی بالای دستورالعمل‌های ارائه شده در بخش کشاورزی به‌منظور برداشت



شکل ۲- شماتیک محدوده مورد مطالعه با توجه به مؤلفه‌های برنامه‌ریزی منابع آب

جدول ۳- سیاست‌های بهره‌برداری به‌منظور تخصیص به بخش کشاورزی برای یک دوره ۲۵ ساله

سیاست بهره‌برداری		افق
منابع آب زیرزمینی	منابع آب سطحی	
$-0.67 \times \sum_{m=Day}^{Ordi} I_m + 547 \times \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m$	$0.96 \times \sum_{m=Day}^{Ordi} I_m - 260 \times \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m$	۱۳۹۰
$-0.6 \times \sum_{m=Day}^{Ordi} I_m + 599 \times \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m$	$0.94 \times \sum_{m=Day}^{Ordi} I_m - 348 \times \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m$	۱۴۰۰
$-0.67 \times \sum_{m=Day}^{Ordi} I_m + 764 \times \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m$	$0.92 \times \sum_{m=Day}^{Ordi} I_m - 487 \times \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m$	۱۴۱۰

استفاده از سیاست بهره‌برداری و مقادیر بهینه در افق ۱۳۹۰
 جدول ۴- مقایسه مقادیر شاخصهای خطای سیاست‌های بهره‌برداری در
 بخش کشاورزی در افق ۱۳۹۰

شاخص خطا	دوره آموزش	دوره صحت‌سنجی
RMSE	۱۹/۸	۲۰/۸۴
MAE	۶/۴	۱۶/۵
IOA	۰/۹۵	۰/۹۷
Efficiency	۰/۸۴	۱

مقادیر شاخصها از طریق روابط زیر محاسبه می‌گردد

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_{mi} - x_{ci})^2}{\sum_{i=1}^n (|x_{mi} - \bar{x}_m| + |x_{ci} - \bar{x}_m|)^2} \quad (12)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_{mi} - x_{ci}|}{n} \quad (13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{mi} - x_{ci})^2}{n}} \quad (14)$$

$$EFF = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ci} - \bar{x}_m)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{mi} - \bar{x}_m)^2}} \right)^2 \quad (15)$$

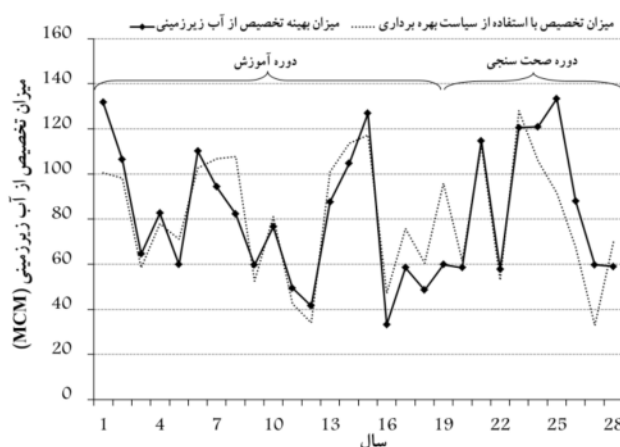
که در این روابط

x_{mi} مقدار اندازه‌گیری شده، x_{ci} مقدار پیش‌بینی شده و \bar{x}_m متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده است.

نتایج مدل بهینه‌سازی نشان می‌دهد که در مناطقی که تنها منبع تأمین آنها از آب زیرزمینی است، در بخش شرب به دلیل نیاز آبی کم، آبخوان دشت قادر به تأمین نیازهای آنها در طول دوره ۲۵ ساله خواهد بود.

اما در خصوص شهرهای کرج بزرگ و کمالشهر به دلیل استفاده همزمان از منابع آب، سیاست‌های برداشت برای هر دوره برنامه‌ریزی با توجه به شرایط هیدرولوژیکی منطقه متفاوت است (جدولهای ۶ و ۷). به‌منظور تعیین شرایط هیدرولوژیکی ماهانه لازم است در ماههای مهر تا اسفند از تراز سطح آب اندازه‌گیری شده سد کرج در ابتدای ماه مهر (با توجه به اینکه میزان آورد در این ماه تا حدود زیادی شرایط هیدرولوژیکی ۶ ماهه دوم سال را تعیین می‌نماید) و جدول ۸ که به‌عنوان نمونه نحوه تعیین شرایط هیدرولوژیکی را برای افق ۱۳۹۰ نشان می‌دهد، استفاده نمود. همچنین برای ماههای فروردین تا خرداد از تراز سطح آب قرائت شده ابتدای ماه اسفند و برای سایر ماههای تیر، مرداد و شهریور از تراز سطح آب اندازه‌گیری ابتدای همان ماه می‌توان استفاده نمود.

بهینه از منابع برای برنامه‌ریزی در یک افق ۲۵ ساله است. شاخصهای خطای به‌کار رفته شامل شاخص توافق بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی^۱، شاخص متوسط قدرمطلق خطاها^۲، شاخص مجذور میانگین مربعات خطاها^۳ و شاخص کارایی^۴ بود. مقایسه سیاست‌های ارائه شده برای بخش کشاورزی در افقهای میان مدت و بلند مدت نیز صورت گرفت که به دلیل دارا بودن وضعیت مشابه افق ۱۳۹۰، از ارائه آن در این بخش خودداری شد. با توجه به اینکه روابط ارائه شده برای دستورالعمل‌های بهره‌برداری دارای مقداری خطا هستند، لذا نمی‌توان به‌طور صریح مقدار تخصیص‌ها را با استفاده از این سیاست‌ها تعیین نمود. لذا بازه اطمینان ۸۰ درصد ضرایب روابط ارائه شده در جدول ۳ به‌صورت جدول ۵ بیان می‌گردد.



شکل ۳- مقایسه مقادیر تخصیص از آب زیرزمینی به بخش کشاورزی با استفاده از سیاست بهره‌برداری و مقادیر بهینه در افق ۱۳۹۰



شکل ۴- مقایسه مقادیر تخصیص از آب سطحی به بخش کشاورزی با

¹ Index of Agreement (IOA)

² Mean Absolute Error (MAE)

³ Root Mean Square Error (RMSE)

⁴ Efficiency

در این بخش، دستورالعمل‌های تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی شهر کرج بزرگ با توجه به شرایط هیدرولوژیکی دارای عدم دقت هستند که میزان عدم دقت^۱ درصدهای ماهانه برای

افتهای مختلف برنامه‌ریزی به صورت جدول ۹ است. با توجه به این جدول مشخص می‌شود که سیاست‌های تدوین شده برای بخش شرب از دقت قابل قبولی برای برنامه‌ریزی در افق درازمدت برخوردار هستند.

¹ Imprecise

جدول ۵- بازه اطمینان ۸۰ درصد ضرایب روابط جدول ۳

سیاست بهره‌برداری	منابع آب سطحی		منابع آب زیرزمینی	
	افق			
	۱۳۹۰	$[0.84, 1.1] \times \sum_{m=Day}^{Ordi} I_m - [198, 322] \times \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m$	$[-0.57, -0.77] \times \sum_{m=Day}^{Ordi} I_m + [496, 599] \times \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m$	
	۱۴۰۰	$[0.83, 1] \times \sum_{m=Day}^{Ordi} I_m - [273, 423] \times \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m$	$[-0.51, -0.69] \times \sum_{m=Day}^{Ordi} I_m + [540, 658] \times \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m$	
	۱۴۱۰	$[0.79, 1] \times \sum_{m=Day}^{Ordi} I_m - [381, 593] \times \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m$	$[-0.55, -0.8] \times \sum_{m=Day}^{Ordi} I_m + [655, 873] \times \sum_{m=Day}^{Ordi} \Delta h_m$	

جدول ۶- سیاست‌های تخصیص از منابع آب برای تأمین آب شرب شهر کرج در افق ۱۳۹۰ (درصد)

ماه	دوره تر		دوره نرمال		دوره خشک	
	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی
مهر	۹۹/۴۶	۰/۵۴	۷۲/۴۲	۲۷/۵۸	۶۷/۷۴	۳۲/۲۶
آبان	۳۵	۶۵	۳۴/۲۱	۶۵/۷۹	۳۴/۷۶	۶۵/۲۴
آذر	۳۸/۲۵	۶۱/۷۵	۲۹/۳۵	۷۰/۶۵	۲۹/۹۴	۷۰/۰۶
دی	۲۶/۳	۷۳/۷	۲۶/۷۳	۴۳/۲۷	۲۷/۸۵	۷۲/۱۵
بهمن	۳۱	۶۹	۳۱/۷۲	۶۸/۲۸	۳۱/۷۴	۶۸/۲۶
اسفند	۲۷/۲۳	۷۲/۷۷	۲۹/۸۳	۷۰/۱۷	۲۷	۷۳
فروردین	۹۹/۶۵	۰/۳۵	۹۹/۳۴	۰/۶۶	۹۹/۸۸	۰/۱۲
اردیبهشت	۹۹/۷۹	۰/۲۱	۹۹/۸۵	۰/۱۵	۹۹/۵۵	۰/۴۵
خرداد	۹۹/۸۳	۰/۱۷	۹۹/۷	۰/۳	۹۹/۷۳	۰/۲۷
تیر	۹۹/۷۹	۰/۲۱	۹۹/۶	۰/۴	۹۸/۷۱	۱/۲۹
مرداد	۹۹/۸۶	۰/۱۴	۹۹/۵۹	۰/۴۱	۳۸	۶۲
شهریور	۹۹/۹۲	۰/۰۸	۹۹/۹۲	۰/۰۸	۳۲/۲۶	۶۷/۷۴

جدول ۷- سیاست‌های تخصیص از منابع آب برای تأمین آب شرب شهر کمالشهر در افق ۱۳۹۰ (درصد)

ماه	دوره تر		دوره نرمال		دوره خشک	
	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی
مهر	۹۸/۱۵	۱/۸۴	۲/۳۶	۹۷/۶۳	۰/۸۴	۹۹/۱۶
آبان	۳	۹۷	۰/۵۴	۹۹/۴۶	۱	۹۹
آذر	۳/۱۱	۹۶/۸۸	۱/۵۶	۹۸/۴۳	۱/۵	۹۸/۵
دی	۱/۷۵	۹۸/۲۵	۰/۰۳	۹۹/۹۷	۰/۸۲	۹۹/۱۸
بهمن	۱/۳۶	۹۸/۶۴	۱/۴۵	۹۸/۵۵	۰/۴۹	۹۹/۵۱
اسفند	۱/۷۹	۹۸/۲۱	۰/۹۷	۹۹/۰۳	۱/۱۹	۹۸/۸
فروردین	۹۷/۸	۲/۲	۹۹/۰۸	۰/۹۲	۹۹/۵۷	۰/۴۳
اردیبهشت	۹۸/۰۵	۱/۹۵	۹۷/۹	۲/۱	۹۷/۸	۲/۲
خرداد	۹۸/۵۷	۱/۴۳	۹۷/۱۳	۲/۸۷	۹۸/۸	۱/۲
تیر	۹۸/۵۱	۱/۴۹	۹۸/۶	۴/۴	۹۸/۵۹	۱/۴۱
مرداد	۹۸/۵۶	۱/۴۳	۹۸/۹	۱/۱	۱/۱۷	۹۸/۸۳
شهریور	۹۹/۳	۰/۶۹	۹۹/۵۳	۰/۴۷	۲/۴	۹۷/۵۹

جدول ۸- نحوه تعیین شرایط هیدرولوژیکی با استفاده از اطلاعات تراز ماهانه سد کرج (افق ۱۳۹۰)

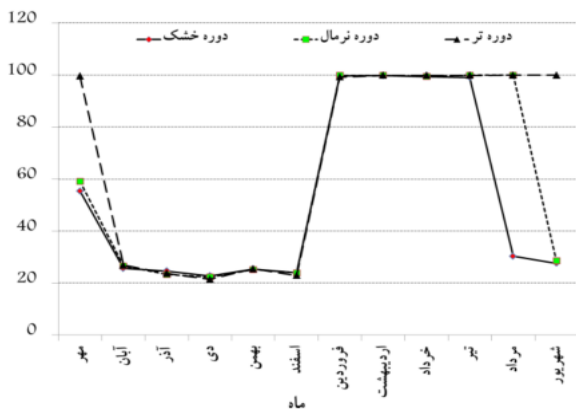
ماه	خشک	نرمال	تر
مهر	$۱۶۹۰/۴۵H \leq \leq ۱۶۹۰$	$۱۷۰۴/۸۹H \leq \leq ۱۶۹۰/۴۵$	$۱۷۳۶/۴H \leq \leq ۱۷۰۴/۸۹$
آبان	$۱۶۹۰/۲۶H \leq \leq ۱۶۹۰$	$۱۶۹۰/۵H \leq \leq ۱۶۹۰/۲۶$	$۱۷۱۰/۸۵H \leq \leq ۱۶۹۰/۵$
آذر	$۱۶۹۰/۲H \leq \leq ۱۶۹۰$	$۱۶۹۰/۵H \leq \leq ۱۶۹۰/۲$	$۱۶۹۵/۹H \leq \leq ۱۶۹۰/۵$
دی	$۱۶۹۰/۱H \leq \leq ۱۶۹۰$	$۱۶۹۰/۵H \leq \leq ۱۶۹۰/۱$	$۱۶۹۹/۹H \leq \leq ۱۶۹۰/۵$
بهمن	$۱۶۹۰/۱H \leq \leq ۱۶۹۰$	$۱۶۹۰/۴H \leq \leq ۱۶۹۰/۱$	$۱۶۹۵/۸H \leq \leq ۱۶۹۰/۴$
اسفند	$۱۶۹۰/۱H \leq \leq ۱۶۹۰$	$۱۶۹۰/۴H \leq \leq ۱۶۹۰/۱$	$۱۶۹۴/۸۸H \leq \leq ۱۶۹۰/۴$
فروردین	$۱۶۹۰/۱۲H \leq \leq ۱۶۹۰$	$۱۶۹۰/۴۳H \leq \leq ۱۶۹۰/۱۲$	$۱۷۱۶/۷H \leq \leq ۱۶۹۰/۴۲$
اردیبهشت	$۱۷۰۱/۴H \leq \leq ۱۶۹۰/۳$	$۱۷۱۴/۴H \leq \leq ۱۷۱۰/۴$	$۱۷۳۵/۲H \leq \leq ۱۷۱۴/۴$
خرداد	$۱۷۲۴/۱H \leq \leq ۱۶۹۰/۳$	$۱۷۴۶H \leq \leq ۱۷۲۴/۱$	$۱۷۶۳/۴H \leq \leq ۱۷۴۶$
تیر	$۱۷۳۰/۷H \leq \leq ۱۶۹۰/۴۲$	$۱۷۵۷/۳H \leq \leq ۱۷۳۰/۷$	$۱۷۶۳/۴H \leq \leq ۱۷۵۷/۳$
مرداد	$۱۷۰۳/۶H \leq \leq ۱۶۹۰/۲$	$۱۷۵۲/۴H \leq \leq ۱۷۰۳/۶$	$۱۷۶۳/۴H \leq \leq ۱۷۲۵/۴$
شهریور	$۱۷۰۱/۱H \leq \leq ۱۶۹۰/۱۷$	$۱۷۴۱/۱H \leq \leq ۱۷۰۱/۱$	$۱۷۵۵/۲H \leq \leq ۱۷۴۱/۱$

جدول ۹- میزان عدم دقت سیاست‌های تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی شهر کرج بزرگ

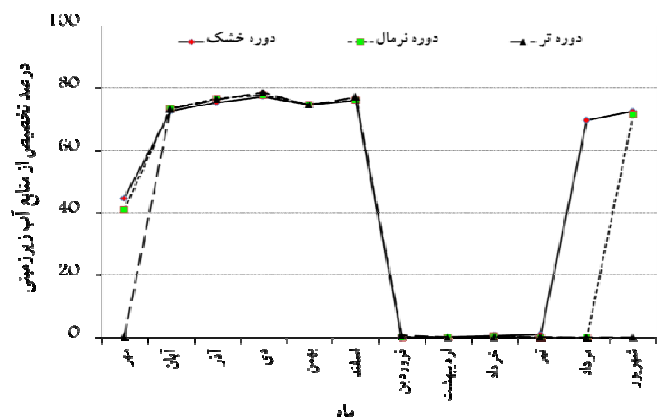
افق/ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
میزان	۱/۹۲	۱/۹۱	۱/۷۴	۱/۴	۲/۵	۱/۰۶	۰/۶۲	۰/۴۳	۰/۴۷	۱/۱۳	۰/۹۳	۰/۶۳
عدم دقت	۱/۹۵	۱/۹۵	۱/۶۷	۱/۷۷	۱/۹۶	۲/۵۲	۰/۴۶	۰/۳۸	۱/۱۴	۰/۷۲	۰/۹۸	۱/۶۸
(درصد)	۱/۵۷	۱/۵۳	۲/۰۸	۱/۳۹	۱/۶۴	۲/۴۶	۱/۱۸	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۳۱	۰/۸۴	۱/۶۸

است و چنانچه در این فصلها، برداشتی بیش از ظرفیت آبخوان انجام شود منجر به افزایش تصاعدی افت آبخوان در سایر فصلها خواهد شد. با توجه به منتفع شدن شهر کمالشهر از هر دو منبع برای تأمین نیازها، سیاست‌های برداشت برای سه افق برنامه‌ریزی برای این شهر همانند شهر کرج تدوین شد که به‌عنوان نمونه تنها دستورالعمل‌های بهره‌برداری مرتبط با افق ۱۴۱۰ در جدول ۱۰ ارائه شده است. همچنین میزان عدم دقت سیاست‌های ارائه شده برای این شهر نیز در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

با توجه به شکل‌های ۵ و ۶ می‌توان دریافت که دستورالعمل تدوین شده به‌خوبی می‌تواند با توجه به شرایط هیدرولوژیکی منطقه، مناسب‌ترین تصمیم را برای برداشت از منابع سطحی و زیرزمینی اتخاذ نماید. به‌طور کلی دستورالعمل‌های تدوین شده به‌گونه‌ای است که برداشت از منابع آب سطحی بیشتر در فصلهای گرم به دلیل پرآب بودن رودخانه و برداشت از منابع آب زیرزمینی در فصلهای سرد صورت گیرد زیرا تغذیه اصلی آبخوان دشت در ۶ ماهه اول سال



شکل ۶- درصد تخصیص از منابع آب سطحی به‌منظور مصارف شرب شهر کرج بزرگ با توجه به شرایط هیدرولوژیکی در افق ۱۴۰۰



شکل ۵- درصد تخصیص از منابع آب زیرزمینی به‌منظور مصارف شرب شهر کرج بزرگ با توجه به شرایط هیدرولوژیکی در افق ۱۴۰۰

جدول ۱۰- سیاست‌های تخصیص از منابع آب برای تأمین آب شرب شهر کمالشهر در افق ۱۴۱۰ (درصد)

ماه	دوره تر		دوره نرمال		دوره خشک	
	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی	سطحی	زیرزمینی
مهر	۹۷/۸	۲/۲	۱/۹	۹۸/۱	۰	۱۰۰
آبان	۲/۱	۹۷/۹	۰/۱	۹۹/۶	۱	۹۹
آذر	۱	۹۹	۰/۱	۹۹/۹	۰/۸	۹۹/۲
دی	۱/۸	۹۸/۲	۰/۴	۹۹/۶	۰	۱۰۰
بهمن	۱/۷	۹۸/۳	۰/۱	۹۹/۹	۰/۱	۹۹/۹
اسفند	۰/۹	۹۹/۱	۰/۴	۹۹/۶	۰	۱۰۰
فروردین	۹۹/۸۸	۰/۱۲	۹۸/۵	۱/۵	۹۹/۷	۰/۳
اردیبهشت	۹۹/۸۸	۰/۱۲	۹۹/۱۳	۰/۸۷	۹۸/۷	۱/۳
خرداد	۹۹/۷۵	۰/۲۵	۹۸/۷	۱/۳	۹۹/۲	۰/۸
تیر	۹۹/۸۶	۰/۱۴	۹۹/۸۳	۰/۱۷	۹۹/۷۴	۰/۲۶
مرداد	۹۹/۷۶	۰/۲۴	۹۸/۱۷	۱/۸۳	۰/۰۵	۹۹/۹۵
شهریور	۹۸/۳	۱/۷	۹۹/۵	۰/۵	۰/۲۲	۹۹/۷۸

جدول ۱۱- میزان عدم دقت سیاست‌های تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی شهر کمالشهر

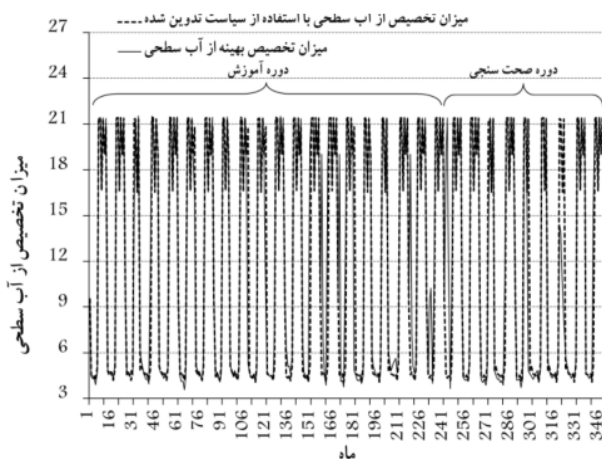
افق/ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
میزان عدم دقت (درصد)	۱۳۹۰	۱۴۰۰	۱۴۱۰	۱/۳۴	۱/۸۹	۲/۳۳	۱/۶۲	۳/۳۶	۲/۷۹	۲/۲۳	۲/۰۹	۱/۷۶

جدول ۱۲- مقایسه مقادیر شاخصهای خطای سیاست‌های بهره‌برداری

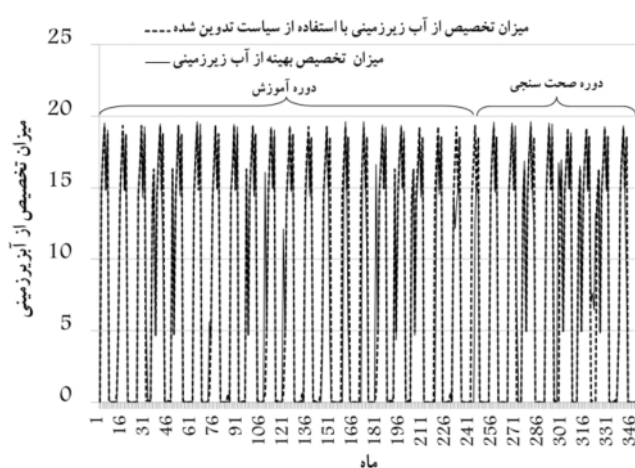
به منظور تخصیص به بخش شرب

شاخص خطا	دوره آموزش			دوره صحت‌سنجی		
	۱۳۹۰	۱۴۰۰	۱۴۱۰	۱۳۹۰	۱۴۰۰	۱۴۱۰
RMSE	۱/۸	۳/۳	۳/۲	۲/۴	۳/۲۷	۳/۶
MAE	۰/۳	۱	۰/۴۴	۰/۲۶	۰/۷	۰/۲۷
IOA	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۵
Efficiency	۱/۰۶	۱/۰۹	۱/۰۶	۱/۰۸	۱/۱	۱/۰۷

به منظور تعیین میزان خطای سیاست‌ها در بخش شرب، از شاخصهای خطای ارائه شده در بخش کشاورزی استفاده و مقادیر خطای ناشی از دستورالعمل‌های بهره‌برداری با مقادیر حاصل از مدل بهینه برای افقهای مختلف محاسبه گردید (جدول ۱۲). شکل‌های ۷ و ۸ نیز نتایج حاصل از سیاست‌های تدوین شده را با مقادیر بهینه تخصیص در افق ۱۴۰۰ نشان می‌دهند.



شکل ۸- مقایسه میزان تخصیص از آب سطحی با استفاده از مقادیر بهینه و نتایج سیاست تدوین شده در افق ۱۴۰۰ (کرج بزرگ)



شکل ۷- مقایسه میزان تخصیص از آب زیرزمینی با استفاده از مقادیر بهینه و نتایج سیاست تدوین شده در افق ۱۴۰۰ (کرج بزرگ)

۶- نتیجه‌گیری

دستاوردهای حاصل از این تحقیق شامل موارد زیر است:

- ۱- تعیین مقادیر بهینه تخصیص از هر منبع برای مناطق مورد بررسی با توجه به اولویتهای در نظر گرفته شده و برای سه افق برنامه‌ریزی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت؛
- ۲- تهیه دستورالعمل بهره‌برداری از منابع برای هر بخش در سه افق مشخص شده با توجه به تغییرات تجمعی تراز سطح آب زیرزمینی، میزان آورد رودخانه و شرایط هیدرولوژیکی منطقه؛
- ۳- صحت‌سنجی سیاست‌های تدوین شده؛
- ۴- تعیین میزان عدم دقت دستوالعمل‌های ارائه شده به‌منظور تصمیم‌گیری صحیح در بهره‌برداری.

۷- مراجع

- 1- Buras, N. (1963). "Conjunctive operation of dams and aquifers." *J. of the Hydraulics Division*, 89(6), 111-132.
- 2- Maknoon, R., and Burges, S.J. (1978). "Conjunctive use of ground and surface water." *J. of American Water Works Association*, 70, 419-424.
- 3- Azaiez, M.N. (2002). "A model for conjunctive use of ground and surface water with opportunity costs." *European J. of Operational Research*, 143, 611-624.
- 4- Karamouz, M., Kerachian, R., and Zahraie, B. (2004). "Monthly water resources and irrigation planning: case study of conjunctive use of surface and groundwater resources." *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, 130(5), 391-402.
- 5- Pulido-Velázquez, M., Andreu, J., and Sahuquillo, A. (2006). "Economic optimization of conjunctive use of surface water and groundwater at the basin scale." *J. of Water Resources Planning and Management*, 132(6), 454-467.
- 6- Dale Larry, L., Vicuna, S., and Dracup, J.A. (2008). "The conjunctive use of reservoirs and aquifers: Tradeoffs in electricity generation and water supply." *Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress*, Honolulu, Hawaii.
- 7- Afshar, A., Zahraei, A., and Mariño, M.A. (2010). "Large-scale nonlinear conjunctive use optimization problem: decomposition algorithm." *J. of Water Resources Planning and Management*, 136(1), 59-71.
- 8- Safavi, H.R., and Alijanian, M.A. (2010). "Optimal crop planning and conjunctive use of surface water and groundwater resources using fuzzy dynamic programming." *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(6), 383-397.
- 9- Coe Jack, J. (1990). "Conjunctive use-advantages, constraints, and examples." *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, 116(3), 427-443.
- 10- Latif, M. (1991). "Conjunctive water use to control waterlogging and salinization." *J. of Water Resources Planning and Management*, 117(6), 611-628.
- 11- Onta, P.R., Gupta, A.D., and Harboe, R. (1991). "Multistep planning model for conjunctive use of surface- and groundwater resources." *J. of Water Resources Planning and Management*, 117(6), 662-678.
- 12- Barlow, P.M., Ahlfeld, D.P., and Dickerman, D.C. (2003). "Conjunctive-management models for sustained yield of stream-aquifer systems." *J. of Water Resources Planning and Management*, 129(1), 35-48.
- 13- Vedula, S., Mujumdar, P.P., and Chandra Sekhar, G. (2005). "Conjunctive use modeling for multicrop irrigation." *J. of Agricultural Water Management*, 73, 193-221.
- 14- Karamouz, M., Mohammad Rezapour Tabari, M., and Kerachian, R. (2007). "Application of genetic algorithms and artificial neural networks in conjunctive use of surface and groundwater resources." *J. of Water International*, 32(1), 163-176.

- 15- Karamouz, M., Mohammad Rezapour Tabari, M., Kerachian, R., and Zahraie, B. (2005). "Conjunctive use of surface and groundwater resources with emphasis on water quality." *World Water and Environmental Resources Congress*, Raymond Walton, Anchorage, Alaska, USA.
- 16- Karamouz, M. (2002). *Conjunctive use of surface and groundwater resources in south of Tehran*, Water and Environmental Center, Tehran. (In Persian)
- 17- Mohammad Rezapour Tabari, M., Maknoon, R., and Ebadi, E. (2009), "Multi-objective optimal model for conjunctive use management using SGAs and NSGA-II models." *J. of Water and Wastewater*, 69, 2-12. (In Persian)
- 18- Mohammad Rezapour Tabari, M., Maknoon, R., and Ebadi, E. (2010). "Conjunctive use management under uncertainty in aquifer parameters." *J. of Water and Wastewater*, 72, 2-15. (In Persian)
- 19- Mohammad Rezapour Tabari, M. (2003). "Optimal groundwater operation algorithm." M.Sc. Thesis, Amir Kabir University of Tech., Tehran. (In Persian)
- 20- Mahjouri, N. (2004). "Quality and quantity groundwater equilibrium model in Kashan plan." M.Sc. Thesis, Tehran University, Tehran. (In Persian)
- 21- Eslami, A. (2005). "Optimal crop pattern and agriculture water allocation conjunctive use model." M.Sc. Thesis, Tehran University, Tehran. (In Persian)
- 22- Ostadrahimi, I., 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)
- 23- Safavi, H., Afshar, A., Ghaheri, A., Abrishamchi, A., and Tajrishi, M. (2007). "A quality-quantity simulation model for stream-aquifer interaction." *J. of Water and Wastewater*, 61, 2-14. (In Persian)
- 24- Kerachian, R., and Karamouz, M. (2006). "Optimal reservoir operation considering the water quality issues: A stochastic conflict resolution approach." *J. of Water Resources Research*, 42, 1-17.
- 25- Zahraie, B., Kerachian, R., and Malekmohammadi, B. (2008). "Reservoir operation optimization using adaptive varying chromosome length genetic algorithm." *J. of Water International*, 33(3), 1-12.