

# مدل حل اختلاف مدیریت کیفی و تخصیص آب از رودخانه کرخه

محمد کارآموز<sup>۱</sup>

علی مریدی<sup>۱</sup>

(پذیرش ۸۵/۱۰/۲۳)

(دریافت ۸۵/۳/۵)

## چکیده

در این پژوهش، یک مدل حل اختلاف به منظور مدیریت کیفی رودخانه و تعیین بار آلودگی مجاز آلاینده‌های ورودی به رودخانه با هدف افزایش اطمینان‌پذیری سیستم در تأمین نیاز مصرف‌کنندگان با کیفیت مطلوب، تدوین شده است. در این روش تابع حل اختلاف نش به عنوان تابع هدف مدل انتخاب شده که در آن اهداف و مطلوبیت‌های تأثیرپذیران و تصمیم‌گیران سیستم در قالب توابع مطلوبیت آنها در نظر گرفته شده است و می‌تواند مبنایی برای حل اختلاف بین شرکت‌کنندگان مختلف باشد. به منظور تعیین تغییرات مکانی و زمانی غلظت کل جامدات محلول که به عنوان متغیر کیفی شاخص در این پژوهش در نظر گرفته شده، از یک مدل شبیه‌سازی کیفی رودخانه استفاده شده است. به منظور تعیین سهم بهینه برداشت آب و تخلیه فاضلاب و زه‌آب شهرها، صنایع و زمینهای کشاورزی اطراف رودخانه، مدل شبیه‌سازی کیفی رودخانه با مدل بهینه‌سازی با تابع هدف حل اختلاف نش تلفیق شده است. کارایی این مدل با استفاده از اطلاعات کمی و کیفی موجود در سیستم رودخانه‌ای کرخه واقع در جنوب غرب ایران از محل سد کرخه تا هورالعظیم ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهند که این مدل با بهینه‌سازی میزان بار آلودگی ورودی به رودخانه می‌تواند به طور کاملاً مؤثر مطلوبیت‌های شرکت‌کنندگان را برآورده ساخته و به طور قابل توجهی تعداد و زمان تخلفات از حدود استانداردهای کیفی را در طول رودخانه کاهش داده و اطمینان‌پذیری تأمین نیاز با کیفیت مطلوب را افزایش دهد.

**واژه‌های کلیدی:** مدیریت کیفی رودخانه، حل اختلاف، مدل نش، شبیه‌سازی کیفی، الگوریتم ژنتیک.

## A Conflict Resolution Model for Water Allocation and River Water Quality Management

Ali Moridi<sup>1</sup>

Mohammad Karamouz<sup>2</sup>

(Received May 26, 2006 Accepted Jan. 13, 2007)

### Abstract

In this study, a conflict resolution methodology for water quality management in a river system is presented. The proposed model maximizes an objective function based on the Nash product which includes different utility functions related to the water quality deviations from the standard limits. Simulation and optimization models are proposed to determine operating policies for river water quality management, based on evaluation of system performance to derive the most appropriate diffusing strategy for different stakeholders. The proposed model includes an integrated GA-based optimization and a water quality simulation model. Sustainability measures of system performance, termed "reliability, resiliency, and vulnerability", are calculated for each water withdrawal sector and combined into a Nash product as an objective function. The model is applied to the Karkheh River system in the southern part of Iran. The utility functions are based on the acceptable risk of the allocated water quality by different sectors, especially by the Environmental Protection Organization. The results of the proposed model show that the waste load allocation policies can significantly reduce the number and duration of deviations from the standard quality limits.

**Keywords:** River Water Quality Management, Conflict Resolution, Nash Theory, Qualitative Simulation, Genetic Algorithm.

1- PhD Candidate, Civil and Environmental Engineering Dept.  
Amir Kabir University of Technology, moridi@cic.aut.ac.ir  
2- Professor, School of Civil Engineering, University of Tehran

۱- کاندید دریافت درجه دکتری مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، moridi@cic.aut.ac.ir  
۲- استاد دانشکده عمران، دانشگاه تهران

حداکثر تخطی<sup>۱</sup>، حداقل سازی مجموع تخطی‌ها و غیره را بررسی کردند که نتایج نشان دهنده برتری نسبی مدل حداقل سازی تخطی کل بوده است [۶].

تاکی<sup>۲</sup> و لنس در سال ۱۹۹۵ از زنجیره مارکوف برای تهیه سیاست‌های مدیریت کیفی فصلی رودخانه استفاده کردند. مدل استفاده شده توسط آنها همان مدل پیشنهاد شده توسط لنس در سال ۱۹۹۰ است که در آن به طور صریح روابط احتمالاتی بین اطلاعات جریان حداقل میان ایستگاههای مجاور در نظر گرفته شده است. در این روش ابتدا ماتریس‌های احتمال انتقال برای جریان حداقل در ایستگاههای مجاور بسط داده شده و برای تعیین احتمال رخداد حالات بحرانی کیفی در رودخانه به کار گرفته می‌شوند و در هر فصل یک درصد تصفیه یکنواخت برای کلیه حالات ممکن محاسبه می‌گردد. این مدل نیز درصدهای تصفیه یکنواخت برای تمام منابع آلاینده در یک فصل را در نظر می‌گیرد، که مانند مدل تهیه شده توسط لنس و همکاران در سال ۱۹۹۰ در برخی موارد سیاست‌های مدیریت کیفی را غیر اقتصادی می‌سازد [۷].

ساسی کومار<sup>۳</sup> و موجومدار<sup>۴</sup> در سال ۱۹۹۸ یک مدل چند هدفه فازی را برای مدیریت کیفی سیستم‌های رودخانه‌ای پیشنهاد کردند. در مدل پیشنهادی آنها اهداف کیفی سازمانهای مسئول حفاظت کیفی رودخانه و تخلیه‌کنندگان آلاینده‌های مختلف به رودخانه، به صورت فازی در نظر گرفته شده ولی کلیه پارامترهای دیگر نظیر جریان ورودی به رودخانه، میزان و غلظت آلاینده‌های ورودی برای بحرانی‌ترین حالات سیستم در نظر گرفته شده و کارایی این روش با ارائه یک مثال عددی بررسی شده است [۸].

برن و یولیانتی<sup>۵</sup> در سال ۲۰۰۱ برای اولین بار کاربرد روش الگوریتم ژنتیک را در برنامه‌ریزی کیفی سیستم‌های رودخانه‌ای بررسی کردند. آنها سیاست‌های مدیریت کیفی رودخانه را با توجه به اهدافی چون حداقل سازی هزینه‌های تصفیه، حداقل سازی مجموع تخلفات از استانداردهای کیفی آب رودخانه و یکسان سازی میزان تصفیه بار آلودگی منابع آلاینده تدوین کردند. مدل پیشنهادی آنها قطعی و غیر فصلی بوده و نتایج آن نشان‌دهنده کارایی مناسب روش الگوریتم ژنتیک در برنامه‌ریزی کیفی سیستم‌های رودخانه‌ای می‌باشد [۹].

در تکمیل مطالعات فوق، کراچیان و کارآموز در سال ۲۰۰۵ از یک مدل چند هدفه برای تعیین سری زمانی درصد تصفیه ماهانه آلاینده‌های سیستم بهره جستند. در مدل پیشنهادی آنها عدم تخطی

بر پایه مطالعات انجام شده توسط وایت<sup>۱</sup> بیشتر اختلافات در زمینه محیط زیست خصوصاً آن دسته که مربوط به مسائل آب می‌باشند، نشأت گرفته از سه خاستگاه است. خاستگاه اول بر اساس مداخله انسان در محیط زیست می‌باشد که باعث به وجود آمدن تغییراتی در طبیعت و سیستم‌های اجتماعی می‌گردد. خاستگاه دوم بر اساس عدم توافق در مدیریت تأمین آب در یک مکان است که این قضیه بر استفاده‌کنندگان در نقاط دیگر تأثیر می‌گذارد. خاستگاه سوم جایی است که قابلیت تغییر اقلیم و سایر تغییرات، مستقیماً به فعالیتهای انسانی وابسته نیستند. از اینرو از دیرباز مدیریت کیفی رودخانه‌ها عرصه اختلاف نظر بین تصمیم‌گیرندگان سیستم بوده است [۱].

اولین تحقیقات در این زمینه به دهه ۶۰ میلادی مربوط می‌گردد. لایب‌من<sup>۲</sup> و لین<sup>۳</sup> در سال ۱۹۶۶ از روش برنامه‌ریزی پویای قطعی و رول<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۱۹۶۸ از روش برنامه‌ریزی خطی برای مدیریت کیفی سیستم‌های رودخانه‌ای استفاده کردند. در مطالعات فوق راهکارهایی برای مدیریت کیفی رودخانه‌ها با نگرشی قطعی ارائه شده است [۲ و ۳].

راسمن<sup>۵</sup> در سال ۱۹۸۹ و لنس<sup>۶</sup> و همکاران در سال ۱۹۹۰ یک مدل فصلی برای مدیریت کیفی رودخانه پیشنهاد نمودند. این مدل درصدهای تصفیه یکنواخت (یک مقدار برای تمام نقاط آلاینده) در هر فصل را به صورتی تعیین می‌کند که هزینه سالانه تصفیه آلاینده‌های ورودی حداقل شده و احتمال تخطی از استانداردهای کیفیت آب محدود گردد. نقطه قوت مدل پیشنهادی آنها، در نظر گرفتن سری زمانی مشخصات کمی و کیفی رودخانه و نقطه ضعف عمده آن، ارائه تنها یک درصد تصفیه برای کلیه منابع آلاینده رودخانه در یک ماه و در نظر نگرفتن شرایط کیفی اولیه می‌باشد [۴ و ۵].

برن<sup>۷</sup> و لنس در سال ۱۹۹۲ برای بررسی کارایی مدل‌های مختلف مدیریت کیفی سیستم‌های رودخانه‌ای، سناریوهایی که شرایط مختلف هیدرولوژیکی، اقلیمی و میزان آلاینده ورودی را پوشش دهند، در نظر گرفته که در آن احتمال رخداد سناریوها یکسان فرض شده است. آنها با یک برخورد قطعی، کارایی مدل‌های غیرفصلی مدیریت کیفی با اهدافی چون حداقل سازی

<sup>1</sup> White

<sup>2</sup> Liebman

<sup>3</sup> Lynn

<sup>4</sup> Revelle

<sup>5</sup> Rossman

<sup>6</sup> Lence

<sup>7</sup> Burn

<sup>8</sup> Minimize Maximum Violation

<sup>9</sup> Takyi

<sup>10</sup> Sasikumar

<sup>11</sup> Mujumdar

<sup>12</sup> Yulianti

از استانداردهای زیست محیطی، قید اصلی مسئله بود که درصد تصفیه بهینه بر اساس آن و با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک مرحله‌ای تعیین می‌شد [۱۰].

تمرکز در این پژوهش، بر دو منبع اول ذکر شده در ابتدای مقدمه یعنی مداخله انسان در محیط زیست و عدم توافق در بهره‌برداری کمی و کیفی از منابع آب می‌باشد که با رویکردی بر اساس حل اختلاف بین بهره‌برداران از رودخانه به حل مسئله می‌پردازد. تابع هدف مدل پیشنهادی در این پژوهش بر مبنای تئوری حل اختلاف نش<sup>۱</sup> می‌باشد که با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرحله‌ای بهینه‌سازی می‌گردد.

## ۲- ارزیابی پایداری سیاست‌های بهره‌برداری

هاشیموتو<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۱۹۸۲ از سه دیدگاه، کارآیی سیاست‌های بهره‌برداری را بررسی کردند [۱۱]:

- الف- در یک بازه زمانی مشخص چند بار سیستم با شکست مواجه می‌شود؟ (اطمینان پذیری<sup>۳</sup>)
- ب- احتمال برگشت سیستم به حالت مطلوب پس از یک شکست چقدر است؟ (برگشت پذیری، تعمیرپذیری<sup>۴</sup>)
- ج- شدت شکست‌های مشاهده شده چقدر است؟ (آسیب پذیری<sup>۵</sup>)

به طور معمول فرکانس، مدت و اندازه تخطی از استانداردهای کیفیت آب به عنوان شاخصهای ریسک آلودگی مطرح هستند که در قالب سه شاخص آماری اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری اندازه‌گیری می‌شوند. اگر این شاخصها در طول زمان بهبود یابند (یعنی اطمینان‌پذیری و برگشت‌پذیری افزایش و آسیب‌پذیری کاهش یابد) پایداری سیستم مورد مطالعه، افزایش می‌یابد.

معیارهای فوق کاربرد گسترده‌ای در ارزیابی کارآیی سیاست‌های تدوین شده برای مدیریت کمی و کیفی سیستم‌های منابع آب داشته‌اند. در مدیریت کیفی سیستم‌های رودخانه‌ای، قابلیت اطمینان را می‌توان به صورت احتمال عدم تخطی از استانداردهای کیفی در نقاط کنترل مختلف تعریف نمود. همچنین طول دوره‌های تخطی کیفیت آب از استانداردها که در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی اهمیت ویژه‌ای دارد نیز می‌تواند بر اساس معیار برگشت‌پذیری مورد توجه قرار گیرد. در مدیریت کمی و کیفی سیستم‌های منابع آب، شاخص آسیب‌پذیری معمولاً به شدت

تخطی از استانداردهای پیشنهادی برای کیفیت آب رودخانه در نقاط کنترل مختلف گفته می‌شود که در ادامه نحوه در نظر گرفتن آنها در تابع هدف مدل پیشنهادی ذکر شده است.

## ۳- معرفی مدل حل اختلاف

تئوری حل اختلاف نش یکی از معمول‌ترین روشهایی می‌باشد که برای حل اختلاف به کار برده می‌شود و شامل شرکت‌کننده‌ها، نقاط عدم توافق و ریسکی که هر یک از شرکت‌کننده‌ها در فرآیند تصمیم‌گیری می‌پذیرند، می‌باشد. شکل کلی تئوری نش در زیر ارائه شده است [۱۲]:

فرض کنید که  $n$  تصمیم‌گیرنده وجود دارند و  $X$  فضای تصمیم‌گیری و  $f_i$  تابع هدف یا تابع مطلوبیت تصمیم‌گیرنده  $i$  ام باشد. فضای هدف به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$H = \{u_i = f_i(x), \quad x \in X\} \quad (1)$$

همچنین فرض می‌شود که کلیه تصمیم‌گیرندگان در بیان تابع مطلوبیت خود، یک حداقل مطلوبیت را تعیین می‌کنند که مقادیر کمتر از آن برای تصمیم‌گیرنده به هیچ وجه قابل قبول نمی‌باشد. این مقدار از تابع هدف، نقطه عدم توافق نامیده می‌شود. اگر  $d_i$  نقطه عدم توافق برای تصمیم‌گیرنده  $i$  ام باشد،  $\underline{d} = (d_1, d_2, \dots, d_n)$  بردار عدم توافق تصمیم‌گیرندگان نامیده می‌شود.

نش ثابت می‌کند که اگر  $H$  محدب، بسته و محدود باشد در این صورت تنها یک جواب  $(\varphi(H, \underline{d}))$  برای مسئله حل اختلاف وجود خواهد داشت که از حل مسئله بهینه‌سازی زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } (f_1 - d_1)^{c_1} (f_2 - d_2)^{c_2} \dots (f_n - d_n)^{c_n} \\ & \text{به شرط آنکه } f_i \geq d_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \\ & (f_1, \dots, f_n) \in H \end{aligned} \quad (2)$$

در رابطه فوق توانهای  $c_1, c_2, \dots, c_n$  نشان دهنده وزن نسبی مصرف‌کنندگان و قدرت نسبی تصمیم‌گیرنده‌ها می‌باشند. این مسئله به مسئله چانه‌زنی غیر متقارن نش معروف است که در این پژوهش به عنوان تابع هدف مدل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

متغیر اصلی در تابع هدف نش مقدار مطلوبیت مصرف‌کنندگان و ذی‌نفعان سیستم می‌باشد که در این مقاله مطلوبیت مصرف‌کنندگان، کمیت و کیفیت آب اختصاص یافته به آنها می‌باشد. به عبارت دیگر تابع مطلوبیت برای هر مصرف‌کننده تابعی است که دامنه آن کمیت یا کیفیت آب اختصاص یافته به آن و برد آن میزان رضایت مصرف‌کننده را نشان می‌دهد که بازه آن بین صفر و یک می‌باشد. در این بازه عدد صفر، نشان‌دهنده عدم رضایت کامل و عدد یک نشان‌دهنده رضایت کامل است.

<sup>1</sup> Nash

<sup>2</sup> Hashimoto

<sup>3</sup> Reliability

<sup>4</sup> Resiliency

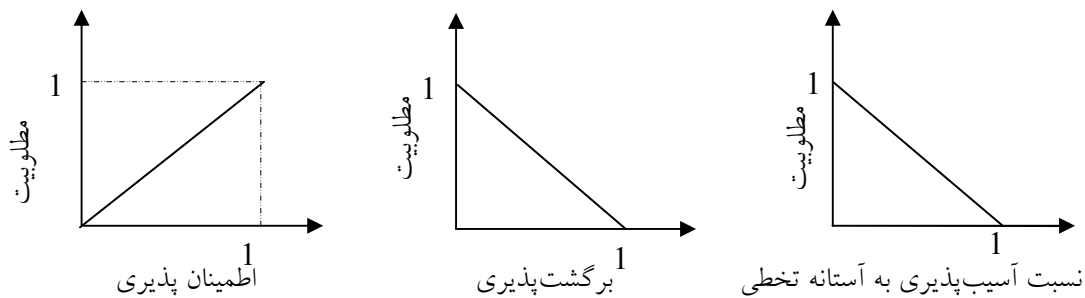
<sup>5</sup> Vulnerability

گرفته شده هر چه فاصله تخطی صورت پذیرفته تا آستانه تعیین شده برای هر بخش بیشتر گردد، مطلوبیت آسیب پذیری کاهش می یابد و در صورتی که این مقدار تخطی برابر آستانه تعیین شده باشد، مطلوبیت صفر خواهد بود. آستانه در نظر گرفته شده برای کمیت اختصاص یافته به بخشهای مختلف برابر نیاز آن بخش در هر ماه می باشد و آستانه در نظر گرفته شده برای کیفیت آب اختصاص یافته به هر بخش برابر با مقدار استاندارد کیفیت آب در آن بخش می باشد.

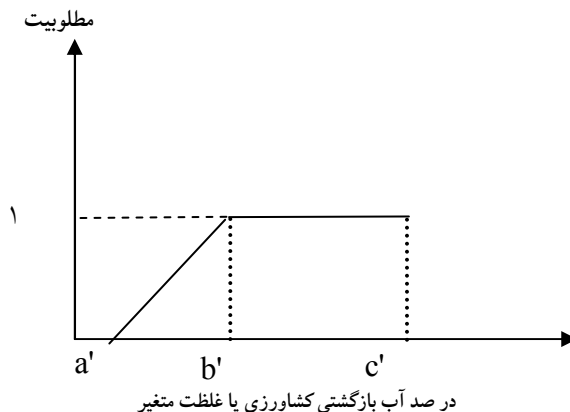
در شکل ۲ تابع مطلوبیت در نظر گرفته شده برای کیفیت فاضلاب ورودی بخش شهری و صنعت به رودخانه و همچنین کمیت پساب بخش کشاورزی ارائه شده است. همان طور که در این شکل نشان داده شده است، بازه ( $\infty$  و  $b'$ ) مطلوبیت صفر در صد مربوط به کیفیت (کل جامدات محلول<sup>۱</sup>) آب بازگشتی هر بخش را نشان می دهد.  $a'$  حداقل کل جامدات محلول است که هر بخش با تصفیه فاضلاب خروجی می تواند به آن حد برسد. مقادیر مختلف  $a'$ ،  $b'$  و  $c'$  در جدول ۱ ارائه شده اند.

در شکل ۱ فرم تابع مطلوبیت در نظر گرفته شده برای اطمینان پذیری، برگشت پذیری و شدت تأمین نیاز و همچنین کیفیت آب اختصاص یافته به هر مصرف کننده نمایش داده شده است. در تابع مطلوبیت نمایش داده شده برای اطمینان پذیری تأمین کمی و کیفی نیاز، هر چه تعداد دفعات تأمین نیاز با کمیت و کیفیت مطلوب هر بخش بیشتر باشد، مطلوبیت آن بخش بیشتر خواهد بود و مطلوبیت صفر در صد زمانی اتفاق می افتد که در تمامی مواقع، تأمین نیاز با کمیت و کیفیت مناسب صورت پذیرفته باشد. در تابع مطلوبیت در نظر گرفته شده برای برگشت پذیری سیستم هر چه متوسط مدت زمان بازگشت سیستم به حالت استاندارد و مطلوب بیشتر باشد، مطلوبیت به نقطه عدم توافق که در اینجا صفر در نظر گرفته شده است نزدیک تر می شود. مطلوبیت صفر در صد موقعی اتفاق می افتد که هیچ گونه شکستی در سیستم وجود نداشته باشد که در این صورت متوسط بازگشت به حالت اولیه برابر صفر می شود. در تابع مطلوبیت در نظر گرفته شده برای شدت تخطی از استانداردها یا عدم تأمین نیاز، مطلوبیت هر بخش موقعی صفر در صد می باشد که شدت تخطی از استاندارد و یا عدم تأمین نیاز در طول دوره بهره برداری صفر باشد. در تابع مطلوبیت در نظر

<sup>1</sup> Total Dissolved Solids (TDS)



شکل ۱- فرم تابع مطلوبیت در نظر گرفته شده برای اطمینان پذیری، برگشت پذیری و آسیب پذیری تأمین نیاز و کیفیت آب اختصاص یافته به هر بخش



شکل ۲- فرم تابع مطلوبیت در نظر گرفته شده برای کیفیت فاضلاب بخش شهری و صنعتی و کمیت پساب بخش کشاورزی

جدول ۱- مطلوبیت کیفیت آب بازگشتی بخش شهری، صنعتی و درصد زه آب بازگشتی بخش کشاورزی

نام بخش	a'	b'	c'
شرب	۵۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰۰
صنعت	۸۰۰	۲۵۰۰	۴۰۰۰۰
کشاورزی	۲۰	۸۰	۱۰۰

$$\prod_{a=1}^{na} ((f_{Rel,a}(Rel_a) - d_{rel,a})^{wa} (f_{Res,a}(Res_a) - d_{res,a})^{wa} (f_{Vul,a}(Vul_a) - d_{Vul,a})^{wa} (f_{Rel,a,c}(Rel_{a,c}) - d_{rel,a,c})^{wa,c} (f_{Res,a,c}(Res_{a,c}) - d_{res,a,c})^{wa,c} (f_{Vul,a,c}(Vul_{a,c}) - d_{Vul,a,c})^{wa,c}) \prod_{i=1}^{ni} ((f_{Rel,i}(Rel_i) - d_{rel,i})^{wi} (f_{Res,i}(Res_i) - d_{res,i})^{wi} (f_{Vul,i}(Vul_i) - d_{Vul,i})^{wi} (f_{Rel,i,c}(Rel_{i,c}) - d_{rel,i,c})^{wi,c} (f_{Res,i,c}(Res_{i,c}) - d_{res,i,c})^{wi,c} (f_{Vul,i,c}(Vul_{i,c}) - d_{Vul,i,c})^{wi,c}) \prod_{d=1}^{nd} ((f_{Rel,d}(Rel_d) - d_{rel,d})^{wd} (f_{Res,d}(Res_d) - d_{res,d})^{wd} (f_{Vul,d}(Vul_d) - d_{Vul,d})^{wd} (f_{Rel,d,c}(Rel_{d,c}) - d_{rel,d,c})^{wd,c} (f_{Res,d,c}(Res_{d,c}) - d_{res,d,c})^{wd,c} (f_{Vul,d,c}(Vul_{d,c}) - d_{Vul,d,c})^{wd,c}) \quad (3)$$

با توجه به اینکه:

$$C_{g,m,y} = q(I_t, C_t, C_{m,y}, R_{m,y}) \quad \forall m, y \quad (4)$$

رابطه ۴ در واقع خروجی از مدل شبیه سازی کیفی رودخانه می باشد که در این پژوهش، به صورت زیر برنامه ای نوشته شده، پس از اعتبارسنجی و واسنجی آن برای محدوده مورد مطالعه، در برنامه اصلی بهینه سازی فراخوانی می شود. در این زیر برنامه بر اساس دبی و غلظت کل جامدات محلول در فاضلابها و زه آبهای ورودی به رودخانه، غلظت کل جامدات محلول در محل برداشت بخشهای مختلف به دست می آید. متغیرهای استفاده شده در مدل فوق به شرح زیر می باشند:

تابع مطلوبیت و نقطه عدم توافق مرتبط با اطمینان پذیری تأمین نیاز بخش x (I بخش صنعت، a بخش کشاورزی، d بخش مصرف شهری، Q محیط زیست):  
 $f_{Rel,x}() / d_{Rel,x}$   
 تابع مطلوبیت و نقطه عدم توافق مرتبط با متوسط مدت زمان برگشت پذیری تأمین نیاز بخش x:  
 $f_{Res,x}() / d_{Res,x}$   
 تابع مطلوبیت و نقطه عدم توافق مرتبط با متوسط شدت عدم تأمین نیاز بخش x:  
 $f_{Vul,x}() / d_{Vul,x}$   
 تابع مطلوبیت و نقطه عدم توافق مرتبط با اطمینان پذیری کیفیت آب اختصاص یافته به بخش x:

از آنجایی که هزینه تصفیه زه آب کشاورزی با توجه به حجم آن بسیار زیاد می باشد، فرم تابع مطلوبیت در نظر گرفته شده برای بخش کشاورزی برحسب درصد زه آب بازگشتی از آب اختصاص یافته می باشد. در شکل ۲، بازه (∞ و [b' ] مطلوبیت صد در صد از درصد آب بازگشتی بخش کشاورزی را نشان می دهد. a' حداقل درصد دبی آب بازگشتی است که بخش کشاورزی با احداث حوضچه تبخیر می تواند به آن حد برسد. مقادیر مختلف a', b' و c' در جدول ۱ ارائه شده اند.

#### ۴- ساختار مدل بهینه سازی بهره برداری از رودخانه

در مدل مدیریت کیفی و تخصیص آب از رودخانه کرخه، تابع حل اختلاف نش به عنوان تابع هدف مدل استفاده شده است و حداکثر سازی این تابع برای کل دوره بهره برداری هدف اصلی مدل است که با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرحله ای صورت می پذیرد. همچنین با توجه به اینکه اهمیت مصرف کنندگان فعلی در مسئله یکسان نیست، از تابع غیر متقارن نش استفاده شده است. معادله تابع هدف غیر متقارن نش و محدودیتهایی که در مدل استفاده شده، در رابطه ۳ ارائه شده است.

$$\text{Maximize } Z = \prod_{g=1}^{ng} ((f_{Rel,g,c}(Rel_{g,c}) - d_{Rel,g,c})^{wg,c} f_{Res,g,c} (Res_{g,c}) - d_{Res,g,c})^{wg,c} (f_{Vul,g,c}(Vul_{g,c}) - d_{Vul,g,c})^{wg,c} f_{Rel,g,Q} (Rel_{g,Q}) - d_{Rel,g,Q})^{wg,Q} (f_{Res,g,Q}(Res_{g,Q}) - d_{Res,g,Q})^{wg,Q} f_{Vul,g,Q} (Vul_{g,Q}) - d_{Vul,g,Q})^{wg,Q} \prod_{m=1}^{12*nyear} ((\prod_{a=1}^{na} (f_{a,r,m}(Ra,m) - da,r,m)^{war} (\prod_{i=1}^{ni} (f_{i,w,m}(Ci,w,m) - di,w,m)^{wiw}) (\prod_{d=1}^{nd} (f_{d,w,m}(Cd,w,m) - dd,w,m)^{wdw})) (\prod_{d=1}^{nd} (f_{d,w,m}(Cd,w,m) - dd,w,m)^{wdw}))$$

مرتبط با متوسط مدت زمان بازگشت پذیری کیفیت آب اختصاص یافته به بخش  $X$ :  $f_{Res,x,c}() / d_{Res,x,c}$  تابع مطلوبیت و نقطه عدم توافق

مرتبط با متوسط شدت تخطی از استاندارد کیفیت آب اختصاص یافته به بخش  $X$ :  $f_{Vul,x,c}() / d_{Vul,x,c}$  تابع مطلوبیت و نقطه عدم توافق

با غلظت فاضلاب و آب برگشتی در ماه  $m$  از هر بخش  $X$ :  $f_{x,w,m}() / d_{x,w,m}$  تابع مطلوبیت و نقطه عدم توافق مرتبط با آب برگشتی بخش کشاورزی:  $f_{a,r,m}() / d_{a,r,m}$

$W_i$ : وزن نسبی مصرف کننده یا تصمیم گیرنده  $i$  ام؛  
 $I_t$ : جریان بالادست رودخانه در طول دوره زمانی  $t$  (میلیون متر مکعب)؛

$C_t$ : سری زمانی غلظت کیفیت آب در بالادست رودخانه (میلی گرم در لیتر)؛

$C_{x,w,m}$ : غلظت آب برگشتی از بخش  $x$  در ماه  $m$ ؛  
 $q()$ : تابعی که نشان دهنده مدل شبیه سازی کیفی رودخانه می باشد؛

$N$ YEARS: تعداد سالهای دوره بهره برداری.

## ۵- الگوریتم ژنتیک مرحله ای

الگوریتم ژنتیک یکی از روشهای مؤثر برای بهینه سازی می باشد که از فرآیند تکامل ژنتیکی استفاده می کند. نتایج تحقیقات گذشته نشان داده است که در صورتی که نسل اولیه جوابهای تولید شده، به پاسخ مسئله نزدیک باشند، زمان حل مسئله به طور قابل توجهی کاهش می یابد. این امر پایه گذار پیشنهاد الگوریتم ژنتیک مرحله ای و ارائه یک ساختار مناسب برای آن توسط کراچیان و کارآموز شده است [۱۰]. اساس این روش بر مبنای شکستن یک مسئله بهینه سازی بزرگ به چندین مسئله کوچک، بهینه سازی این مسائل کوچک و استفاده از جوابهای بهینه آنها به عنوان نسل اولیه جواب در بهینه سازی مسئله اصلی است.

گسسته سازی مسئله بهینه سازی اصلی به مسائل کوچک تر از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به عنوان مثال در مسئله مدیریت کیفی رودخانه و بهینه سازی سیاست های بهره برداری بلند مدت از رودخانه می توان این سیاست ها را برای یک سال بهینه نمود. پس از محاسبه جوابهای بهینه برای سال اول دوره زمانی انجام محاسبات، با فرض اینکه نتایج در سال دوم نیز تقریباً مشابه نتایج بهینه سال اول می باشند، جوابهای اولیه برای مسئله بهینه سازی دوساله با تکرار نتایج به دست آمده برای سال اول محاسبه می گردد. مدل الگوریتم ژنتیک در این مرحله یک مسئله دوساله را با یک جواب اولیه

مناسب بهینه سازی می نماید. مراحل فوق به طور مشابه تکرار می گردد و در هر مرحله نتایج اولیه یک گام زمانی سالانه به کروموزومها اضافه می گردد. از آنجا که در الگوریتم ژنتیک، جوابهای مسئله در قالب کروموزومها ارائه می گردد، در مدل الگوریتم ژنتیک مرحله ای طول کروموزوم به تدریج افزایش می یابد تا سرانجام مسئله اصلی (مسئله ای با دوره برنامه ریزی و طول کروموزوم کامل) با جوابهای اولیه مناسب حل گردد. میزان افزایش طول کروموزومها در هر مرحله می تواند معادل با دوره های زمانی کوچک تر یا بزرگ تر از یک سال باشد و انتخاب تعداد مراحل بر اساس تعداد متغیرهای تصمیم و مشخصات مسئله صورت می گیرد.

به عبارت دیگر در این روش، جوابهای اولیه مسئله بهینه سازی اصلی به طور تصادفی تولید نمی شود و به جای آن از یک جواب قابل قبول و مناسب که از بهینه سازی مسائل کوچک تر به دست آمده است، استفاده می گردد. نکته قابل توجه این است که در بهینه سازی مسائل کوچک تر (گام اول)، جواب اولیه به صورت تصادفی انتخاب شده و بهینه می گردد و پس از آن جوابهای بهینه هر گام در گام بعدی به عنوان جواب اولیه در نظر گرفته می شود. همان طور که مشخص است، هرچه طول دوره بهینه سازی بیشتر باشد، قابلیت الگوریتم ژنتیک مرحله ای در سریع تر به دست آوردن جواب بهینه نسبت به الگوریتم ژنتیک ساده بیشتر می شود.

## ۶- مطالعه موردی

کارآیی مدل پیشنهادی، برای حل اختلاف بین تصمیم گیران و تأثیرپذیران از سیستم رودخانه ای کرخه، واقع در جنوب غربی ایران، مورد بررسی قرار گرفت. این رودخانه از مناطق میانی و جنوب غربی رشته کوه های زاگرس در نواحی غرب و شمال غرب کشور سرچشمه گرفته و پس از طی مسافتی حدود ۹۰۰ کیلومتر در امتداد شمال به جنوب، در مرز مشترک ایران و عراق، در جنوب غربی استان خوزستان به مردابهای هورالعظیم و هورالهویزه می ریزد. رودخانه کرخه پس از رودخانه های کارون و دز سومین رودخانه بزرگ ایران از نقطه نظر آبدهی محسوب می شود که حوزه آبریز آن در حدود ۴۳ هزار کیلومتر مربع می باشد. به منظور بررسی کارآیی مدل حل اختلاف تدوین شده، محدوده ای از رودخانه کرخه، یعنی حفاصل بین سد مخزنی کرخه تا انتهای این رودخانه یعنی هورالعظیم به طول ۳۰۰ کیلومتر انتخاب شد. عمده فعالیتها در این محدوده مربوط به بخش کشاورزی می باشد.

جهت واسنجی مدل شبیه سازی رودخانه از اطلاعات کیفی برداشت شده در ایستگاههای پای پل، عبدالخان، حمیدیه، سوسنگرد

و پل بستان استفاده شد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته اطلاعات برداشت شده در فروردین ماه سال ۱۳۸۰ برای واسنجی مدل استفاده شد که جزئیات و اطلاعات بیشتر در رابطه با واسنجی و اعتبار سنجی مدل در گزارش طرح پژوهشی "برنامه ریزی و مدیریت کمی و کیفی بهره‌برداری و تخصیص آب با تأکید بر حل اختلاف" ارائه شده است [۱۳].

جهت اخذ نظرات طرفهای اختلاف، با ارسال پرسشنامه‌ای به سازمانهای مرتبط نسبت به دریافت نظرات ارسالی از طرف آنها اقدام شد. پاسخهای مذکور با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به وزن نسبی بین طرفهای اختلاف در سیستم تبدیل شد. جهت کسب نظرات افرادی که در سیستم ذی‌نفع نیستند تعدادی از پرسشنامه‌ها برای اساتید دانشگاه که در این زمینه صاحب نظر هستند ارسال شد و سپس در قالب ماتریس‌های مقایسه زوجی بین بخشهای مختلف استخراج گردیدند. در ادامه با انجام آزمونهای سازگاری و با استفاده از روشهای پیشنهادی توسط ساعتی در نهایت وزن نسبی طرفهای اختلاف در محدوده مورد مطالعه محاسبه شدند [۱۴ و ۱۵]. با توجه به تحلیلهای صورت گرفته وزن نسبی پارامترهای اختلاف در پایین دست سد کرخه مطابق جدول ۲ می‌باشد.

#### ۷- نتایج مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری از رودخانه کرخه

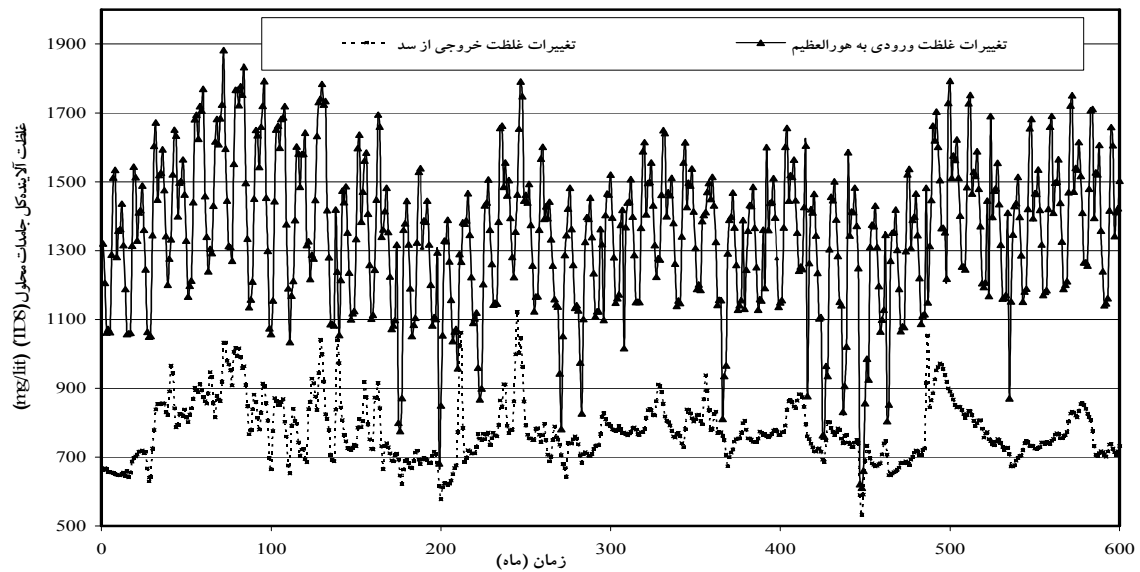
با توجه به تعدد مصرف‌کنندگان در محدوده مورد مطالعه، در نظر گرفتن توأم پارامترهای کمی و کیفی و طولانی بودن دوره

بهینه‌سازی؛ ابعاد مسئله و تعداد ژن‌های کرموزوم‌های الگوریتم ژنتیک زیاد می‌باشد. جهت کاهش ابعاد مسئله، شش منطقه کشاورزی، یک منطقه صنعتی و یک نیاز شرب به نمایندگی از صنایع و شهرهای موجود و یک محل ارزیابی زیست محیطی در پایین دست کرخه (هورالعظیم) در نظر گرفته شد. از آنجایی که سیستم رودخانه‌ای مورد مطالعه، در پایین دست سد کرخه قرار داشت و جریان ورودی به آن کنترل شده بود؛ استفاده از سری زمانی بلند مدت اطلاعات موجود در ایستگاه پای پل در پایین دست سد غیر ممکن بود. برای رفع این مشکل با استفاده از نتایج طرح پژوهشی "برنامه ریزی و مدیریت کمی و کیفی بهره‌برداری و تخصیص آب با تأکید بر حل اختلاف" که شامل دبی و غلظت خروجی از مخزن سد کرخه برای یک دوره ۴۸ ساله (که بر اساس اطلاعات برداشت شده در محل ایستگاه پای پل از سال ۱۳۳۶ تا ۱۳۸۴ شبیه‌سازی شده است) بود، استفاده شد که به عنوان شرایط مرزی در بالادست رودخانه لحاظ گشت.

شکل ۳ تغییرات غلظت خروجی از مخزن و همچنین غلظت ورودی به هورالعظیم را نشان می‌دهد که با توجه به نتایج نشان داده شده، مطلوبیت کیفیت آب ورودی به هورالعظیم در ۷۰ درصد موارد، تنها ۲۰ درصد از استانداردهای کیفی تخطی داشته است. در جدول ۳ مقدار اطمینان‌پذیری تأمین نیاز ۱۰۰، ۹۰ و ۸۰ درصد ارائه شده است. در جدول ۴ اطمینان‌پذیری کیفیت آب اختصاص یافته به مصرف‌کنندگان مختلف با توجه به افزایش سطح آستانه کیفی به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد، ارائه شده است. همچنین سطوح

جدول ۲- وزن نسبی پارامترهای اختلاف در پایین دست سد کرخه [۱۳]

وزن نسبی	پارامترهای اختلاف
۰/۱۴	آب اختصاص یافته به بخش شهری
۰/۱۴	غلظت آب اختصاص یافته به بخش شهری
۰/۰۸	غلظت آب برگشتی شهری
۰/۰۹	آب اختصاص یافته به بخش صنعت
۰/۰۸	غلظت آب اختصاص یافته به بخش صنعت
۰/۰۵	غلظت آب برگشتی صنعت
۰/۰۸	آب اختصاص یافته به بخش کشاورزی
۰/۰۶	غلظت آب اختصاص یافته به بخش کشاورزی
۰/۰۸	دبی برگشتی ناحیه کشاورزی
۰/۱۰	غلظت آب تخلیه شده به هورالعظیم
۰/۱۰	دبی زیست محیطی رودخانه



شکل ۳- تغییرات کیفیت آب خروجی از مخزن و کیفیت آب ورودی به هورالعظیم

جدول ۳- مقادیر اطمینان پذیری کمیت آب اختصاص یافته به بخشهای مختلف، با در نظر گرفتن آستانه‌های مختلف تأمین نیاز (برحسب درصد)

طرفهای اختلاف	۱۰۰ درصد تأمین نیاز	۹۰ درصد تأمین نیاز	۸۰ درصد تأمین نیاز
بخش شهری	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
بخش صنعت	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
دشت عباس	۸۰	۸۵	۱۰۰
دشت اوان	۸۵	۸۸	۱۰۰
دشت دوسالقی	۷۰	۷۷	۱۰۰
دشت ارایض	۶۵	۷۰	۱۰۰
دشت باغه	۷۵	۸۵	۱۰۰
کرخه سفلی	۵۹	۶۵	۹۹
محیط زیست	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۴- مقادیر اطمینان پذیری کیفیت آب اختصاص یافته به بخشهای مختلف با در نظر گرفتن آستانه‌های مختلف

برای کیفیت آب اختصاص یافته (برحسب درصد)

طرفهای اختلاف	سطح آستانه در نظر گرفته شده برابر با استاندارد کیفیت آب در هر بخش باشد	افزایش ۱۰ درصدی سطح آستانه کیفی	افزایش ۲۰ درصدی سطح آستانه کیفی
بخش شهری	۹۸	۱۰۰	۱۰۰
بخش صنعت	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
بخش کشاورزی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
محیط زیست (غلظت آب ورودی به هورالعظیم)	۲۶	۴۳	۷۰



جدول ۵- احتمال وقوع مطلوبیت‌های مربوط به کمیت و کیفیت آب برگشتی از هر بخش در طول دوره بهینه‌سازی (برحسب درصد)

طرفهای اختلاف	احتمال وقوع مطلوبیت ۱۰۰ درصد	احتمال وقوع مطلوبیت ۹۰ درصد	احتمال وقوع مطلوبیت ۸۰ درصد
بخش شهری	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
بخش صنعت	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
دشت عباس	۳۰	۳۶	۱۰۰
دشت اوان	۳۵	۴۱	۹۷
دشت دوسالق	۲۰	۲۶	۹۵
دشت اریض	۱۵	۲۲	۹۰
دشت باغه	۲۵	۳۱	۸۶
کرخه سفلی	۱۰	۲۰	۸۰

تصفیه فاضلاب شهری و صنعت و آب برگشتی از مناطق کشاورزی به حوضچه‌های تبخیر نیز در جدول ۵ ارائه شده است. مطلوبیت‌های شهری و صنعت به دلیل کم بودن نیازها و وزن نسبی بیشتری که نسبت به بقیه مصرف‌کنندگان دارند، ۱۰۰ درصد تأمین شده است. کمیت آب اختصاصی به بخش کشاورزی در تمام طول دوره بهینه‌سازی بیش از ۸۰ درصد نیاز تأمین شده است. کیفیت آب اختصاص یافته به ناحیه‌های کشاورزی با اطمینان‌پذیری ۱۰۰ در ۷۰ درصد مواقع کیفیت آب ورودی به هورالعظیم کمتر از ۱۴۴۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. متوسط آسیب‌پذیری سیستم ناشی از عدم تأمین نیازهای کمی به ترتیب برای نیازهای شرب، صنعت، و محیط زیست، برابر صفر و برای نیاز کشاورزی برابر با ۲۳ میلیون مترمکعب می‌باشد؛ یعنی فقط نیاز کمی کشاورزی در طی دوره به صورت ۱۰۰ درصد تأمین نشد. برگشت‌پذیری کیفیت آب ورودی به هورالعظیم با افزایش ۱۰ درصدی به سطح آستانه شکست برابر با ۲۰ درصد به دست آمده است؛ یعنی در ۲۰ درصد مواقع سیستم از حالت شکست به حالت مطلوب می‌رسد. طبق نتایج به دست آمده میانگین وزنی کل جامدات محلول ورودی به هورالعظیم برابر ۱۱۹۲ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد که کمتر از حد استاندارد کیفی رودخانه می‌باشد.

#### ۸- جمع بندی

در این پژوهش رویکردی جدید برای مدیریت کیفی سیستم‌های رودخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. این امر با در نظر گرفتن شاخصهای پایداری سیستم در تأمین نیاز کمی و کیفی مصرف‌کنندگان مختلف با استفاده از سه شاخص اطمینان‌پذیری، برگشت‌پذیری و شدت تخطی در قالب مدل حل اختلاف نش صورت پذیرفت. همچنین به منظور یافتن جواب بهینه از روش الگوریتم

درصد تأمین شده است. درصد آب بازگشتی در اکثر ماهها به صورت ۸۰ درصد می‌باشد که دلیل آن کاهش بار آلودگی ورودی به هورالعظیم است. دبی زیست محیطی رودخانه در طول دوره بهینه‌سازی به طور کامل تأمین شده است. اطمینان‌پذیری کیفیت آب ورودی به هورالعظیم برابر ۲۶ درصد می‌باشد که در صورت افزایش سطح آستانه تخلف کیفی رودخانه به میزان ۲۰ درصد، مقدار اطمینان‌پذیری به ۷۰ درصد می‌رسد. این بدین معنی است که ژنتیک مرحله‌ای استفاده شد و کارآیی این مدل با استفاده از اطلاعات کمی و کیفی موجود از سیستم رودخانه‌ای کرخه واقع در جنوب غرب ایران از محل سد کرخه تا هورالعظیم ارزیابی گشت. نتایج این پژوهش نشان دهنده کارآیی روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای مدیریت کیفی ماهانه سیستم‌های رودخانه‌ای می‌باشد. افزایش تعداد نقاط آلاینده، از پارامترهای اصلی بالا بردن مشکلات ابعادی مسئله تخصیص بار آلودگی در رودخانه‌هاست، به طوری که اگر تعداد این نقاط بیش از ۶ نقطه باشد، به دلیل ایجاد مشکلات ابعادی در ماتریس‌های ذخیره‌سازی اطلاعات، عملاً استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا در حالت اعمال سیاست‌های تصفیه ماهانه، غیر ممکن خواهد بود. در حالی که روش الگوریتم ژنتیک این مشکل را مرتفع می‌سازد. از قابلیت‌های مدل تهیه شده در این پژوهش، سهولت بسط مدل برای در نظر گرفتن تغییرات فیزیکی سیستم می‌باشد. لذا بررسی شرایط توسعه سیستم و ارائه سیاست‌های تصفیه برای وضع آتی به راحتی امکان‌پذیر است. یکی از مهم‌ترین مواردی که در استفاده از مدل حل اختلاف نش باید در نظر گرفته شود تعریف مناسب توابع مطلوبیت طرفهای اختلاف با توجه به شرایط فیزیکی سیستم می‌باشد. از اینرو در این پژوهش خطر ناشی از عدم تأمین نیاز کمی و کیفی در طول دوره بهینه‌سازی به عنوان تابع مطلوبیت بخشهای مختلف سیستم در نظر گرفته شده

مختلف، کیفیت آب در رودخانه را کنترل و امکان استفاده مناسب از آن را برای همگان فراهم سازد.

#### ۹- قدردانی

بدین وسیله از دفتر امور پژوهشی و پشتیبانی علمی شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران به دلیل حمایت مالی پروژه تحقیقاتی "برنامه ریزی و مدیریت کمی و کیفی بهره برداری و تخصیص آب با تأکید بر حل اختلاف" تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین این پژوهش حاصل بخشی از نتایج رساله دکترا در دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد که خلاصه‌ای از آن در کنگره بین‌المللی آب و محیط زیست انجمن مهندسين عمران آمریکا در نبراسکا ارائه شده است [۱۳ و ۱۶].

است. در این پژوهش حل اختلاف موجود بر سر کمیت و کیفیت آب به صورت همزمان صورت گرفته است. با استفاده از این رویکرد، در صورتی که تخطی از استانداردهای کیفی رودخانه در اثر ورود آلودگیها خصوصاً زه آب بخش کشاورزی خیلی شدید باشد و امکان کاهش دبی زه آب کشاورزی وجود نداشته باشد، مدل با اختصاص آب کمتر به بخش کشاورزی مقدار دبی زه آب بازگشتی را کاهش می‌دهد. بدین معنی که مدل دبی زه آب خروجی از بخش کشاورزی را با استفاده از اعمال سیاست‌های جریمه‌ای بر آب اختصاص یافته به بخش کشاورزی کاهش می‌دهد. از اینرو می‌توان گفت که حل اختلاف توأم کمی و کیفی، این امکان را به مدیر سیستم می‌دهد تا با استفاده از اختصاص کمتر آب به بخشهای

#### ۱۰- مراجع

- 1- White, G. F. (1986). *The role of scientific information in anticipation and prevention of environmental disputes*, In: *Geography, resources and environment*, vol. 1, *Selected Writing of Gilbert F. White*, edited by R. W. Kates and I. Burton, 1<sup>st</sup> Ed., University of Chicago Press, 377-392.
- 2- Liebman, J.C., and Lynn, W.R. (1966). "The optimal allocation of stream dissolved oxygen." *Water Resources Research*, 2(3), 581-591.
- 3- Revelle, C., Loucks, D.P., and Lynn, W.R. (1968). "Linear programming applied to stream dissolved oxygen." *Water Resources Research*, 4(1), 1-9.
- 4- Rossman, L.A. (1989). "Risk equivalent seasonal waste load allocation." *Water Resources Research*, 25(10), 2083-2091.
- 5- Lence, B.J., Eheart, J.W., and Brill, E.D. (1990). "Risk equivalent seasonal discharge programs for multidischarge streams." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 116(2), 170-186.
- 6- Burn, D.H., and Lence, B.J. (1992). "Comparison of optimization formulation for waste load allocation." *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, 118 (4), 92-108.
- 7- Takyi, A.K., and Lence, B.J. (1995). "Markov chain model for seasonal water quality management." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 121 (2), 118-126.
- 8- Sasikumar, K., and Mujumdar, P.P. (1998). "Fuzzy optimization model for water quality management of a river system." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 124 (2), 76-84.
- 9- Burn, D.H., and Yulianti, S. (2001). "Waste load allocation using genetic algorithms." *Water Resource Planning and Management*, 127 (2), 121-129.
- 10- Kerachian, R., and Karamouz, M. (2005). "Waste-load allocation for seasonal river water quality management: Application of sequential dynamic genetic algorithms." *Journal of Scientia Iranica*, 12 (2), 1-14.
- 11- Hashimoto, T., Stedinger, J.R., and Loucks, D.P. (1982). "Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resources performance evaluation." *Water Resources Research*, 18(1), 14-20.

۱۲- کارآموز، م.، و کراچیان، ر. (۱۳۸۲). *برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب*، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۴۰۴.

۱۳- کارآموز، م. (۱۳۸۵). *برنامه ریزی و مدیریت کمی و کیفی بهره برداری و تخصیص آب با تأکید بر حل اختلاف*، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، کارفرما: معاونت پژوهشی سازمان مدیریت منابع آب ایران.

14- Saaty, T. L. (1980). *The analytical hierarchy process, planning, priority, resource allocation*, 1<sup>st</sup> Ed., RWS Publication, USA.

15- Saaty, T. L. (1994). "Highlights and critical points in the theory and application of the analytical hierarchy process." *European Journal of Operation Research*, 74, 426-447.

16- Karamouz, M., and Moridi, A. (2006). "Risk based conflict resolution model for river water quality management." *Proc. of EWRI 2006 Conference*, Nebraska, USA.