



Economic Assessment in Development of Operating Policies for Inter-Basin Water Transfer

M. Karamouz¹, S.A. Mojahedi² and A. Ahmadi³

Abstract

The water basin transfer project is an alternative for balancing the non-uniform temporal and local distribution of water resources and water demand, especially in arid and semi arid regions. A water transfer project can be executed if it can be economically and environmentally justified. In this study, this challenge has been investigated for water transfer from Sologan in the Khuzestan vicinity to Rafsanjan in Kerman. The environmental impacts of such a project on Karoon Rivers between the Gotvand Dam to Darkhoien are considered. Monthly water quality simulation was carried out and one year of observed data was used for model calibration. A multiple regression was performed to estimate river water quality variations based on the simulation results. The regression equations were used in calculating water quality and environmental costs imposed on the river by investigating the effect of the development plans with an economic based objective function. Then a mathematical model was developed to maximize the net benefit of inter-basin water transfer. Costs and benefits including agricultural production, hydropower generation, dredging, physical construction costs, pumping groundwater and environmental costs were also considered. The optimization period is 23 years (the length of historical data); and the Genetic Algorithms is used to solve the model. Model output is the optimum flow rate of water transfer in each month. For real time operation, an Artificial Neural Network (ANN) model is developed. The results show that the high benefit of agriculture production in the Rafsanjan plain and the costs of decreasing agricultural production in Khuzestan plains are the governing factors.

Keywords: Economic Assessment, Water Quality Simulation, Inter-Basin Water Transfer, Genetic Algorithm, Artificial Neural Network.

ارزیابی اقتصادی و تعیین سیاست‌های بهره‌برداری انتقال آب بین حوزه‌ای

محمد کارآموز^۱، سید علی مجاهدی^۲ و آزاده احمدی^۳

چکیده

توسعه جوامع انسانی و نیاز به آب بیشتر، لزوم اجرای طرح‌های توسعه منابع آب را برای استفاده بهینه از پتانسیل‌های موجود در بخش آب اجتناب ناپذیر می‌نماید. طرح‌های توسعه علاوه بر توجیه فنی باید تحت تحلیل‌های اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی قرار گیرند. در این تحقیق به ارزیابی اقتصادی و محیط‌زیستی طرح‌های توسعه پرداخته شده است و به عنوان مطالعه موردی طرح انتقال آب بین حوزه‌ای آب سولگان به رفسنجان انتخاب شده است. مدل بهینه‌سازی با تابع هدف اقتصادی (حداکثر نمودن منافع خالص) برای طرح انتقال آب بین حوزه‌ای تدوین شده است. منافع و هزینه‌ها شامل بخش‌های کشاورزی، برق‌آبی، لایروبی، هزینه‌های فیزیکی اجرای طرح، پمپاژ و هزینه‌های محیط‌زیستی می‌باشد. برای بررسی اثرات محیط‌زیستی بر پایین‌دست رودخانه کارون (حداقل سدگوند تا دارخوین) شبیه‌سازی ماهانه برای متغیرهای کیفی انجام شده است. با استفاده از نتایج شبیه‌سازی کیفی و استفاده از رابطه همبستگی چندمتغیره، متغیرهای کیفی رودخانه در نقاط بحرانی تخمین زده می‌شود. از مقادیر متغیرهای کیفی برای محاسبه هزینه‌های محیط‌زیستی تحمیل شده به رودخانه مبدأ، در اثر اجرای این طرح استفاده شده است. افق بهینه‌سازی ۲۳ سال در نظر گرفته شده و از روش الگوریتم ژنتیک برای حل مدل استفاده شده است. خروجی مدل، دبی انتقال بهینه با توجه به تابع هدف در هر ماه می‌باشد. سپس سیاست‌های بهره‌برداری از طرح انتقال آب با استفاده از مدل شبکه عصبی ارائه گردیده است. از نتایج مدل در بخش اثر بر روی کیفیت متغیرهای کیفی رودخانه کارون نشان از ناچیز بودن آن دارد و هزینه‌های بوجود آمده در مدل در طول دوره بهینه‌سازی در این بخش در شرایطی پیش آمده که متغیرهای کیفی رودخانه در آن سال‌ها در حالت اولیه (بدون انتقال آب) رودخانه از حد استاندارد خارج بوده‌اند و در بررسی منافع و هزینه مشخص گردید که بیشترین منافع مربوط به محصولات کشاورزی در دشت رفسنجان می‌باشد که شاید به خاطر ارزش افزوده زیاد آن نسبت به سایر بخش‌ها است و کمترین منافع مربوط به کاهش هزینه پمپاژ می‌باشد. در قسمت هزینه‌ها بیشترین هزینه مربوط به هزینه‌های کاهش منافع کشاورزی در دشت‌های خوزستان می‌باشد.

کلمات کلیدی: ارزیابی اقتصادی، شبیه‌سازی کیفی رودخانه، انتقال آب بین حوزه‌ای، الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی.

1- Professor, School of Civil Engineering, University of Tehran, Email: karamouz@ut.ac.ir

2- M.S. in Water Engineering, Ministry of Energy, Iran, Email: ali.mojahedi@gmail.com

3- Ph.D. Candidate, School of Civil Engineering, University of Tehran, Email: AzadehAhmadi@ut.ac.ir

۱- استاد دانشکده عمران، پردیس فنی، دانشگاه تهران

۲- کارشناسی ارشد عمران - مهندسی آب، شرکت مدیریت منابع آب ایران

۳- دانشجوی دکتری عمران - مهندسی آب، دانشکده فنی دانشگاه تهران

۱- مقدمه

سیستم می‌تواند پویایی تعادل تقاضا و تأمین آب منطقه‌ای را برپایه سناریوهای مختلف برای یک افق زمانی طولانی بررسی کند.

کارآموز و همکاران (۱۳۸۳) انتقال آب را یک ضرورت ملی در قالب حسابرسی‌های اقتصادی، محیط‌زیستی و آگاهی از در نظر گرفتن اثرات ملموس و غیر ملموس اجرای اینگونه طرح‌ها بررسی کردند. آنها ضمن بررسی عوامل فنی، اجتماعی و محیط‌زیستی انتقال آب، چهارچوب یک حسابرسی اقتصادی و محیط‌زیستی و اهمیت طرح‌های انتقال آب را در قالب عدالت اجتماعی و منافع ملی مطرح کردند. کارآموز و همکاران (۱۳۸۵) الگوریتمی برای ارزیابی اقتصادی طرح‌های انتقال آب ارائه نمودند و چهارچوب مدلی برای کمی نمودن منافع و هزینه مؤلفه‌های سیستم انتقال آب ارائه نمودند. کارآموز، مجاهدی، (۱۳۸۵)، تغییرات کیفی متغیرهای شاخص را در پایین دست رودخانه کارون در اثر انتقال آب کوه‌رنگ ۳ به زاینده‌رود شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار دادند. ظهیری و کردستانی (۱۳۸۳) به موضوع رسوبگذاری رودخانه کارون و طرح کشتیرانی در آن پرداختند و اثر اجرای طرح انتقال آب بر رسوبگذاری رودخانه کارون را مورد بررسی قرار دادند و به صورت کمی نتایجی برای حجم و هزینه عملیات لایروبی در دبی‌های پایه مختلف ارائه کردند.

رابعی و همکاران (۱۳۸۳) اثرات انتقال آب از سرشاخه‌های کارون بر اعتمادپذیری و میزان تولید برق در نیروگاه‌های برق‌آبی واقع بر روی رودخانه کارون را مورد بررسی قرار دادند و تحلیلی بر روی میزان کاهش تولید انرژی برق‌آبی در دبی‌های مختلف انتقال انجام دادند. در این زمینه برای تولید انرژی برق‌آبی سد کارون ۳ نتایج کمی که نشان دهنده میزان کاهش تولید انرژی برق‌آبی و اطمینان‌پذیری در اثر دبی‌های مختلف انتقال بود، ارائه شده است و با توجه به قیمت تولید برق، هزینه کاهش تولید برق ناشی از انتقال را برای دبی‌های مختلف تخمین زده‌اند.

در این مقاله سعی شده است که ضمن بررسی اقتصادی و محیط‌زیستی انتقال آب، چارچوب یک ارزیابی اقتصادی و محیط‌زیستی مطرح گردد. بدین منظور طرح انتقال آب سولگان به رفسنجان به عنوان مطالعه موردی در این تحقیق انتخاب شده است. مدلی با تابع هدف اقتصادی برای بررسی طرح انتقال بین حوزه‌های آب در مطالعه موردی سولگان به رفسنجان تدوین شده است و روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای حل مدل در نظر گرفته شد. متغیرهای تصمیم در این مدل بهینه‌سازی دبی بهینه انتقال در هر ماه می‌باشد. منافع شامل تولید محصولات کشاورزی و کاهش هزینه پمپاژ در دشت رفسنجان در اثر انتقال آب می‌باشد. هزینه‌ها شامل

کشور ایران جزء سرزمین‌های خشک و نیمه خشک و کم‌آب به حساب می‌آید و توزیع مکانی منابع آب نیز در آن یکنواخت نمی‌باشد. در برخی حوزه‌ها آب کافی وجود دارد و در برخی مناطق با کمبود شدید مواجه است و خشکسالی‌های دوره‌ای نیز از عوامل تأثیرگذار و تشدید کننده کم‌آبی در این مناطق می‌باشد و در مواردی موجب کوچ اجباری و ترک محل زندگی ساکنین این مناطق می‌شود. از سوی دیگر، به دلیل توزیع نامناسب آب، خاک و جمعیت در کشور که موجب عدم توزیع یکنواخت زمانی و مکانی منابع و مصارف آبی شده است، انتقال آب از حوزه‌ای به حوزه دیگر برای برقراری این توازن و توزیع همگن‌تر منابع و نیازها می‌تواند یکی از مهمترین و مؤثرترین راه‌های تأمین نیاز آبی در منطقه مقصد باشد.

یک پروژه انتقال آب در صورتی قابل اجرا می‌باشد که امکان‌پذیری فنی آن تأیید شده و ارزیابی زیست محیطی و اقتصادی انجام آن قابل توجیه باشد. علاوه بر این موارد در پاسخگویی به اثرات اجتماعی چنین پروژه‌ای، باید ارزیابی نمود که انتقال آب تا چه حد در قالب عدالت اجتماعی^۱ برای همه قرار می‌گیرد. در این زمینه، عدالت اجتماعی برای آنهایی که حق‌آبه‌ای از این آب دارند و همچنین برای آنهایی که براساس عرف و وابستگی‌های ملی خود می‌توانند از این آب به عنوان سرمایه‌های ملی استفاده کنند، مطرح می‌باشد. برای حصول به این اهداف لازم است که در ارزیابی اقتصادی طرح، هزینه‌ها و منافع ملموس و غیرملموس در نظر گرفته شود.

(1993)، (Lund et al., 1995) به صورت توصیفی به تحلیل دلایل و ضرورت، مزایا و معایب موضوع انتقال آب پرداختند و مؤلفه‌های مختلف یک سیستم انتقال آب پرداختند. آنها مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی چند مرحله‌ای انتقال آب را برای تأمین آب شهری غرب آمریکا با تابع هدف حداقل کردن هزینه‌های طرح انتقال و قید تخصیص نیازها پرداختند. (Yevjevich 2001) بحث انتقال بین حوزه‌های آب را سیاستی مهم برای تأمین نیاز آبی بیان کرده و آن را از دیدگاه زمین‌شناسی، مرفولوژی، هیدرولوژیکی و نقش دولت‌ها به صورت توصیفی بررسی کرده و لزوم حل اختلاف در پروژه‌های انتقال آب را مطرح کرده است. (Feng et al., 2004) اثر انتقال آب از جنوب به شمال چین را که تأثیر زیادی در رشد اقتصادی این منطقه خواهد داشت را بررسی کردند. در این طرح یک سیستم پشتیبانی در تصمیم‌گیری برای ارزیابی اثرات اجتماعی و اقتصادی طرح انتقال آب ارائه کردند. این سیستم قابلیت تحلیل کیفی آسیب‌پذیری منابع آبی منطقه‌ای با استفاده از مدلسازی ریاضی را دارا می‌باشد. همچنین این

می‌آید. ساختار تابع هدف اقتصادی این مدل شامل موارد زیر است:

منافع

- افزایش تولیدات کشاورزی در منطقه دریافت کننده آب (مقصد).
- کاهش هزینه پمپاژ در منطقه دریافت کننده آب (مقصد).

هزینه

- خسارت ناشی از کاهش تولید محصولات کشاورزی در منطقه ارسال کننده آب (مبدأ).
- خسارت ناشی از کاهش تولید انرژی برقی در منطقه ارسال کننده آب (مبدأ).
- افزایش هزینه لایروبی بستر رودخانه در منطقه ارسال کننده آب (مبدأ).
- هزینه‌های فیزیکی اجرای طرح.
- محیط‌زیستی: هزینه جبران خسارت ناشی از افت کیفیت متغیرهای کیفی رودخانه در اثر انتقال آب.

۳- مطالعه موردی

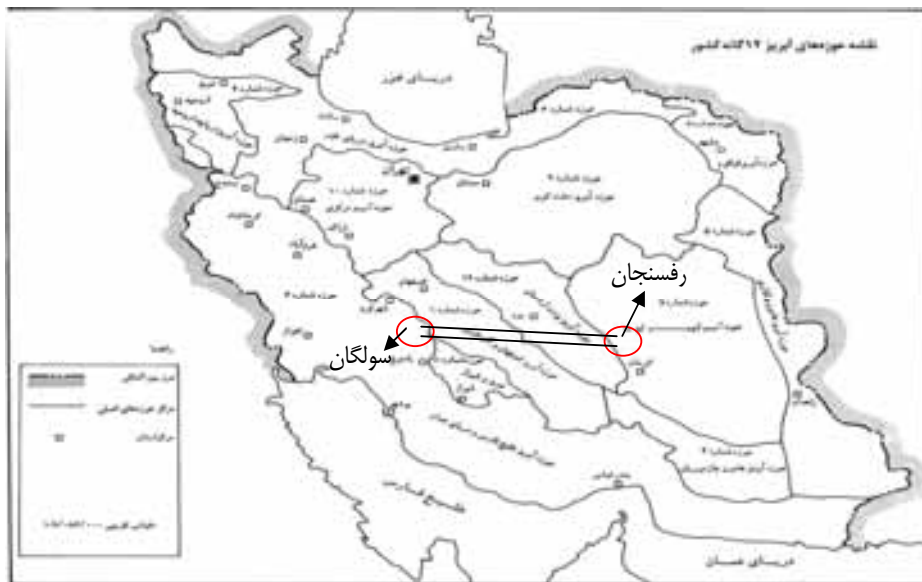
در این تحقیق انتقال بین حوزه‌های آب از سرشاخه‌های کارون به رفسنجان به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. در شکل ۱ نمایشی از حوزه‌های آبریز ایران و مبدأ و مقصد طرح انتقال آب و در شکل ۲، حوزه‌های آبریز کارون و کویر لوت که مبدأ و مقصدهای انتقال می‌باشند، به تفکیک نشان داده شده است.

کاهش تولید انرژی برقی در سدهای ساخته شده بر روی رودخانه کارون، افزایش هزینه لایروبی بستر رودخانه کارون در اثر انتقال آب، هزینه‌های فیزیکی اجرای طرح و هزینه تصفیه متغیرهای کیفی شاخص در مقایسه با استاندارد کیفیت رودخانه که در اثر اجرای طرح انتقال آب تغییر می‌کند، می‌باشد.

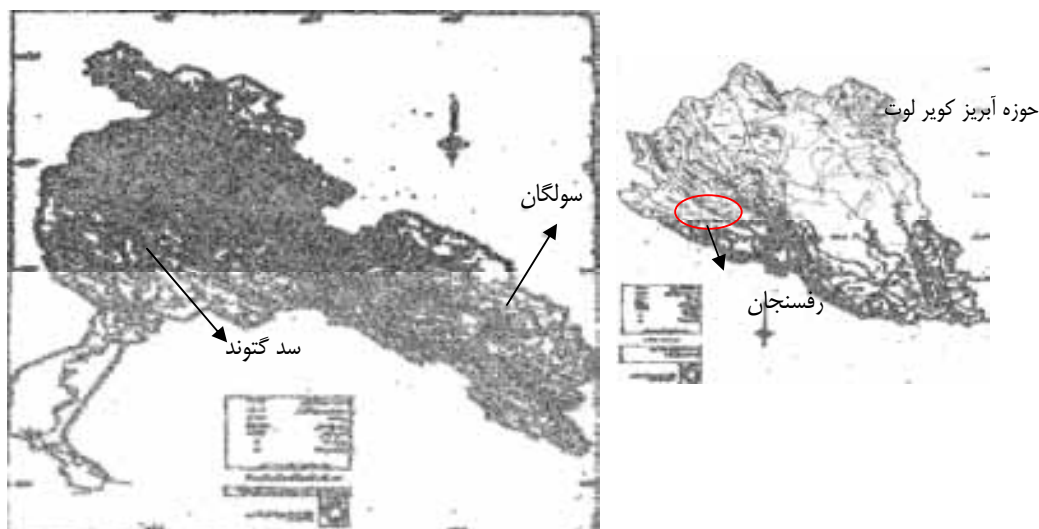
به منظور تخمین هزینه کیفی تحمیلی در اثر اجرای طرح انتقال آب، مدل شبیه‌سازی کیفی پایین‌دست سیستم رودخانه‌ای کارون در حد فاصل سد گتوند تا دارخوین با استفاده از نرم‌افزار Qual2k تدوین شده است. سپس برای طول دوره آماری اطلاعات کیفی سراب رودخانه کارون (سد گتوند) برای هر ماه شبیه‌سازی انجام شد و از روی نتایج آن با استفاده از رابطه همبستگی چند متغیره معادلاتی برای تخمین میزان متغیرهای کیفی در طول مسیر رودخانه به‌دست آمد. قیدهای مدل شامل ظرفیت سیستم انتقال (تونل‌ها)، آوردهای ورودی و نیاز ماهانه در نظر گرفته شده است. در پایان با توجه به نتایج مدل بهینه‌سازی سیاست‌های بهره‌برداری با استفاده از مدل شبکه عصبی بر اساس آوردهای ماه قبل به مخزن و تراز مخزن سد در ابتدای ماه و نیاز آن ماه، ارائه شده است.

۲- ساختار کلی پیشنهادی مدل بهینه‌سازی انتقال آب

در این تحقیق ساختار کلی پیشنهادی مدل بهینه‌سازی انتقال آب، براساس بیشترین منافع خالص ناشی از انتقال آب تدوین شده است. در این مدل با توجه به تحلیل منافع و هزینه در طرح انتقال آب، میزان بهینه دبی ماهانه انتقال در طول دوره بهینه‌سازی به‌دست



شکل ۱- حوزه‌های آبریز ایران و نمایش مبدأ و مقصد طرح انتقال آب



شکل ۲- حوزه آبریز کارون مبدأ و حوزه آبریز کویر لوت مقصد طرح انتقال آب

جدول ۱- مشخصات فنی - عمومی سد خاکی و تونل انتقال آب سولگان به رفسنجان

تراز نرمال از سطح دریا	۲۱۳۶ متر	حجم مفید مخزن	۵۵۸/۱ میلیون متر مکعب
تراز تاج سد از سطح دریا	۲۱۴۳ متر	تراز حداقل بهره برداری	۲۰۸۸ متر از سطح دریا
ارتفاع سد از پی	۱۲۰ متر	طول تونل انتقال آب	۵۳/۸۳ کیلومتر
ارتفاع سد از کف رودخانه	۱۰۶ متر	قطر تمام شده خط لوله انتقال	قطر مقطع ۳/۷ متر
طول تاج	۴۱۰ متر	طول خط لوله	۳۸۴ کیلومتر
حجم کل مخزن	۶۴۵ میلیون متر مکعب		

برخوردار است. رودخانه کارون پس از ورود به دشت خوزستان در شمال گتوند، به سمت جنوب جریان می‌یابد. این رودخانه در شوشتر به دو شاخه شطیط و گرگر تقسیم می‌شود. در بند قیر دو شاخه مذکور به علاوه رودخانه دز به هم ملحق شده و به سمت جنوب جریان می‌یابند. رودخانه در نزدیکی خرمشهر به دو شاخه تقسیم می‌شود. شاخه اول به نام بهمنشیر به سمت جنوب شرق منحرف شده و به خلیج فارس می‌ریزد و شاخه حفار به ارون رود می‌پیوندد و سپس به خلیج فارس می‌ریزد. تابع هدف اقتصادی طرح انتقال آب از سولگان به رفسنجان به صورت زیر تدوین شده است:

تأمین نیاز آبی دشت رفسنجان هدف اصلی طرح انتقال آب می‌باشد. این طرح با تأمین نیاز میانگین ۲۵۰ میلیون متر مکعب آب، در سال طراحی شده است. مشخصات فنی و عمومی طرح انتقال آب سولگان به رفسنجان، به تفکیک سد سولگان و تونل انتقال به شرح زیر است. در جدول ۱ مشخصات فنی - عمومی طرح انتقال آب سولگان به رفسنجان آورده شده است. رودخانه کارون (مبدأ طرح انتقال آب) تأمین کننده آب چندین شهر مهم، واحدهای صنعتی متعدد و همچنین سطح قابل توجهی از اراضی کشاورزی و کشت و صنعت ایران می‌باشد. با توجه به منابع آلاینده قابل توجه این سیستم رودخانه‌ای، بررسی مقادیر پارامترهای کیفی رودخانه از اهمیت زیادی

$$\text{Maximize } Z = \left(\sum_{k=1}^2 \sum_{t=1}^{12} \sum_{y=1}^{23} \text{Benefit}_{k,t,y} \right) - \left(\sum_{m=1}^5 \sum_{t=1}^{12} \sum_{y=1}^{23} \text{Cost}_{m,t,y} \right) \quad (1)$$

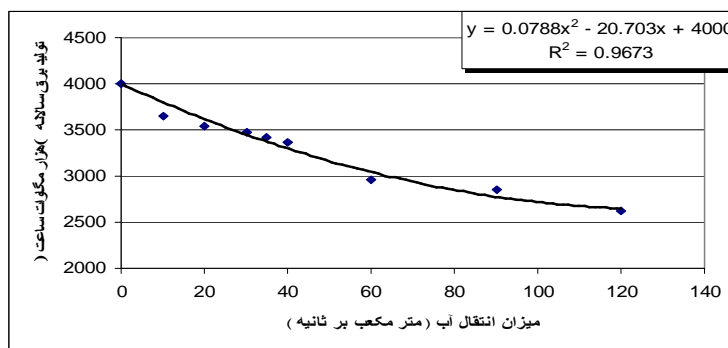
۳-۱- منافع طرح در منطقه رفسنجان دریافت کننده آب

- منافع حاصل از استفاده آب انتقال یافته به دشت رفسنجان در تولید محصولات کشاورزی (کشت غالب در این منطقه باغات پسته با ۹۷ درصد) می‌باشد، با در نظر گرفتن ضریب عملکرد به ازاء واحد آب ($CPD(Kg/m^3)$)، حجم آب انتقال داده شده و قیمت فروش محصولات به ازای هر کیلوگرم به دست می‌آید.
- منافع حاصل از کاهش هزینه‌های پمپاژ به میزان حجم آب انتقال یافته به دشت رفسنجان، با استفاده از حجم انتقال یافته، تعداد ساعات کار پمپ، ارتفاع سطح آب‌زیرزمینی، راندمان پمپ به دست می‌آید.

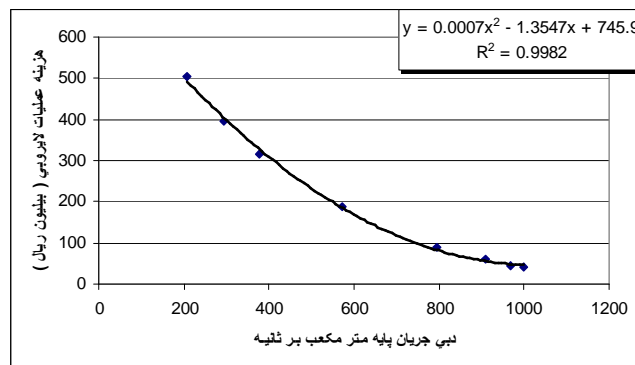
۳-۲- هزینه در حوزه کارون مبدأ ارسال کننده آب

هزینه کاهش منافع و تولید برق-آبی در رودخانه کارون در محل سدهای ساخته شده و در دست ساخت، در ازای دبی انتقالی از سرچشمه‌های کارون بدست می‌آید. تابع کاهش تولید انرژی برق آبی از مطالعات رابعی و همکاران (۱۳۸۳) بر روی اثر کاهش دبی بر تولید انرژی برق آبی استخراج شده است. در شکل ۳ به عنوان نمونه تغییرات متوسط سالانه تولید برق نسبت به میزان حجم انتقال آب سد کارون ۳ نشان داده شده است.

- افزایش هزینه لایروبی سالانه رودخانه کارون در شرایط طبیعی، برای کنترل بستر رودخانه و برگشت آب از خلیج فارس به رودخانه و یا استفاده از رودخانه برای حمل و نقل آبی، به واسطه انتقال آب و از تابع هزینه لایروبی به دست می‌آید. برای به دست آوردن تابع هزینه از نتایج مطالعات ظهیری و کردستانی (۱۳۸۳) بر روی اثرات میزان کاهش دبی رودخانه از حالت دبی پایه بر روی حجم عملیات لایروبی استفاده شده است. در شکل ۴ تغییرات هزینه عملیات لایروبی در دبی پایه‌های مختلف در پایین دست اهواز نشان داده شده است.



شکل ۳- تغییرات متوسط سالانه تولید برق نسبت به میزان حجم انتقال آب (سد کارون ۳)



شکل ۴- تغییرات هزینه عملیات لایروبی در دبی پایه‌های مختلف در پایین دست اهواز

انتخاب، تزویج و جهش در ساختار مدل بهینه‌سازی اعمال می‌شود. هر کروموزوم نشان دهنده یک جواب مساله می‌باشد که از کنار هم قرار دادن مقادیر متغیرهای تصمیم (بصورت اعداد حقیقی یا کدگذاری شده) به دست می‌آید. هر یک از متغیرهای کروموزوم یک ژن نامیده می‌شود. بنابراین هر کروموزوم مسأله به تعداد متغیرهای تصمیم ژن خواهد داشت. در این تحقیق متغیرهای تصمیم در هر ماه نشان دهنده دبی انتقالی از تونل سولگان می‌باشد. طول دوره بهینه سازی ۲۳ سال در نظر گرفته شده است. بنابراین هر کروموزوم شامل $23 \times 12 \times 2 = 276$ ژن و جامعه اولیه آن شامل ۱۰۰ کروموزوم می‌باشد که احتمال تزویج و احتمال جهش به ترتیب ۰/۸ و ۰/۱۰ در نظر گرفته شده است.

۴- شبیه‌سازی کیفی رودخانه کارون در محدوده پایین‌دست مبدأ انتقال

در شکل ۶ نمایی از سیستم رودخانه‌ای کارون، محل ایستگاه‌های پایش کیفی رودخانه و محدوده مکانی رودخانه کارون از محل سد گتوند تا ایستگاه دارخوین (شامل شاخه شطیپ) به عنوان محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شده است. از جمله کانون‌های آلودگی صنعتی مهم می‌توان به واحدهای صنعتی در مجاورت رودخانه کارون در بالادست و پایین دست شهر اهواز، کشتارگاه‌ها، واحدهای نفتی و پتروشیمی و مراکز پرورش ماهی اشاره کرد. شهرک‌های صنعتی را می‌توان به عنوان یکی از منابع اصلی آلاینده صنعتی در نظر گرفت. اثرات توسعه کشاورزی بر رودخانه کارون و از طریق شوری و آلودگی زه‌آب‌های کشاورزی تخلیه شده به رودخانه و از طریق کاهش دبی رودخانه در اثر برداشت آب قابل توجه می‌باشد.

- هزینه کاهش منافع تولید محصولات کشاورزی در منطقه مبدأ (حوزه کارون) به میزان حجم آب انتقال داده شده همانند روش گفته شده در محاسبه منافع کشاورزی در دشت رفسنجان می‌باشد که در اینجا کاهش تولید به میزان آب انتقالی به عنوان ضرر در نظر گرفته شده است.
- هزینه شامل هزینه‌های فیزیکی طرح انتقال آب سولگان به رفسنجان می‌باشد. هزینه سالانه آن $11E+3/0.3$ ریال و مقدار سرمایه‌گذاری اولیه آن $12E+2/85$ می‌باشد.
- یکی از مزایای این مدل در نظر گرفتن اثرات کیفی طرح انتقال آب و کمی کردن و در نظر گرفتن آن به صورت هزینه در تابع هدف می‌باشد. هزینه تصفیه غلظت متغیرهای کیفی شاخص (BOD, TDS) در طول رودخانه که بر اثر طرح انتقال آب از حد استاندارد رودخانه خارج می‌شوند، با در نظر گرفتن قیمت واحد تصفیه در تفاضل غلظت متغیر کیفی شاخص، در حالت قبل و بعد از طرح انتقال آب به دست می‌آید. مقادیر متغیرهای کیفی شاخص رودخانه در نقطه کنترل (شهر اهواز) از نتایج شبیه‌سازی و معادلات همبستگی که در بخش ۴ توضیح داده می‌شود، استفاده شده است. استاندارد TDS کمتر از 1200 میلی‌گرم در لیتر و برای BOD کمتر از 10 میلی‌گرم در لیتر با توجه به استاندارد کیفیت آب رودخانه در نظر گرفته شده‌اند.

در این تحقیق با توجه به ساختار غیرخطی تابع هدف و به علت تعدد متغیرهای حالت سیستم در طول دوره بهینه‌سازی و با توجه به استفاده مؤثر از روش الگوریتم ژنتیک در حل مسائل بهینه‌سازی مدل‌های منابع آب از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. فلوچارت مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک انتقال آب در شکل ۵ نشان داده شده است. روش الگوریتم ژنتیک به وسیله عملگرهای

کیفی موردنظر در طول رودخانه با استفاده از مدل Qual2k و رابطه همبستگی خطی چند متغیره تدوین شده به عنوان نمونه برای ماه شهریور ارائه شده است.

۵- نتایج مدل بهینه‌سازی انتقال آب

در زیر نتایج مدل در حالتی که تراز مخزن در ابتدای دوره بهینه‌سازی در حالت نرمال است، آورده شده است. در شکل ۹ مقادیر تابع هدف (منافع منهای هزینه) در تکرارهای مختلف مدل الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تا تکرار ۱۳۰۰ مقدار تابع هدف بیشترین شیب تغییرات را داشته است و بعد از این تکرار تقریباً مقدار آن ثابت مانده و تنها در تکرار ۵۳۲۶ دارای پرش بوده و از این تکرار به بعد مقدار تابع هدف ایستا شده است که نشانگر جواب بهینه مدل می‌باشد و مقدار آن برابر عدد مثبت ۵۶۶/۵۹۴۲ میلیارد ریال می‌باشد.

در شکل ۱۰ دبی ماهانه انتقال از تونل سولگان در طول دوره ۲۳ ساله بهینه‌سازی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در ماههایی که بیشترین درصد نیاز وجود دارد، بیشترین دبی تخصیص داده شده است. دبی عبوری از تونل سولگان در ۶۱ ماه با ماکزیمم ظرفیت مدل (۱۴ متر مکعب بر ثانیه) و دبی ثابت ۲ متر مکعب در ثانیه در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند تعیین گردیده است. روند تغییرات به صورت سالانه به تناوب تکرار می‌شود در سال‌های آخری دوره بهینه‌سازی دبی عبوری از تونل‌ها دارای روند کاهشی بوده که نشانگر دوره خشکسالی هیدرولوژیکی در منطقه می‌باشد. همچنین در شکل ۱۱ براساس دبی ماهانه، حجم سالانه انتقال آب نشان داده شده است.

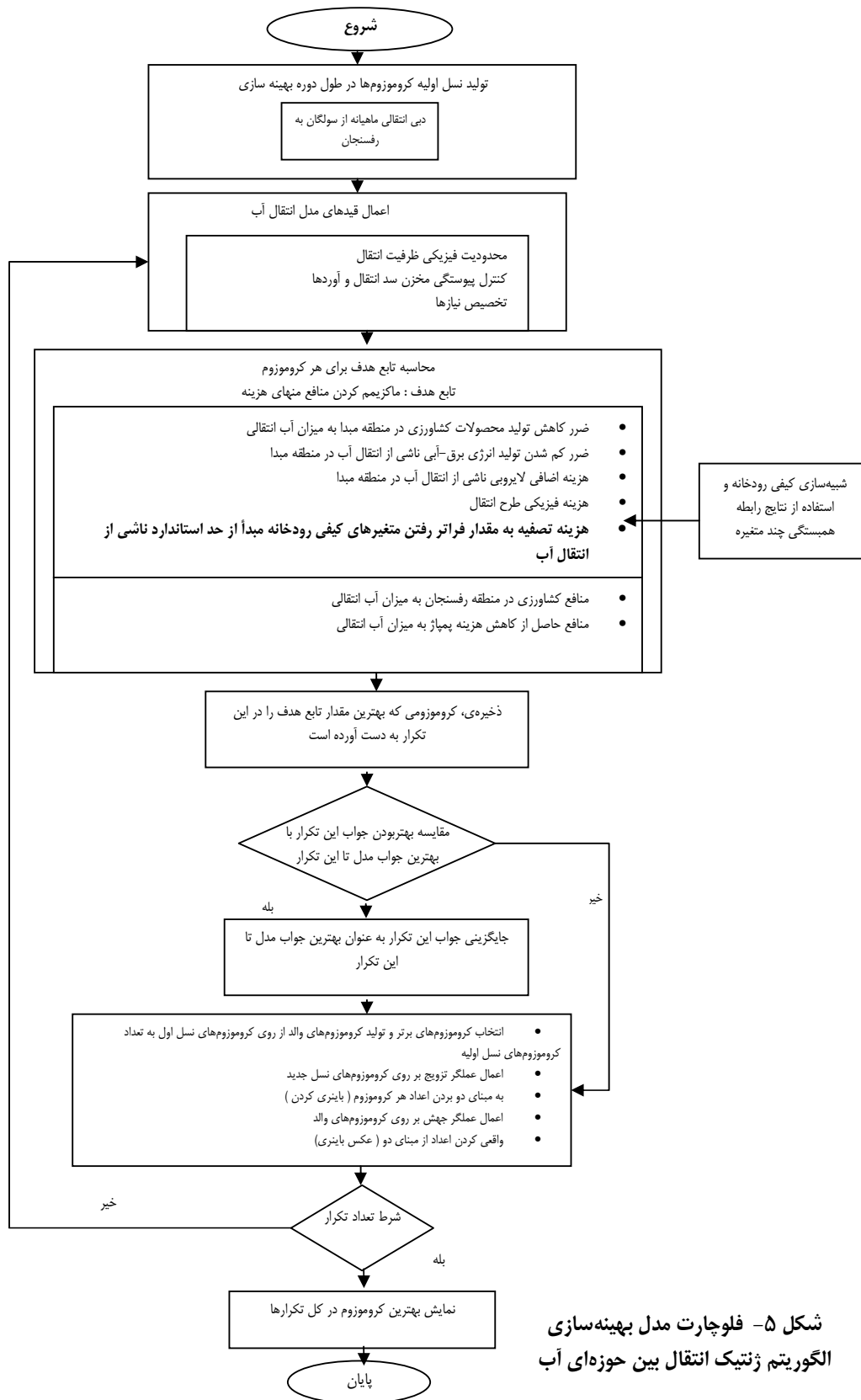
در شکل ۱۲ تغییرات تراز مخزن سدهای انتقال سولگان در طول دوره بهره‌برداری نشان داده شده است. فرض شد، آورد ورودی به این مخزن‌ها یا توسط تونل‌ها انتقال داده می‌شوند یا ذخیره می‌شوند و در صورت پر شدن مخزن سرریز می‌کنند. مشخصات سد سولگان در بخش‌های قبلی آورده شده است. تراز ماکزیمم در شکل توسط خطی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در سال‌های آخر خشکسالی هیدرولوژیکی خود را نشان داده است.

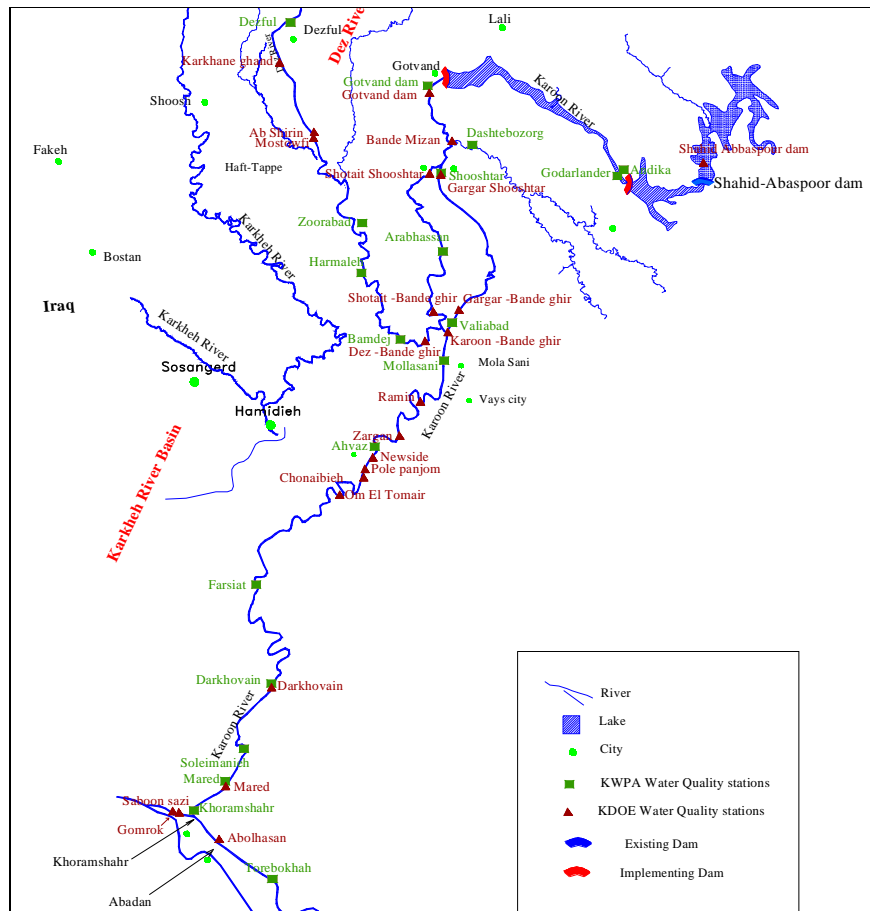
با توجه به وضعیت اطلاعاتی موجود، جهت شبیه‌سازی متغیرهای کیفی رودخانه از اطلاعات متوسط ماهانه ایستگاه‌های پایش کیفی وزارت نیرو و سازمان حفاظت محیط‌زیست استفاده شده است. این ایستگاه‌ها با توجه به قرارگیری در محدوده مورد مطالعه و کفایت اطلاعات نمونه‌برداری، انتخاب شده‌اند. جهت شبیه‌سازی کیفی رودخانه کارون از نرم‌افزار Qual2k (اژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا ۲۰۰۴) استفاده شده است.

اطلاعات اصلی ورودی به مدل شامل اطلاعات متغیرهای کیفی سراب که بایستی شبیه‌سازی شوند، برخی ویژگی‌های فیزیکی حوزه (مثل طول رودخانه و طول مسیر رودخانه برای شبیه‌سازی) مشخصات هیدرولوژیکی رودخانه (شامل پارامترهای معادله مانینگ یا روابط دبی-اشل و سرعت-دبی در طول بازه‌های مختلف رودخانه) اطلاعات و مشخصات کمی و کیفی ورودی‌های نقطه‌ای یا برداشت‌ها، جریان‌های ورودی و خروجی در طول مسیر و ضرایب حل معادلات پخش، زوال پارامترهای مختلف کیفی می‌باشند.

در این مطالعه تنها متغیرهای EC، DO و BOD شبیه‌سازی شده‌اند. نمونه‌ای از روند تغییرات این متغیرهای کیفی که خروجی‌های برنامه Qual2k می‌باشد، در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، علیرغم وجود منابع آلاینده آلی شهری و صنعتی در محدوده مطالعه، مقادیر غلظت BOD از حد استاندارد تجاوز نمی‌کند و این موضوع را می‌توان به ظرفیت خود پالایی بالای رودخانه برای متغیر BOD نسبت داد. به طور کلی در طول رودخانه بازه‌ای که از نظر آلودگی BOD و غلظت اکسیژن محلول در شرایط بسیار نامطلوبی قرار داشته باشند، وجود ندارد. EC با توجه به منابع آلاینده صنعتی، شهری و کشاورزی سیستم رودخانه‌ای کارون، به طور کلی با دور شدن از سرآبها و افزایش پساب و زهاب‌های ورودی، هدایت الکتریکی و شوری آب افزایش می‌یابد.

در ادامه بین متغیرهای کیفی ماهانه شبیه‌سازی شده نقاط انتخابی در طول سالهای مختلف، با متغیرهای کیفی سراب، رابطه همبستگی خطی چند متغیره محاسبه شد. در جدول ۲ متغیرهای وابسته و مستقل آورده شده است. در شکل ۸ نتایج شبیه‌سازی متغیرهای

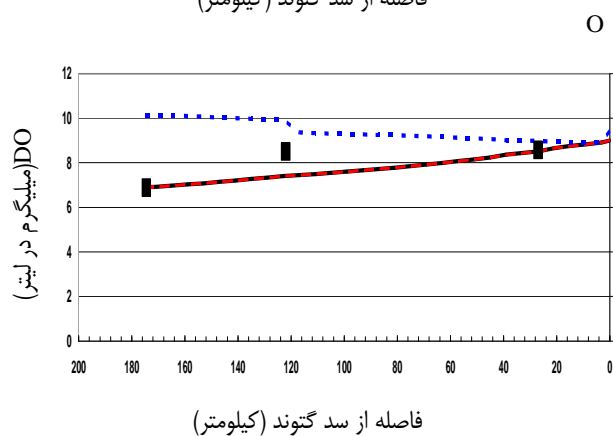
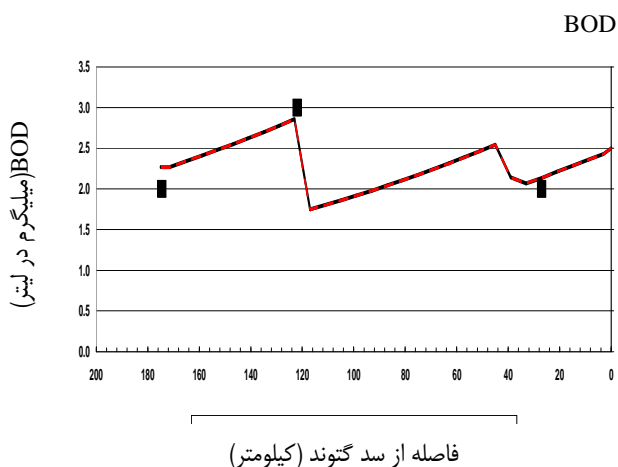
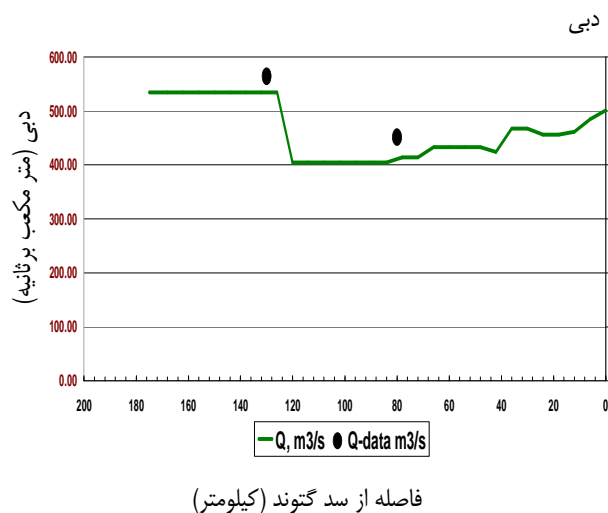
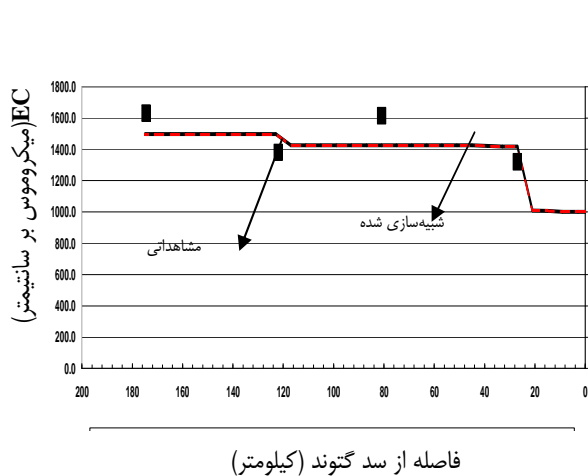




شکل ۶- موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری کیفیت آب و آبرسانی وزارت نیرو و سازمان حفاظت محیط‌زیست (Karamouz, 2004)

جدول ۲- متغیرهای مستقل و وابسته معادلات همبستگی چند متغیره

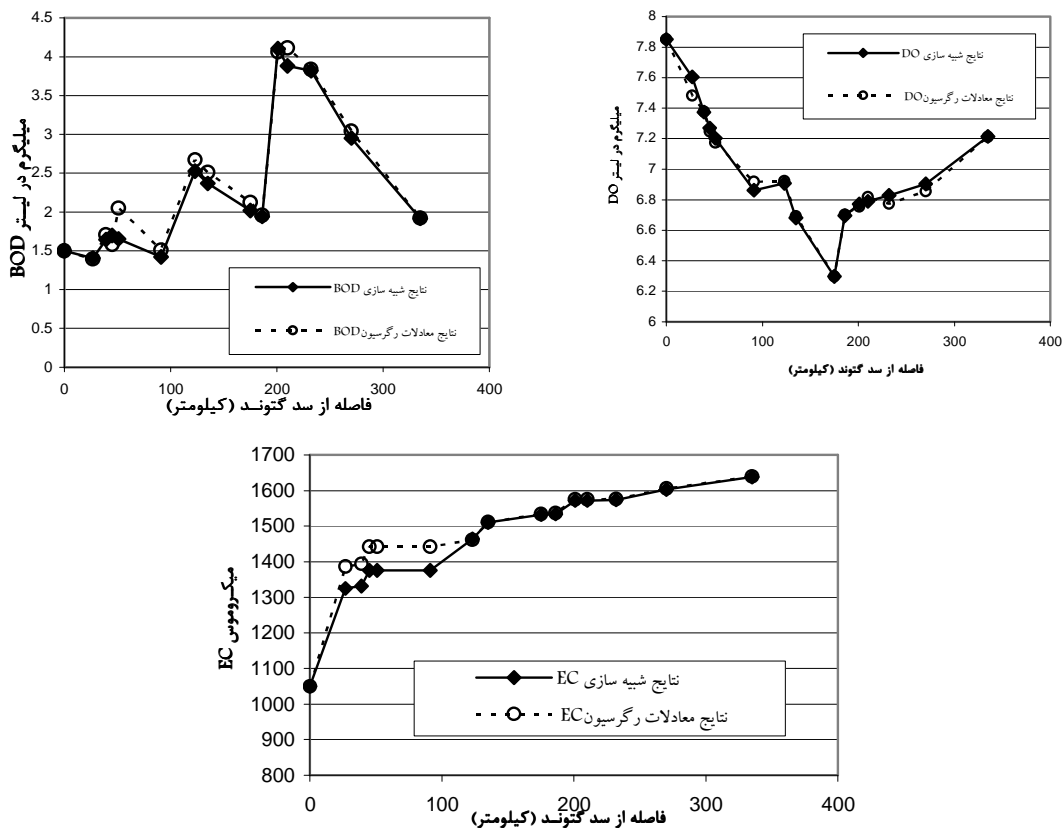
متغیر وابسته	متغیر مستقل
BOD نقاط انتخابی در طول رودخانه	DO و Q سراب (سد گتوند)
DO نقاط انتخابی در طول رودخانه	DO و Q سراب (سد گتوند)
EC نقاط انتخابی در طول رودخانه	EC و Q سراب سد گتوند
Q نقاط انتخابی در طول رودخانه	Q سراب (سد گتوند)



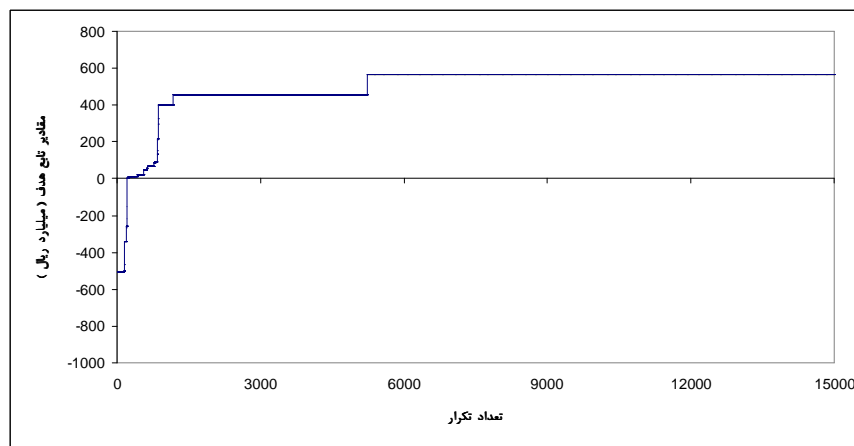
شکل ۷- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی دبی، EC، BOD و DO با استفاده از مدل شبیه‌سازی Qual2k در ماه فروردین در فاصله ایستگاه‌های گتوند- زرگان در رودخانه کارون

حالت استاندارد در سال اول، هشتم و نوزدهم دوره بهینه‌سازی، بیشترین میزان هزینه در یک سال را نشان می‌دهد. در جدول شماره ۳ به تفکیک بخش‌های مختلف به صورت درصد منافع و هزینه اجرای طرح انتقال آب در انتهای طول دوره بهینه‌سازی نشان داده شده است.

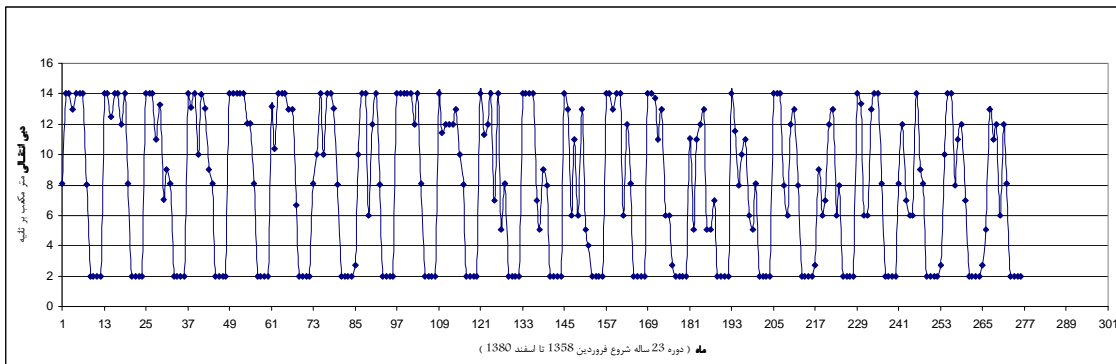
در شکل ۱۳ مقادیر منافع و هزینه سالانه بخش‌های مختلف در نظر گرفته شده در مدل، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان منافع مربوط به کشاورزی در دشت رفسنجان و بیشترین میزان هزینه مربوط به کاهش منافع تولید محصولات کشاورزی می‌باشد که به طور مداوم در همه سال‌ها مشاهده می‌شود و همچنین هزینه اضافی خارج شدن متغیرهای کیفی رودخانه از



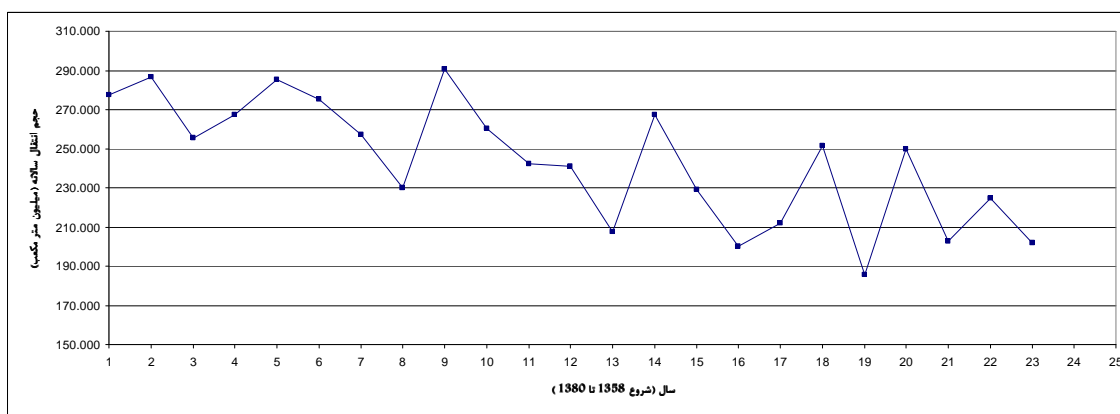
شکل ۸- نتایج شبیه سازی متغیرهای کیفی موردنظر در طول رودخانه با استفاده از مدل Qual2k و رابطه همبستگی خطی چندمتغیره



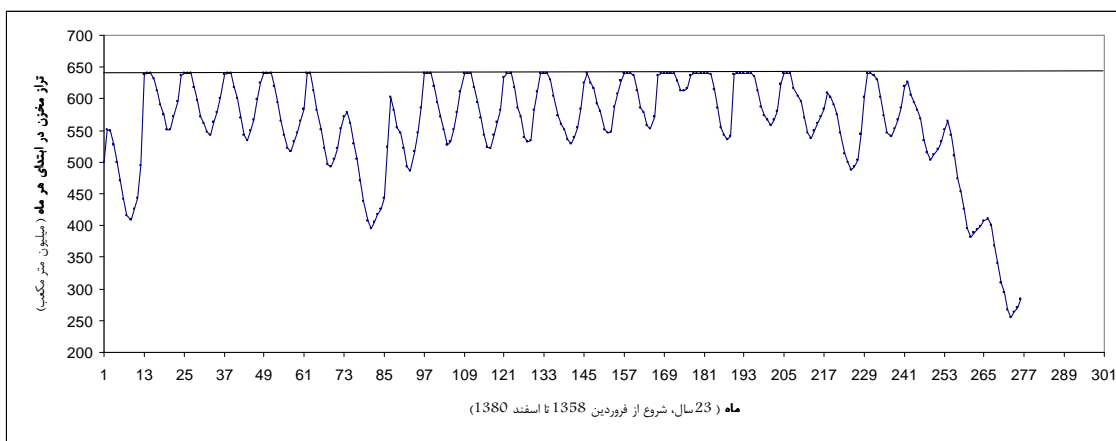
شکل ۹- مقادیر تابع هدف مدل بهینه سازی انتقال آب، خروجی مدل ژنتیک در تکرارهای متوالی



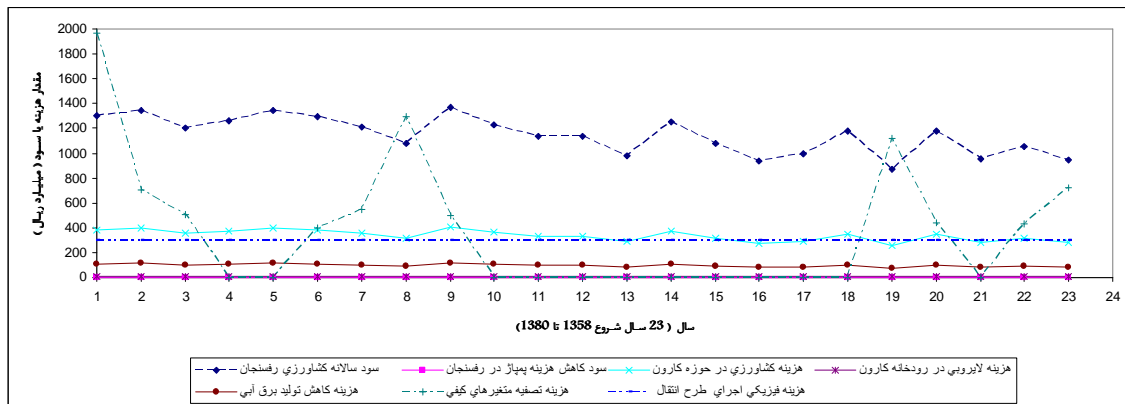
شکل ۱۰- دبی بهینه ماهانه انتقال در طول دوره بهینه‌سازی از تونل سولگان



شکل ۱۱- حجم بهینه سالانه انتقال آب در طرح انتقال آب در طول دوره بهینه‌سازی



شکل ۱۲- تراز مخزن سد سولگان در ابتدای هر ماه در طول دوره بهینه‌سازی



شکل ۱۳- نمایش مقدار منافع و هزینه سالانه اجرای دو طرح انتقال آب در هر بخش در طول دوره بهینه‌سازی

جدول ۳- درصد منافع و هزینه اجرای طرح انتقال آب به تفکیک بخش‌های مختلف در انتهای طول دوره بهینه سازی

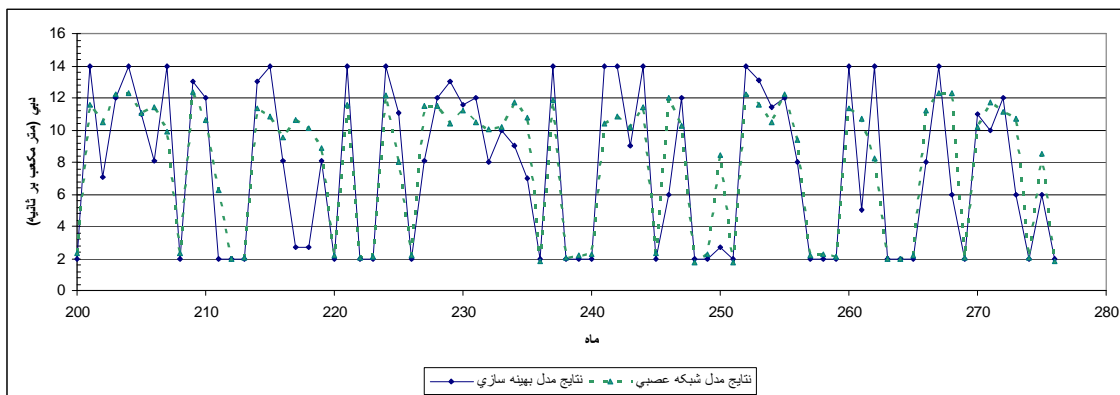
منافع سالانه کشاورزی رفسنجان	منافع کاهش هزینه پمپاژ در رفسنجان	هزینه کشاورزی در حوزه کارون	هزینه لایروبی در رودخانه کارون	هزینه کاهش تولید برق آبی	هزینه تصفیه متغیرهای کیفی	هزینه فیزیکی اجرای طرح انتقال
۹۹/۹۸	۰/۰۲	۳۰/۱۱	۰/۷۱	۸/۷۳	۳۳/۴۴	۲۷/۰۱

۶- تعیین سیاست‌های دبی انتقالی در طرح انتقال آب با استفاده از نتایج مدل بهینه‌سازی

از شبکه عصبی برای تعیین قانون بهره‌برداری از طرح انتقال آب استفاده شده است شبکه عصبی تدوین شده MLP^۲ شامل سه لایه (یک لایه مخفی) با ۸ نرون می‌باشد بدین ترتیب که ورودی مدل (لایه اول شبکه عصبی) شامل حجم آب ورودی به مخزن در ماه قبل، تراز آب مخزن در ابتدای ماه و نیاز آبی در آن ماه می‌باشد، خروجی مدل نیز دبی انتقالی در آن ماه (لایه سوم شبکه عصبی) می‌باشد. خطای نهایی شبکه ۱/۹ به دست آمد، تابع مورد استفاده در لایه میانی 'tansig' و لایه آخر 'purelin' می‌باشد. مشخصات مدل شبکه عصبی شامل وزن‌ها و مقادیر اریب لایه‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. تعداد ماه‌های مورد استفاده ۲۷۶ ماه می‌باشد که ۲۰۰ ماه برای آموزش شبکه و ۷۶ ماه برای آزمون مدل استفاده شده است. در شکل ۱۴ مقایسه نتایج حاصل از مدل بهینه سازی و نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی نشان داده شده است که نشان دهنده برازش مناسب نتایج شبکه عصبی با نتایج بهینه مدل انتقال آب می‌باشد. بنابراین برای تعیین دبی انتقالی بهینه می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد، مقادیر $b1, b2, w1, w2$ در جدول ۴ آمده است.

از دیگر نتایج اجرای طرح انتقال آب سولگان می‌توان به تأثیرات آن بر وضعیت آب زیرزمینی دشت رفسنجان اشاره کرد، دشت رفسنجان با وسعت ۱۲۴۲۱ کیلومتر مربع در نواحی مرکزی ایران واقع شده است و به دلیل واقع شدن در حاشیه کویر دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های خشک می‌باشد، متوسط بارندگی در این دشت ۹۰ میلیمتر در سال می‌باشد. آبخوان قرار گرفته در این دشت عمده منبع تأمین کننده آب شرب، کشاورزی و صنعت منطقه می‌باشد که ۹۷ درصد آب به مصرف کشاورزی می‌رسد. که به واسطه استحصال بیش از حد ظرفیت آبخوان، این آبخوان در دسته دشت‌های ممنوعه از نظر برداشت و توسعه قرار گرفته است. طی آمار برداری صورت گرفته، در منطقه ۱۳۰۸ حلقه چاه (۱۳۰۸ حلقه عمیق و ۷۳ حلقه چاه نیمه عمیق) به همراه ۱۵۳ رشته قنات در محدوده دشت وجود دارد که در ۱۴ سال اخیر بهره برداری به طور متوسط سطح آب زیرزمینی ۷۹/۵ سانتیمتر افت داشته است و چنین می‌توان برداشت کرد که اجرای این طرح اثرات مثبتی بر روی احیاء و کنترل وضعیت آبخوان موجود در دشت رفسنجان داشته باشد.

انتقال = $Purline (w2 \times (\tanh (w1 \times [P]) + b1) + b2$
 که در آن
 w1 : وزنه‌های بین لایه ورودی و مخفی
 w2 : وزن بین لایه مخفی و خروجی
 b1 : اریب لایه مخفی
 b2 : اریب لایه خروجی
 P : حجم آب ورودی به مخزن ماه قبل، تراز آب مخزن در ابتدای ماه، نیاز آبی در آن ماه



شکل ۱۴- مقایسه نتایج حاصل از مدل بهینه سازی و نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی

جدول ۴- مشخصات مدل شبکه عصبی تدوین شده

مشخصات مدل شبکه عصبی سه لایه (یک لایه مخفی)					
W1			w2	b1	b2
ورودی ۱: حجم آب ورودی به مخزن سد سولگان در ماه قبل	ورودی ۲: تراز آب مخزن سد سولگان در ابتدای ماه	ورودی ۳: نیاز آبی از طرح انتقال در همان ماه	خروجی دبی انتقال در آن ماه		
۲/۹۳	-۰/۳۹	-۱/۵۳	۱/۰۱	-۲/۸۳	۰/۸
۱/۳۲	۳/۶۵	۱/۴۱	۰/۵۳	-۲/۵۲	
۰/۱۵	۱/۹۶	۰/۷۴	۰/۵۳	-۰/۴۳	
۰/۵۸	۰/۳۰	-۳/۲۹	-۰/۷۸	-۱/۲۳	
-۲/۰۱	-۲/۵۷	۰/۴۱	۰/۳۵	-۰/۰۷	
-۲/۳۹	-۰/۲۰	۰/۲۲	-۰/۱۳	-۱/۷۳	
-۲/۰۷	-۱/۱۵	۱/۴۴	۰/۰۱	-۱/۳۷	
۰/۷۰	۴/۰۰	۱/۸۹	-۰/۶۶	-۲/۱۶	

۷- جمع بندی

منافع مربوط به کاهش هزینه پمپاژ می‌باشد. در قسمت هزینه‌ها بیشترین هزینه مربوط به هزینه‌های کاهش منافع کشاورزی در دشت‌های خوزستان و هزینه‌های محیط‌زیستی وارد شده به کیفیت آب رودخانه می‌باشد.

هرچند نتایج نشان دهنده سود آور بودن اجرای این طرح‌ها است این موضوع نیاز به برنامه‌ریزی و تدوین مدل کمی و کیفی جامعی دارد و بستگی به ارقام ریالی در نظر گرفته شده برای پارامترهای به کار رفته در تابع هدف (به عنوان مثال قیمت محصولات کشاورزی در رفسنجان و خوزستان و تغییرات قیمت در بازار) می‌باشد ولی متدولوژی به کار رفته روش مناسبی برای ارزیابی این قبیل طرح‌ها می‌باشد. باید در نظر داشت که اثرات مثبت و منفی رفاه و تأثیرات اجتماعی طرح‌های انتقال نیز بایستی ملحوظ شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Equity for all
- 2- Multi layer perceptron

۸- مراجع

آب منطقه‌ای کرمان (۱۳۸۵) « بررسی منابع و مصارف آب بخشی از استان کرمان در افق ۱۴۰۰ و ۱۴۲۵ ».

رابعی، ف، اسلامی، ح. و قادری، ک، (۱۳۸۳)، "بررسی اثرات انتقال آب از سرشاخه‌های کارون بر اعتمادپذیری و میزان تولید برق نیروگاه‌های برق‌آبی"، *سمینار انتقال بین حوزه‌های آب و نقش آن در توسعه پایدار کشور*.

ظهیری، ع. و کردستانی، س. (۱۳۸۳)، "تأثیرات طرح‌های انتقال آب بین حوزه‌های بر رسوب‌گذاری رودخانه کارون و طرح کشتیرانی"، *سمینار انتقال بین حوزه‌های آب و نقش آن در توسعه پایدار کشور*.

کارآموز، م، عراقی‌نژاد، ش. و احمدی، آ. (۱۳۸۳)، "چالش‌های موجود پیش‌روی مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استان خوزستان با تأکید بر انتقال آب بین حوزه‌های و توسعه پایدار"، *سمینار انتقال بین حوزه‌های آب و نقش آن در توسعه پایدار کشور*.

کارآموز، م. (۱۳۸۱)، "گزارش طرح تحقیقاتی طرح جامع کاهش آلودگی رودخانه کارون"، اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان خوزستان.

کارآموز، م. و مجاهدی، ع. (۱۳۸۵)، "شبیه‌سازی متغیرهای کیفی در بهره‌برداری از رودخانه کارون: بررسی تغییرات کیفی در انتقال

طرح انتقال آب سولگان به رفسنجان مطالعه موردی این مقاله می‌باشد. مدلی با تابع هدف اقتصادی برای بررسی طرح انتقال بین حوزه‌های آب در مطالعه موردی سولگان به رفسنجان تدوین گردید و روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای حل مدل در نظر گرفته شد. طول دوره بهینه سازی ۲۳ سال می‌باشد و متغیرهای تصمیم آن، دبی بهینه انتقال در هر ماه می‌باشد. قیده‌های مدل شامل ظرفیت سیستم انتقال (تونل‌ها)، آورده‌های ورودی و معادله پیوستگی مخزن سدهای انتقال و تخصیص نیاز ماهانه از این طرح‌ها در نظر گرفته شده است. منافع شامل تولید محصولات کشاورزی و کاهش هزینه پمپاژ در دشت رفسنجان در اثر انتقال آب می‌باشد. هزینه‌ها شامل کاهش تولید انرژی برق‌آبی در سدهای ساخته شده بر روی رودخانه کارون، افزایش هزینه لایروبی بستر رودخانه کارون در اثر انتقال آب، هزینه‌های فیزیکی اجرای طرح و هزینه تصفیه متغیرهای کیفی شاخص در اثر انتقال آب می‌باشد. به دلیل اینکه وجود یک مدل شبیه‌سازی کیفی در مدل بهینه‌سازی، زمان اجرای برنامه را بالا خواهد برد، از توابع رابطه همبستگی به منظور شبیه‌سازی کیفی رودخانه در مدل بهینه‌سازی استفاده شده است. این روابط از نتایج مدل شبیه‌سازی کیفی رودخانه که با استفاده از نرم‌افزار Qual2k انجام گرفته است، استخراج شده است. شبیه‌سازی کیفی رودخانه از سراب رودخانه کارون (سد گنوند) تا دارخوین انجام گرفته است. در نهایت از یک مدل شبکه عصبی برای تدوین سیاست‌های بهره‌برداری و تعیین دبی بهینه انتقال از سولگان به رفسنجان استفاده شده است. ورودی‌های این مدل شامل حجم آب ورودی به مخزن در ماه قبل، تراز آب مخزن در ابتدای ماه و نیاز آبی در آن ماه می‌باشد، خروجی مدل نیز دبی انتقال در آن ماه می‌باشد

بیشترین منافع و هزینه مربوط به تولید و یا کاهش تولید محصولات کشاورزی در مناطق مبدأ و مقصد انتقال می‌باشد و هزینه تصفیه متغیرهای کیفی رودخانه نیز در برخی سالها دارای مقدار قابل توجه می‌باشد. نتایج در بخش اثر بر روی کیفیت متغیرهای کیفی رودخانه کارون نشان از ناچیز بودن آن دارد و هزینه‌های بوجود آمده در مدل در طول دوره بهینه‌سازی در این بخش در شرایطی پیش آمده که متغیرهای کیفی رودخانه در آن سالها در حالت اولیه (بدون انتقال آب) رودخانه از حد استاندارد خارج بوده‌اند.

در بررسی منافع و هزینه مشخص گردید که بیشترین منافع مربوط به محصولات کشاورزی در دشت رفسنجان می‌باشد که شاید به خاطر ارزش افزوده زیاد آن نسبت به سایر بخش‌ها است و کمترین

- Feng, S. , Li, L. , Duan, Z. and Zhang, j. (2004), "Assessing the impacts of South-to-North Water Transfer Project with decision support systems ", *Elsevier*, DECSUP-11079; p. 15.
- Karamouz, M., (2004), "Design of Karoon Water Quality Monitoring System and Bid Evaluation Assistance", The World Bank and Iranian Department of Environmental Protection, p 66.
- Lund J. and Israel M. (1993), "Water transfer in Water Resource Systems", *J. of Water Resources Planning and Management*, vol. 121. No. 2. March/April.
- Lund J. and Israel, M. (1995), "Optimization of transfer in UrbanWater Supply Planning", *J. of Water Resources Planning and Management*, vol. 121, No. 1. January/February.
- Yevjevich, V. (2001), "Water Diversions and Interbasin Transfers", *International Water Resources Association Water International*, Volume 26, Number 3, pp. 342-348, September.
- آب کوهرنگ ۳ به زاینده‌رود"، هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- کارآموز، م.، مجاهدی، ع. و احمدی، ا. (۱۳۸۵)، "الگوریتم ارزیابی اقتصادی طرح‌های انتقال آب: مطالعه موردی"، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
- مهندسين مشاور جاماب (۱۳۷۸) « طرح جامع آب کشور حوزه آبریز دز و کارون » وزارت نیرو
- مینائی، س. و خاکسار، آ. (۱۳۸۳)، "مقایسه تولید محصول به ازاء هر واحد آب (CPD) در حوزه‌های آبریز کارون و زاینده‌رود"، سمینار انتقال بین حوزه‌ای آب و نقش آن در توسعه پایدار کشور.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۰ اسفند ۱۳۸۵
تاریخ اصلاح مقاله: ۳ شهریور ۱۳۸۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴ شهریور ۱۳۸۶