تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال نهم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۲
Volume 9, No. 3, Winter 2014 (IR-WRR)
۵۹-۷۴

تخصیص بار آلودگی در رودخانه زرجوب: کاربرد روش‌های گزینش اجتماعی بُردا و چانه‌زنی نَش

محمد بیژنی منظر[۱] و نجمه مهجوری مجد[۲*]

چکیده

هدف این مقاله، ارائه یک رویکرد جدید برای تخصیص بار آلودگی به منابع تخلیه‌کننده بار آلودگی در رودخانه زرجوب در استان گیلان است. در تخصیص بار آلودگی به منابع تخلیه‌کننده، علاوه بر رعایت استانداردهای زیست‌محیطی، کاهش هزینه‌های تصفیه بارهای آلودگی منابع آلاینده نیز مطرح می‌باشد. در این مقاله، با شبیه‌سازی فضای مذاکره بین تخلیه‌کنندگان بار آلودگی با کاربرد تئوری چانه‌زنی بازگشتی، تئوری تعادل نش، تابع چانه‌زنی نش و روش گزینش اجتماعی بردا، مطلوب‌ترین سیاست تخصیص بار آلودگی تدوین می‌شود. در این متدولوژی، چندین سناریوی تصفیه برای هر منبع تخلیه‌کننده بار آلودگی در نظر گرفته می‌شود به طوری که ترکیب این سناریوها برای منابع آلاینده، گزینه‌های مذاکره را تشکیل می‌دهند. هر یک از گزینه‌های مذاکره دربردارنده درصدهای تصفیه و به عبارتی، میزان بار آلودگی ورودی هر یک از تخلیه‌کننده‌گان بار آلودگی هستند. در صورتی که به ازای یک گزینه، غلظت متغیر کیفی شاخص در نقطه کنترل از استانداردهای کیفی رودخانه تخطی کند، جریمه‌ای به آن گزینه تخصیص می‌یابد که با استفاده از یک تابع جریمه محاسبه می‌شود. در ساختار پیشنهادی، ابتدا با استفاده از روش چانه‌زنی بازگشتی، یک مجموعه توافق از گزینه‌های مذاکره تشکیل می‌شود. سپس در حالت اول گزینه برتر با استفاده از قانون گزینش اجتماعی بردا و در حالت دوم تعادل نش بین اعضای مجموعه توافق بررسی شده، گزینه(ها)ی دارای تعادل نش انتخاب می‌شود(ند) و در صورت یکتا نبودن تعداد اعضای دارای تعادل نش، گزینه برتر با استفاده از تابع چانه‌زنی نش انتخاب می‌شود. در ادامه، گزینه انتخاب شده توسط این دو روش مقایسه شده، گزینه برتر با توجه به هزینه‌های تخصیص‌یافته به تخلیه‌کنندگان و مقدار تخطی شاخص کیفی از استاندارد، به عنوان مجوزهای تخلیه اولیه به هریک از مذاکره‌کنندگان اختصاص می‌یابد. در نهایت، به منظور کاهش هزینه‌های کل سیستم و در نتیجه، تحمیل هزینه‌های کمتر به تخلیه‌کنندگان بار آلودگی، تجارت مجوزهای تخلیه بین آنها انجام می‌گیرد. نتایج نشان‌دهنده کارایی روش پیشنهادی در یافتن گزینه‌ای است که بتواند مورد توافق نسبی حداکثری همه طرف‌های درگیر باشد و علاوه بر حفظ کیفیت رودخانه، هزینه‌های کل سیستم را به میزان قابل قبولی کاهش دهد.

کلمات کلیدی: چانه‌زنی بازگشتی، رودخانه زرجوب، تعادل نش، تابع چانه‌زنی نش، روش گزینش اجتماعی بردا

تاریخ دریافت مقاله: ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۲ مرداد ۱۳۹۲

۱- کارشناس ارشد منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول

Waste Load Allocation in Zarjub River: Application of Borda Scoring Social Choice and Nash Bargaining Methods

M. Bizhani-Manzar [1] and N. Mahjouri [2]*

Abstract

This papers aims at developing a new methodology for Waste Load Allocation (WLA) to the effluent dischargers in Zarjub river basin in Gilan Province, Iran. In waste load allocation problems, besides maintaining the river water quality, minimizing the effluent treatment costs should also be taken into account. The concept of Nash Bargaining Equilibrium and Borda scoring social choice Method are utilized for finding the best solution among a number of alternatives. Each alternative is a combination of treatment scenarios for the dischargers. These alternatives form a compromise set which are obtained using the Fallback Bargaining Procedure. The methodology introduced in this paper can be considered as a substitute for the methodology developed in Mahjouri and Bijani-Manzar (2013). To investigate the impact of each alternative on river water quality, the concentration of Dissolved Oxygen in a control point is determined using Transfer Coefficients which are derived from a water quality simulation model. A penalty function is used to calculate the amount of penalty cost assigned to the violations from the standards in the control point. In this research compromise sets were primarily selected among alternatives, using the Borda scoring social choice method. Then, all alternatives in the compromise set were investigated to find out whether they are Nash Equilibriums. If the number of Nash Equilibrium alternatives was more than unity, the Nash Bargaining Function was used for finding the best solution among them. The results of the two mentioned procedures were then compared to select the final alternative based on the allocated costs to the total dischargers and the amount of violation from the river water quality standards resulted from the selected alternative. In the final step, the Extended Trading Ratio System (ETRS) is utilized for exchanging the allocated amount of discharges to the dischargers which decreased the total allocated cost to dischargers. On the whole, the proposed methodology can find a final solution among a set of alternatives which in addition to maintaining the river water quality condition, can lessen the total treatment costs.

Keywords: Fallback Bargaining, Zarjub River, Nash Equilibrium, Nash Bargaining Function, Borda Scoring Social Choice Method

Received: May 8, 2013
Accepted: August 3, 2013

1- M. Sc. Graduate, Faculty of Civil Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran, Email: mahjouri@kntu.ac.ir

*- Corresponding Author

۱- مقدمه

رودخانه‌ها به عنوان یکی از مهمترین منابع تأمین‌کننده نیازهای آبی در بخش کشاورزی، صنعت و مصارف شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. در تعیین حداکثر بار آلودگی قابل تخلیه به رودخانه توسط منابع آلاینده، مسأله را می‌توان با در نظر گرفتن یک تخلیه‌کننده و با دیدگاه برنامه‌ریزی چند معیاره بررسی کرد که در این صورت، یک مسأله بهینه‌سازی با تابع هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های تصفیه تخلیه‌کنندگان بار آلودگی و قیود مربوط به حفظ شرایط کیفی رودخانه مطرح است. در این دیدگاه، جواب مسأله بهینه‌سازی اگر چه اهداف کیفی رودخانه را تأمین می‌کند ولی اولویت‌های تخلیه‌کنندگان بار آلودگی آلاینده به طور جداگانه در نظر گرفته نمی‌شود و در واقع، همه آنها به عنوان یک تصمیم‌گیرنده با اهداف مشترک در نظر گرفته می‌شوند.

در دیدگاه دیگر، با استفاده از تئوری بازی‌ها، مسأله تخصیص بار آلودگی[۱] به منابع آلاینده، به عنوان یک مسأله چند معیاره- چند تصمیم‌گیرنده مطرح می‌شود که در آن هر منبع آلاینده (بازیکن)، اهداف و مطلوبیت‌های خود را جستجو می‌کند و تقابل این اهداف می‌تواند به عرصه مناقشات تبدیل شود. روش چانه‌زنی بازگشتی[۲]، روشی جدید بر اساس تئوری بازی‌ها می‌باشد که در آن، هر یک از طرف‌های درگیر، گزینه‌های مذاکره را بر اساس اولویت‌های خود مرتب نموده، فرآیند چانه‌زنی بین آنها شکل می‌گیرد. در این فرآیند، بر اساس قوانین ریاضی، یک مجموعه توافق از گزینه‌ها تشکیل می‌شود که هریک از اعضای این مجموعه می‌تواند به عنوان نتیجه نهایی انتخاب شوند. همچنین، انتظار می‌رود در این روش حداقل رضایت‌مندی طرفین درگیر حداکثر شود.

کاربرد روش چانه‌زنی بازگشتی در حل مسائل مدیریت منابع آب بسیار محدود بوده است. از جمله این کاربردها می‌توان به مقاله Brams and Kilgour (2001) اشاره کرد. آنها روش چانه‌زنی بازگشتی را برای رسیدن به توافق جمعی در مناقشه سال ۱۹۵۴ بین ۳۴ کشور جهان در مورد آلودگی‌های نفتی پیشنهاد کردند. با اعمال این روش، شش نتیجه برای توافق جمعی بدست آمد که در نهایت برای رسیدن به نتیجه واحد، قانون رأی تاییدی[۳] از قوانین گزینش اجتماعی را به این شش گزینه اعمال کردند.

Sheikhmohammady and Madani (2008 a) در مقاله‌ای، تفکیک دریای خزر را به صورت مذاکره‌ای شبیه‌سازی نمودند که مذاکره‌کنندگان با اهمیت یا وزن مساوی در آن به مذاکره در مورد اولویت‌های خود می‌پرداختند. گزینه‌های تصمیم، گزینه‌های پیشنهادی در طی مذاکرات این کشورها با هم بودند. در این مقاله از روش چانه‌زنی بازگشتی برای شبیه‌سازی این مذاکره و تخمین نتیجه آن استفاده شده است.

Sheikhmohammady and Madani (2008 b) در مقاله‌ای دیگر، به طرح راهبردهایی به عنوان گزینه‌های تصمیم توسط مذاکره‌کنندگان در مناقشه‌های دریای خزر پرداختند و آنها را مورد ارزیابی قرار دادند و با اعمال قوانین گزینش اجتماعی، گزینه بهینه را تعیین کردند. همچنین، Madani et al., 2011 در مقاله‌ای، به حل مناقشه هیدرو- زیست محیطی موجود در دلتای ساکرامونتو سن- خواکین با استفاده از روش چانه‌زنی بازگشتی و قوانین گزینش مدنی، در شرایط قطعیت و عدم قطعیت پرداختند.

Mahjouri and Bizhani-Manzar (2013) روشی برای مدیریت کیفی رودخانه‌ها با در نظر گرفتن اولویت‌های منابع اصلی تخلیه‌کننده آلودگی به صورت جداگانه با استفاده از مفاهیم چانه‌زنی بازگشتی تا توافق آرا و با احتساب بن بست و روش گزینش اجتماعی کاندورست توسعه دادند. در این روش، گزینه برتر از میان اعضای مجموعه توافق با استفاده از روش گزینش اجتماعی کاندورست انتخاب شد.

در زمینه کاربرد روشهای گزینش اجتماعی در حل مناقشات آب می‌توان به مقاله d'Angelo et al. (1998) اشاره کرد. ایشان یک مسأله چند معیاره مدیریت منابع آب و جنگل‌داری در ایالت آریزونای امریکا را با اعمال چند قانون متداول گزینش اجتماعی از جمله قانون بُردا[۴]، سیستم هیر[۵] و قانون بیشترین مجموع[۶] حل کردند. ایشان استفاده از این قوانین را در شرایطی که گزینه‌های مختلف تصمیم به صورت همزمان توسط تصمیم‌گیرندگان رتبه‌بندی می‌شوند، مفید معرفی کردند، زیرا در این شرایط ارزیابی عددی گزینه‌ها توسط معیارها و محاسبه دقیق تابع هدف مورد نیاز نمی‌باشد.

Srdjevic (2006) با استفاده از قوانین گزینش اجتماعی و تحلیل سلسله مراتبی[۷] به حل مسأله مدیریت منابع آب در مورد رودخانه سانفرانسیسکو در برزیل پرداخت. وی این مسأله را به دو صورت حل کرد. در روش اول، با اعمال تحلیل سلسله مراتبی، به رتبه‌بندی معیارهای حاکم پرداخته، راه‌حل‌ها را شناسایی کرد. در روش حل بعدی با درنظر گرفتن آنکه افراد تصمیم‌گیرنده در روند حل مسأله به تشکیل زیرگروه بپردازند، ابتدا روش تحلیل سلسله مراتبی را به زیرگروه‌های موجود اعمال نمود. سپس، جهت ترکیب ارجحیت‌ها در

زیرگروه‌ها، به اعمال قوانین گزینش اجتماعی بیشترین مجموع، بردا، کاندورست، هیر و رأی تأییدی پرداخت. نتیجه این مطالعه، توفیق روش دوم بود که ترکیبی از تحلیل سلسله مراتبی و قوانین گزینش اجتماعی می‌باشد. وی عنوان کرد که کاربرد روش دوم در مسائل منابع آب انعطاف پذیرتر بوده، سازگاری بیشتری با شرایط واقعی تصمیم گیریهای منابع آب دارد. در سال‌های اخیر، تحقیقات بسیاری در زمینه کاربرد روشهای مختلف تئوری بازی‌ها و تعادل نش در حل مسائل مدیریت منابع آب انجام شده است که از میان آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

Bazargan-Lari et al. (2009) و Kerachian et al. (2010) از تئوری بازی‌ها به منظور مدیریت کیفی آب رودخانه‌ها استفاده کردند. Mahjouri and Ardestani (2010) با استفاده از تئوری بازی‌ها مدل‌هایی را برای مسأله انتقال آب بین حوضه‌ای با درنظر گرفتن جنبه‌های زیست‌محیطی توسعه دادند. همچنین، Mahjouri and Ardestani (2011) کاربرد بازی‌های همکارانه و غیر همکارانه در مدیریت کمی و کیفی منابع آب در مقیاس بزرگ را بررسی کردند. Sadegh et al. (2010) مدل‌هایی را بر اساس روش‌های تئوری‌بازی‌ها برای مسأله انتقال آب بین حوضه‌ای در ایران توسعه دادند. Wei et al. (2010) مدل‌هایی را بر اساس روشهای تئوری بازی‌ها برای حل مسأله تخصیص آب و بحث آلودگی موجود در پروژه انتقال آب از جنوب به شمال چین توسعه دادند.

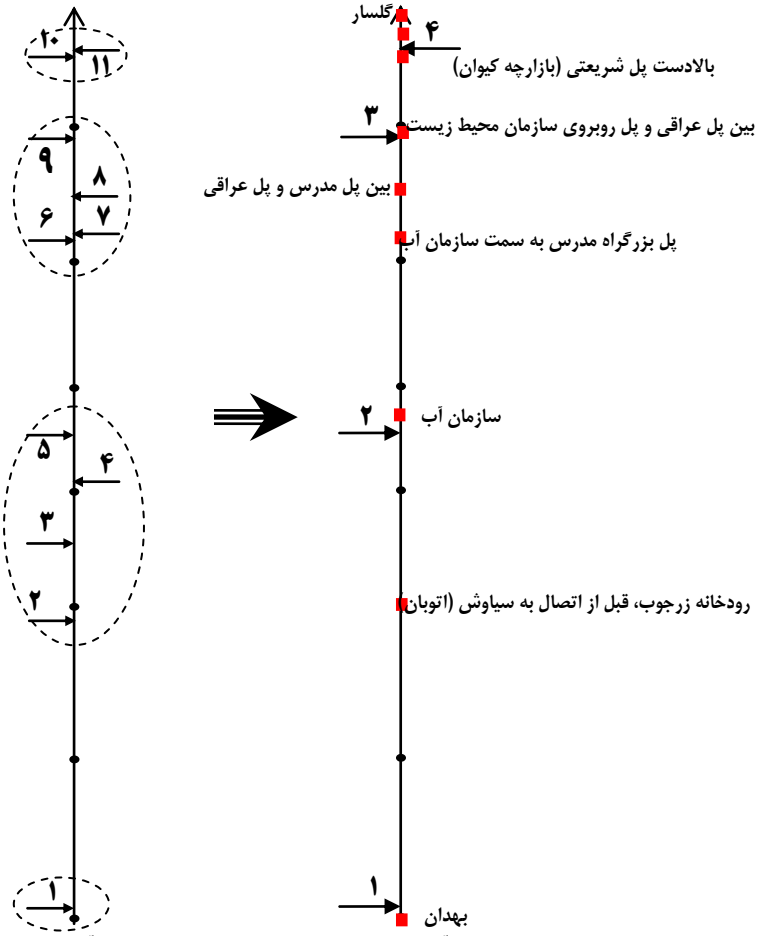
متدولوژی ارائه شده در مقاله حاضر را می‌توان یک متدولوژی جایگزین برای رویکرد ارائه شده توسط Mahjouri and Bijani-Manzar (2013) در نظر گرفت. در این مقاله، الگویی برای تخصیص بار آلودگی به منابع آلاینده در رودخانه زرجوب در شمال ایران که شدیداً دچار افت کیفیت آب می‌باشد، ارائه می‌شود. در تدوین این الگو، برترین گزینه‌های تصفیه بار آلودگی توسط تخلیه‌کنندگان توسط تابع چانه‌زنی نش[8] و قانون گزینش بردا به دست می‌آیند. سپس، گزینه‌های انتخاب شده توسط دو روش مقایسه می‌شوند. گزینه برتر با توجه به هزینه‌های تخصیص یافته به تخلیه‌کنندگان و مقدار تخطی شاخص کیفی از استاندارد، به عنوان مجوزهای تخلیه اولیه به هریک از مذاکره‌کنندگان تخصیص می‌یابد. سپس، از روش نسبت- تجارت توسعه‌یافته[9] به منظور داد و ستد مجوزهای تخلیه بین تخلیه‌کنندگان بار آلودگی و در نتیجه، کاهش مجموع هزینه‌های تصفیه و در نتیجه، افزایش مطلوبیت تخلیه‌کنندگان استفاده می‌شود.

۲- مطالعه موردی

در این مقاله، الگویی برای تخصیص بار آلودگی ورودی به منابع آلاینده در رودخانه زرجوب در استان گیلان تدوین شده است. به این منظور، بخشی از رودخانه زرجوب به طول ۲۴ کیلومتر در نظر گرفته شده است که از شهر رشت و حومه آن عبور و در جهت جنوب به شمال حرکت می‌کند و در نهایت، به دریای خزر می‌ریزد. شکل ۱ موقعیت شماتیکی از رودخانه زرجوب و مهمترین منابع آلاینده آن در محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. رودخانه زرجوب از جمله رودخانه‌هایی است که بیشترین بار آلودگی را به تالاب انزلی و نهایتاً به دریای خزر انتقال می‌دهد. این رودخانه توسط سازمان حفاظت محیط زیست به عنوان یکی از رودخانه‌های بسیار آلوده کشور طبقه‌بندی شده است. رودخانه زرجوب در مسیر حرکت خود پذیرای فاضلاب ۱۰ بیمارستان، ۵۲ گرمابه و ۳۸ واحد صنعتی و کارخانه‌های متعدد و پساب‌های اراضی کشاورزی است. همچنین، ۶ شهر، ۵ بخش، ۱۸ دهستان و بیش از ۳۰۰ روستا در حوضه این رودخانه وجود دارد. بخشی از فاضلاب صنعتی کارخانه‌های موجود در حوضه آبریز و تمامی فاضلاب‌های شهری و روستایی بدون تصفیه به رودخانه تخلیه و باعث آلودگی شدید این رودخانه می‌شوند به نحوی که گاه کیفیت آب این رودخانه را به فاضلاب شهری شبیه کرده‌اند.

رودخانه زرجوب مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده آب مورد نیاز کشاورزی در منطقه است و با افت کیفیت آب رودخانه، تأمین نیاز آب اراضی کشاورزی که در جوار رودخانه قرار دارند، به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این رودخانه در صورت آلوده نبودن با داشتن آب شیرین و بستر سنگی رودخانه در بالادست، محیط مناسبی برای تکثیر و پرورش ماهیان به شمار می‌رود و می‌تواند دارای اهمیت اقتصادی از دیدگاه ماهیگیری تجاری و ورزشی داشته باشد، در حالی که آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های شهری و صنعتی در کنار رودخانه زرجوب که به تالاب انزلی می‌ریزد، منجر به نابودی صدها گونه گیاهی و جانوری در اکوسیستم کم‌نظیر تالاب انزلی شده است. تغییر رنگ ایجاد شده در محل ورود به دریای خزر، که ناشی از ورود آب آلوده است، به وضوح در تصاویر ماهواره‌ای قابل رویت است.

بر اساس بررسی‌های کتابخانه‌ای و میدانی انجام شده در حوضه رودخانه زرجوب، عمده‌ترین منابع آلاینده در حوضه رودخانه زرجوب، فاضلاب‌های شهری هستند که از طریق سیستم‌های محلی جمع‌آوری فاضلاب وارد رودخانه زرجوب می‌شوند. با توجه به افزایش جمعیت و رشد شهرنشینی در محدوده طرح، فاضلاب شهری بیش از ۹۰٪ بار آلودگی رودخانه را تشکیل می‌دهند.



اعداد سمت راست شکل موقعیت مکانی گروه‌های اصلی تخلیه کننده بار آلودگی به رودخانه و اعداد سمت چپ کلیه منابع آلاینده در محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.

شکل ۱- شماتیک موقعیت بازه‌ها و منابع آلاینده (کراچیان (۱۳۹۱) و Mahjouri and Bizhani-Manzar (2013))

در این مقاله، از نمونه‌برداری‌های انجام شده توسط سازمان محیط زیست از متغیرهای کمی و کیفی رودخانه در سال ۱۳۸۴ و در زمانی که رودخانه در بحرانی‌ترین وضعیت خود از لحاظ کیفی قرار داشته، استفاده شده است. بر اساس بازدیدهای میدانی انجام شده در طول رودخانه زرجوب در محدوده مورد مطالعه، ۱۱ محل اصلی ورود بار آلودگی به رودخانه شناسایی شده است که موقعیت و مشخصات کمی و کیفی بار آلودگی آن‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین در جدول ۱، کیفیت منابع آلودگی ورودی به رودخانه زرجوب در محدوده مورد مطالعه ارائه شده است.

۳- ساختار روش پیشنهادی

فلوچارت روش پیشنهادی در شکل ۲ ارائه شده است. در ابتدا، مشخصات منابع آلاینده و کمیت و کیفیت بار آلودگی تخلیه شده به رودخانه توسط تخلیه کنندگان و همچنین، مشخصات جریان در بالادست رودخانه و کیفیت و کمیت آن تعیین می‌شوند. هزینه تصفیه بارهای آلودگی تخلیه‌کنندگان شامل هزینه احداث تصفیه‌خانه و هزینه بهره‌برداری و نگهداری از آن می‌باشد. عمده‌ترین منابع آلاینده در محدوده مطالعاتی، فاضلاب‌های شهری می‌باشند، هزینه تصفیه بر اساس هزینه تصفیه فاضلاب شهری ورودی به رودخانه و با استفاده از نتایج تحلیل‌های انجام شده توسط کراچیان (۱۳۹۱) تعیین شده است. از آنجا که هزینه ساخت تصفیه‌خانه معمولاً توسط دولت تأمین می‌شود، تنها از هزینه‌های بهره‌برداری سالانه به منظور تعیین هزینه سناریوهای تصفیه و اولویت‌بندی سناریوهای تصفیه توسط منابع اصلی تخلیه‌کننده بار آلودگی استفاده شده است. از آنجا که بارهای آلودگی رودخانه زرجوب عمدتاً از نوع فاضلاب شهری هستند و غلظت متغیرهای کیفی BOD_5[۱۰] و غلظت باکتری‌های کلی‌فرم و برخی پاتوژن‌ها در این رودخانه از استانداردهای کیفی رودخانه

تخطی می‌کنند، در این مقاله، متغیر کیفی BOD_5 به عنوان متغیرهای کیفی شاخص بارهای آلودگی در تصفیه در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که احداث تصفیه‌خانه فاضلاب برای هر منبع آلاینده امری غیر اقتصادی است، ۱۱ منبع آلودگی نقطه‌ای رودخانه که از نوع فاضلاب شهری می‌باشند، به ۴ گروه اصلی تقسیم می‌شوند تا فاضلاب هر گروه به طور جداگانه به یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری منتقل شود. موقعیت تخلیه‌کنندگان بار آلودگی، به صورت شماتیک، در شکل ۱ نشان داده شده است.

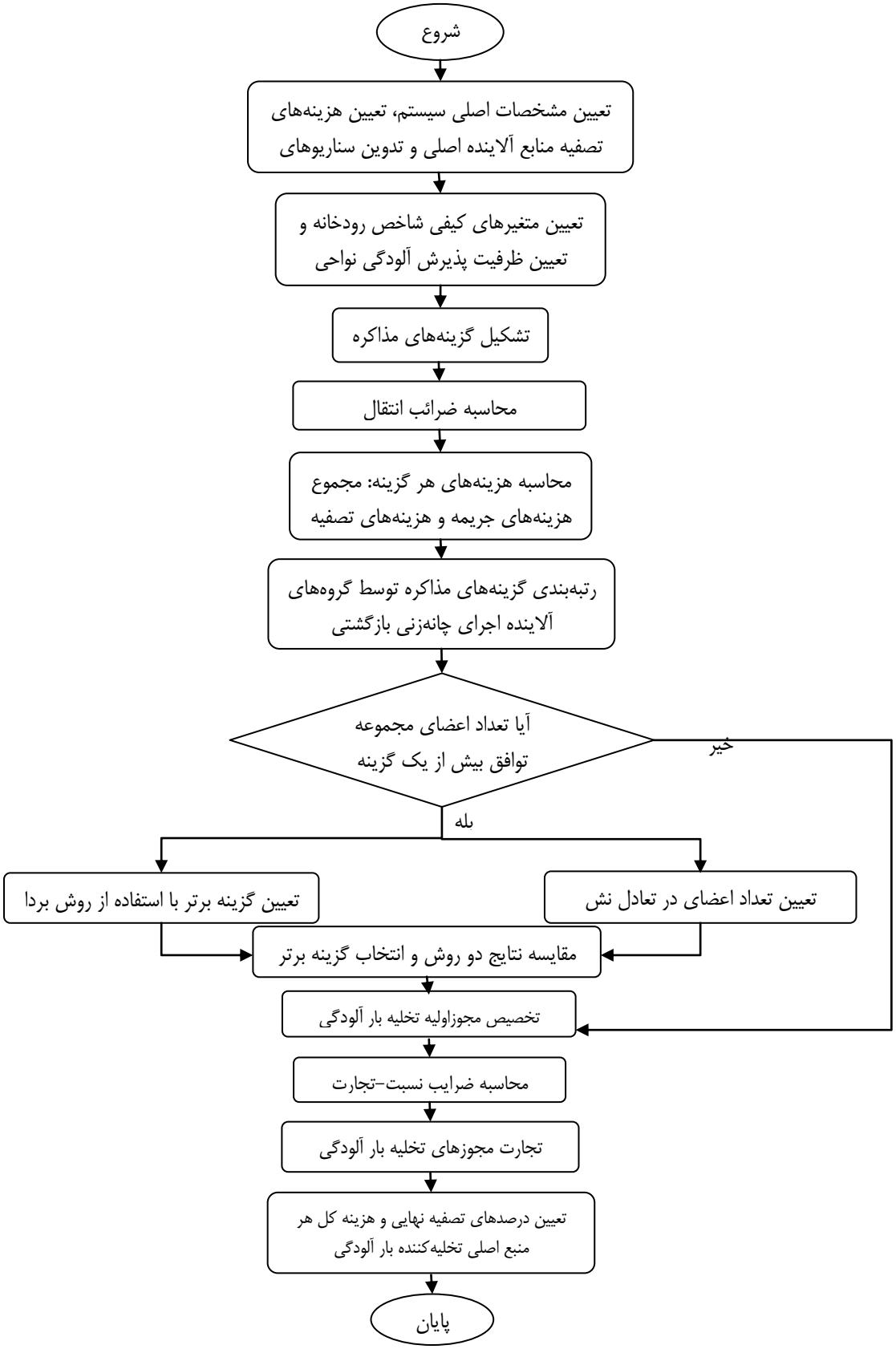
در این مقاله، برای تصفیه هر یک از منابع آلودگی اصلی، ۶ سناریو در نظر گرفته شده است که این سناریوها ترکیبی از حالت‌های مربوط به تصفیه کامل و تصفیه مقدماتی فاضلاب شهری می‌باشند و شامل تصفیه کامل (تصفیه اولیه و ثانویه) ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد فاضلاب‌های ورودی هستند. به عنوان مثال، در حالتی که ۴۰ درصد تصفیه کامل فاضلاب انجام می‌شود، ۶۰ درصد از فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه تحت تصفیه مقدماتی شامل پیش تصفیه، ته‌نشینی اولیه و کلر زنی قرار می‌گیرد و در نهایت، دوباره به فاضلابی که به طور کامل تصفیه شده است، می‌پیوندد و به رودخانه می‌ریزد. به عبارتی، در تصفیه مقدماتی، باکتری‌ها، عوامل بیماری‌زا و برخی مواد جامد موجود در فاضلاب حذف می‌شوند و BOD این بخش از فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه نیز به میزان کمی کاهش می‌یابد.

در ادامه، با توجه به سناریوهای تصفیه تعیین شده برای هریک از گروه‌های آلاینده، از تشکیل کلیه حالات ترکیبی این سناریوها، گزینه‌های مذاکره ایجاد می‌شوند. به عنوان مثال، گزینه ۱۴۵۲ گزینه‌ای است که شامل سناریوهای ۱، ۴، ۵ و ۲ به ترتیب، برای تخلیه‌کنندگان ۱ تا ۴ است. به این ترتیب، کلیه گزینه‌های ممکن مذاکره تشکیل می‌شوند. به این ترتیب، با در نظر گرفتن ۴ گروه تخلیه‌کننده و ۶ سناریوی تصفیه برای هر گروه، ۱۲۹۶ (۶×۶×۶×۶) گزینه برای مذاکره وجود خواهد داشت.

از آنجایی که انتخاب هر یک از گزینه‌های مذاکره ممکن است منجر به میزانی تخطی از استانداردهای کیفی رودخانه شود، متناسب با میزان تخطی به وجود آمده، هزینه‌ای به عنوان جریمه تخطی از استانداردهای کیفی در نظر گرفته می‌شود که به گزینه مورد نظر اختصاص می‌یابد. در این مقاله فرض بر این است که هزینه جریمه تخصیص‌یافته به هر گزینه به طور مساوی بین تخلیه‌کنندگان بار آلودگی تقسیم می‌شود. در این مقاله، میزان جریمه با توجه به غلظت متغیر کیفی شاخص در نقطه کنترلی در پایین‌دست تخلیه‌کنندگان بار آلودگی تعیین می‌شود. به منظور بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه به ازای گزینه‌های مختلف تصفیه یا مقادیر بار آلودگی تخلیه شده به رودخانه، متغیر کیفی DO[11] به عنوان متغیر کیفی شاخص برای کنترل کیفیت آب رودخانه در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱- کیفیت منابع آلودگی ورودی به رودخانه زرجوب در محدوده مورد مطالعه (کراچیان، ۱۳۹۱)

منبع آلاینده	فاصله از بالادست (m)	دبی (m^3/s)	درجه حرارت	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	کلی فرم مدفوعی (n/100 ml)	ازت آلی (mg/l)	NH_3 (mg/l)	NO^-_2 (mg/l)	NO^-_3 (mg/l)	فسفر آلی (mg/l)	فسفر محلول (mg/l)
۱	۴۳۶	۰/۰۸۳	۱۶	۸	۱۰۰	۳۰۰۰۰۰۰۰	۱۳۰	۵	۰/۷	۲۰	۰/۴	۰/۰۴
۲	۷۵۰۰	۰/۲۹۱	۲۴	۷/۳۲	۸	۵۳۰۰۰	۱۳/۵۳۳	۰/۳۹	۰/۰۳	۱/۷۲۲	۰/۰۶۱	۰/۰۴
۳	۱۰۳۵۰	۰/۰۵	۱۶	۳	۱۳۰	۳۰۰۰۰۰۰۰	۲۰۰	۱۰	۱/۵	۰/۵	۲	۰/۰۵
۴	۱۱۲۵۱	۰/۰۵	۱۶	۳	۱۲۰	۳۰۰۰۰۰۰۰	۲۲۰	۱۰	۲	۰/۵	۲	۰/۰۵
۵	۱۳۴۰۰	۰/۰۲۳	۱۶	۳	۱۸۰	۳۰۰۰۰۰۰۰	۲۵۰	۱۰	۳	۱	۴	۰/۰۵
۶	۱۸۲۰۰	۰/۰۵	۱۶	۵	۹۰	۲۴۰۰۰۰۰۰	۱۲۰	۲۵	۱/۵	۱	۴	۰/۱
۷	۱۸۴۰۰	۰/۰۵	۱۶	۰/۱	۱۱۰	۲۴۰۰۰۰۰۰	۳۰	۴۰	۱/۸	۱	۲	۰/۱
۸	۱۹۲۰۰	۰/۰۵	۱۶	۰/۱	۹۰	۲۴۰۰۰۰۰۰	۵۰	۵۰	۲	۱	۲	۰/۱
۹	۲۱۰۰۰	۰/۰۶۷	۱۶	۰/۱	۱۰۰	۳۰۰۰۰۰۰۰	۵۰	۵۰	۲	۱	۴	۰/۱
۱۰	۲۳۷۰۰	۰/۰۷	۱۶	۰/۱	۱۸۰	۲۴۰۰۰۰۰۰	۱۰۰	۲۰	۰/۸	۱	۱	۰/۲
۱۱	۲۴۰۰۰	۰/۰۷۹	۱۶	۰/۱	۱۸۰	۲۴۰۰۰۰۰۰	۱۰۰	۳۰	۰/۸	۱	۰/۵	۰/۲



شکل ۲- فلوچارت مدل پیشنهادی

با توجه به اینکه بارهای آلودگی از نوع فاضلاب شهری هستند و متغیر کیفی BOD در تصفیه این بارهای آلودگی مورد نظر است، در نظر گرفتن تغییرات اکسیژن محلول در پایین‌دست به خوبی می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات غلظت متغیر کیفی BOD در بالادست باشد. برای محاسبه غلظت متغیر کیفی شاخص DO در نقطه کنترل، از ضرایب انتقال[۱۲] استفاده می‌شود (کراچیان، ۱۳۹۱). ضرایب انتقال تعیین‌کننده میزان تأثیر تغییرات مقادیر بارهای آلودگی ورودی به رودخانه در نقاط تخلیه بر روی غلظت متغیر کیفی شاخص در نقاطی در پایین‌دست نقطه تخلیه بار آلودگی هستند ضریب انتقال بیانگر میزان تغییر غلظت شاخص کنترل کیفی DO در یک نقطه می‌باشد که در اثر افزایش یک کیلوگرم بار آلودگی BOD توسط تخلیه‌کننده‌ای که در بالادست واقع شده است، ایجاد می‌گردد. به منظور محاسبه این ضرایب، لازم است از یک مدل شبیه‌سازی کیفی رودخانه استفاده شود. شبیه‌سازی غلظت BOD و DO در رودخانه زرجوب با استفاده از مدل شبیه‌سازی Qual2k توسط ترابیان (۱۳۸۴) انجام شده است. مقادیر ضرایب انتقال محاسبه شده در مقاله Mahjour and Bizhani-Manzar (2013) ارائه شده است.

برای محاسبه جریمه تخطی از استانداردهای کیفی در نقطه کنترل پایین‌دست چهار تخلیه‌کننده بار آلودگی اصلی در رودخانه زرجوب، از تابع جریمه ارائه شده توسط Abed-Elmdoust and Kerachian (2012) استفاده می‌شود:

$$P = \begin{cases} 1.56\,x & 0 \le x < 3.5 \\ 0.8\,y - 12.73 & x = 3.5 \end{cases} \quad (۱)$$

که در آن، P مقدار جریمه برحسب هزار دلار، x و y به ترتیب مقادیر تخطی DO و غلظت BOD در نقطه کنترل کیفیت بر حسب میلی گرم بر لیتر می‌باشند. با توجه به تابع جریمه، در مواردی که مقدار DO در پایین دست کمتر از حداقل مورد پذیرش باشند، جریمه‌ای به گزینه مورد نظر داده خواهد شد. در تدوین این توابع جریمه، مقدار جریمه تخصیص یافته به تخلیه‌کنندگان، برابر با هزینه اضافی است که بابت تصفیه بیشتر برای رسیدن به مقدار استاندارد لازم است پرداخت شود. ذکر این نکته ضروری است که در مواردی مقدار DO در نقطه کنترل برابر با صفر می‌شود. در این موارد، غلظت DO نمی‌تواند پایه‌ای برای محاسبه مقدار جریمه باشد و لازم است با در نظر گرفتن غلظت BOD تابع جریمه را محاسبه کرد. بنابراین، در شرایطی که غلظت DO بین ۰ و ۳/۵ (مقدار استاندارد) باشد، مقدار جریمه بر اساس غلظت DO محاسبه می‌شود و در شرایطی که مقدار DO صفر باشد، مقدار جریمه بر اساس غلظت BOD محاسبه می‌شود.

در روش چانه‌زنی بازگشتی، هر یک از بازیکنان یا مذاکره‌کنندگان (گروه‌های تخلیه‌کننده بار آلودگی)، گزینه‌های مذاکره (گزینه‌های تصفیه) را بر اساس اولویت‌های خود به صورت نزولی از گزینه ارجح تا پست‌ترین گزینه مرتب می‌کند. به گونه‌ای که گزینه‌ای که کمترین هزینه کل (مجموع هزینه تصفیه فاضلاب و هزینه جریمه تخصیص یافته در نتیجه تخطی از استانداردهای کیفی رودخانه) را برای آن تخلیه‌کننده در بردارد، به عنوان بهترین گزینه باشد و سایر گزینه‌ها به ترتیب از گزینه دارای کمترین هزینه تا گزینه دارای بیشترین هزینه مرتب شوند. پس از اولویت‌بندی گزینه‌های مذاکره، ماتریس چانه‌زنی تشکیل خواهد شد. اعداد سطرهای این ماتریس برابر با تعداد مذاکره‌کنندگان و تعداد ستون‌ها برابر گزینه‌های مذاکره می‌باشد.

در روش چانه‌زنی تا اتفاق آراء، از آنجایی که اولین اولویت مذاکره‌کنندگان برابر نیست، مذاکره‌کنندگان حاضرند تا رسیدن به یک گزینه که همه روی آن توافق نسبی دارند، از اولویت‌های خود عقب نشینی کنند. روش چانه‌زنی بازگشتی با شبیه‌سازی روند مذاکره به پیش‌بینی محتمل‌ترین نتیجه برای آن می‌پردازد. فرآیند چانه‌زنی بین چهار مذاکره‌کننده تخلیه‌کننده بار آلودگی تا جایی ادامه پیدا می‌کند که همه مذاکره‌کنندگان بر روی یک گزینه به توافق برسند. نتیجه‌ای که توسط این روش برای مذاکرات پیش‌بینی می‌شود، غالباً در رتبه‌های میانی ماتریس ارجحیت هر مذاکره‌کننده قرار می‌گیرد. از این رو حداقل رضایت مذاکره‌کنندگان حداکثر می‌شود (Brams and Kilgour (2001)).

Brams and Kilgour (2001) عمق توافق[۱۳] را در یک فرآیند مذاکره به عنوان حداکثر مرتبه‌ای ازماتریس چانه‌زنی که در آن توافق حاصل می‌شود، بیان کردند و آن را به صورت زیر محاسبه نمودند:

$$d^* \le \left[k - \frac{k}{n} + 1\right] \quad (۲)$$

که در آن، k تعداد گزینه‌های مذاکره و n تعداد مذاکره‌کنندگان می‌باشد. با توجه به عمق توافق تعیین شده، گزینه‌های مذاکره مشترک بین مذاکره‌کنندگان در مرتبه‌های قبل از عمق توافق، به عنوان اعضای مجموعه توافق[۱۴] در چانه‌زنی بازگشتی معرفی می‌شوند. برای تشریح موضوع، فرض کنید در یک مسأله چانه‌زنی بازگشتی، دو مذاکره‌کننده با گزینه‌های مذاکره به صورت $k = \{a, b, c, d\}$ موجود باشند.

بنابراین، چهار گزینه برای مذاکره وجود دارد ($k = 4$). همچنین، فرض کنید دو مذاکره‌کننده وجود دارد ($n = 2$). دو مذاکره‌کننده بر

اساس اولویت‌های خود این گزینه‌ها را اولویت‌بندی می‌کنند و ماتریس چانه‌زنی[15] به صورت $A = \begin{vmatrix} a & b & c & d \\ b & d & a & c \end{vmatrix}$ تشکیل می‌شود. با استفاده از رابطه ۲، عمق توافق برابر است با $d^* \leq \left[4 - \frac{4}{3} + 1\right] = 3$. بدین معنی که حداکثر تا مرتبه سوم از ماتریس چانه‌زنی، حداقل یک عضو برای توافق بین این دو مذاکره‌کننده وجود دارد. پس از تعیین عمق توافق، گزینه‌های مذاکره مشترک بین مذاکره‌کنندگان در مرتبه‌های قبل از عمق توافق، به عنوان اعضای مجموعه توافق در روش چانه‌زنی بازگشتی معرفی می‌شوند. در مثال ذکر شده، گزینه b به عنوان تنها عضو مجموعه توافق، نتیجه روش چانه‌زنی بازگشتی می‌باشد.

مجموعه توافق می‌تواند عضوی نداشته باشد (که در این صورت، نتیجه مذاکره بن‌بست خواهد بود) یا می‌تواند یک عضو داشته باشد (که در این صورت، نتیجه مذاکره همان گزینه موجود در مجموعه توافق خواهد بود) یا می‌تواند بیش از یک عضو داشته باشد. در این مقاله، در صورتی که تعداد اعضای ماتریس توافق بیش از یک باشد، به منظور یافتن گزینه برتر از بین گزینه‌های موجود در مجموعه توافق، از دو رویکرد استفاده می‌شود. در رویکرد اول، روش گزینش اجتماعی بردا مورد استفاده قرار می‌گیرد و در رویکرد دوم، تعادل نش گزینه‌های موجود در مجموعه توافق بررسی می‌شود و در صورت وجود چند جواب دارای تعادل نش، از تابع چانه‌زنی نش برای انتخاب بهترین جواب استفاده می‌شود. در نهایت، نتایج کاربرد این دو رویکرد مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

روش گزینش اجتماعی بردا یکی از روشهای انتخاب گزینه نهایی در یک مذاکره، با در نظر گرفتن رتبه‌بندی گزینه‌ها توسط رأی‌دهندگان می‌باشد. در گذشته، تنها راه برای استنتاج آرا استفاده از قانون بیشترین مجموع یا قانون اکثریت بود. قانون بیشترین مجموع، دلالت بر انتخاب گزینه‌ای دارد که بیشترین تعداد رأی‌دهندگان آن را انتخاب کرده باشند. قانون اکثریت نیز بر مبنای انتخاب گزینه‌ای است که اکثریت افراد یعنی بیش از نصف رأی‌دهندگان آن گزینه را انتخاب کرده باشند. در سال ۱۷۷۱، ژان کارلوس دو بردا[16] به ارائه نظریه خود در زمینه تناقض موجود در استفاده از قانون بیشترین مجموع پرداخت. او طی نظریه خود عنوان کرد که استفاده از قانون بیشترین مجموع می‌تواند منجر به انتخاب کاندیدایی شود که برای بسیاری گزینه غیر مقبول است. او با ارائه قانونی که اکنون به قانون بردا شناخته می‌شود، روشی جدید برای جمع‌بندی آرای رأی‌دهندگان ابداع کرد. در این روش، ابتدا هر گزینه تصمیم، متناظر با رتبه‌های اختصاص یافته به آن گزینه توسط رأی‌دهندگان در ماتریس رتبه‌بندی گزینه‌ها، امتیاز اولیه‌ای کسب می‌کند. این امتیاز اولیه برابر است با تفاضل تعداد کل گزینه‌ها و رتبه‌ای که یک رأی‌دهنده به آن گزینه اختصاص داده است. بنابراین، در صورت داشتن n گزینه، بهترین گزینه یک تصمیم‌گیرنده امتیازی برابر با $n-1$، گزینه دوم امتیاز $n-2$ و به همین ترتیب گزینه آخر یعنی غیر مقبول‌ترین گزینه، امتیاز اولیه‌ای برابر با صفر خواهد گرفت. بدین ترتیب هر گزینه به تعداد رأی دهندگان، امتیاز اولیه‌ای دریافت خواهد کرد. در نهایت، امتیاز بردای هر گزینه برابر با جمع امتیازات اولیه کسب شده توسط آن گزینه خواهد بود. گزینه‌ای به عنوان برنده بردا انتخاب می‌شود که امتیاز بردای آن از دیگر گزینه‌ها بیشتر باشد.

در رویکرد دوم برای تعیین گزینه برتر از بین اعضای مجموعه توافق، به بررسی تعادل نش این گزینه‌ها پرداخته می‌شود. منظور از تعادل نش گزینه‌ای از مذاکره است که همه طرف‌های درگیر روی آن گزینه توافق داشته باشند و هیچ یک از آنها با تغییر در سناریوی تصفیه خود نتواند به سود بیشتری دست پیدا کند. در یک بازی با n بازیکن، ترکیب استراتژی $S^* = (s_1^*, s_2^*, \cdots, s_n^*)$ را تعادل نش گویند در صورتی که برای هر بازیکن داشته باشیم (عبدلی، ۱۳۸۶):

$$u_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq u_i(s_i, s_{-i}^*) \qquad (۳)$$

به عبارت دیگر، با توجه به باور صحیح بازیکن i نسبت به انتخاب استراتژی، یعنی s_{-i}^*، بازیکن i باید آن $s_i \in S_i$ را به گونه‌ای انتخاب کند که تابع مطلوبیت $u_i(s_i^*, s_{-i}^*)$ را حداکثر کند و آن $s_i \in S_i$ که تابع مذکور را حداکثر می‌کند با s_i^* نشان داده می‌شود. پس s_i^* جواب مسأله بهینه‌سازی زیر است (عبدلی، ۱۳۸۶):

$$Maximize\ u_i(s_i, s_{-i}^*) \quad \forall i \in N \qquad (۴)$$

در واقع، تعادل نش در یک بازی عبارت است از فهرستی از استراتژی بازیکنان که در آن، هر استراتژی به یک بازیکن تعلق دارد، به طوری که هیچ بازیکنی با تغییر استراتژی خود به پیامد بهتری نمی‌تواند دست یابد، مادامی که سایر بازیکنان همان استراتژی مشخص شده در آن لیست را انتخاب می‌کنند. در صورتی که از بین اعضای مجموعه توافق، یک گزینه در تعادل نش باشد، این گزینه به عنوان نتیجه مذاکره معرفی می‌شود. در این مقاله، در صورتی که اعضای دارای تعادل نش بیش از یک گزینه باشند، گزینه نهایی از بین گزینه‌هایی که شرایط تعادل نش را دارند، با استفاده از تابع چانه‌زنی نش، انتخاب خواهد می‌شود.

تئوری چانه‌زنی[17] توسط Nash (1953) ارائه شد. Nash مجموعه‌ای مشخص از شرایطی که جواب‌ها باید آن‌ها را ارضاء نمایند ارائه نمود

و ثابت کرد ناحیه جواب بسته و محدود[18] باشد، در این صورت تنها یک جواب برای مسأله حل اختلاف وجود خواهد داشت که از حل مسأله بهینه‌سازی زیر به دست می‌آید (کارآموز و کراچیان (۱۳۹۱)):

$$Maximize \prod_{i=1}^{n}(f_i - d_i)$$
$$subject\,to: f_i \geq d_i \quad (i = 1, 2, \ldots, n) \qquad (۵)$$
$$\underline{f} = (f_1, f_2, \ldots, f_n)$$

که در این تابع، f تابع مطلوبیت هر یک از مذاکره‌کنندگان است. همچنین d مطلوبیت هر مذاکره‌کننده در نقطه عدم توافق و n تعداد طرف‌های درگیر (مذاکره‌کنندگان) است. این تابع هدف به تابع حاصل ضربی Nash معروف می‌باشد. در واقع در این روش فاصله هندسی جواب از محل نقطه عدم توافق حداکثر می‌گردد. در این مقاله، نقطه عدم توافق برای هر بازیکن هزینه کل تحمیل شده به هر بازیکن ناشی از انتخاب گزینه ۱۱۱۱ (گزینه حداقل هزینه تصفیه) می‌باشد.

نتیجه دو رویکرد روش بردا و نش، از نظر معیارهای هزینه تخصیص‌یافته به منابع اصلی تخلیه‌کننده بار آلودگی و کیفیت رودخانه در نقطه کنترل مورد مقایسه قرار می‌گیرند و در نهایت، گزینه‌ای که هزینه کل (مجموع هزینه تصفیه و جریمه تخصیص یافته به علت تخطی از استانداردهای کیفی رودخانه) کمتر و کیفیت بهتری را برای رودخانه با خود به همراه دارد، به عنوان گزینه برتر معرفی می‌شود و به عنوان مجوزهای اولیه تخلیه بار آلودگی معرفی می‌شود.

در گام نهایی الگوی پیشنهادی، به منظور کاهش هرچه بیشتر هزینه‌ها، تبادل مجوزهای تخلیه اولیه تعیین شده در مراحل قبلی، به روش نسبت–تجارت توسعه یافته (ETRS) انجام می‌شود. روش ETRS توسط Mesbah et al. (2009)، برای دو شاخص متفاوت توسعه داده شده است که در آن BOD به عنوان آلاینده مورد تجارت و DO به عنوان شاخص کنترل کیفی می‌باشد. در روش نسبت– تجارت توسعه‌یافته، همچنین، مقدار بار BOD تجارت شده بین تخلیه‌کننده‌های i و j به صورت مقدار BOD (kg) که می‌توانند با هم تجارت کنند تا جایی که غلظت DO در پایین دست از استانداردهای کیفی رودخانه تجاوز نکند، تعریف می‌شود. این مقدار با توجه به ضریب نسبت– تجارت[19] بین منابع تخلیه‌کننده بار آلودگی که توسط Mesbah et al. (2009) تعریف شده است، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۶)

$$t_{ij} = \min\{\frac{r_{ik}}{r_{jk}}\} \quad i < j \quad k = \{i+1, \ldots, j\}$$

که (r_{ij}) ضریب انتقال بین نواحی i، j بر حسب mg/L بر هر کیلوگرم بار آلودگی می‌باشد. به عبارتی، نشان‌دهنده میزان کاهش غلظت DO در نقطه j است که در اثر افزایش یک کیلوگرم بار آلودگی BOD توسط تخلیه‌کننده‌ای که در ناحیه i واقع شده است، ایجاد می‌گردد. ضرایب نسبت– تجارت در مقاله Mahjour and Bizhani-Manzar (2013) ارائه شده‌اند.

۴- نتایج و بحث

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، به منظور کاهش هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌ها، ۱۱ منبع آلاینده در محدوده مورد مطالعه به چهار گروه اصلی تقسیم می‌شوند و فاضلاب هر گروه به طور جداگانه به یک تصفیه‌خانه انتقال می‌یابد. جدول ۲ مشخصات مربوط به دبی فاضلاب ورودی، غلظت BOD و جمعیت تحت پوشش هر تصفیه‌خانه مربوط به منابع اصلی تخلیه‌کننده بار آلودگی را نشان می‌دهد. همچنین، در جدول ۳ مقادیر هزینه‌های بهره‌برداری سالانه هر گروه آلاینده را به ازای سناریوهای مختلف ارائه شده است. جدول ۴ نیز مقادیر BOD خروجی تصفیه‌خانه را به ازای سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. این مقادیر بر اساس غلظت‌های BOD و دبی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه و فرض حذف ۹۰ درصد BOD در آن بخش که تحت تصفیه کامل قرار می‌گیرد و حذف ۳۰ درصدی آن در بخشی که مورد تصفیه مقدماتی قرار می‌گیرد، محاسبه شده‌اند.

جدول۲- مشخصات کلی هر گروه آلاینده در محدوده مطالعاتی (کراچیان، ۱۳۹۱)

گروه‌های اصلی منابع آلاینده	دبی فاضلاب ورودی (m^3/s)	غلظت متوسط BOD در فاضلاب ورودی به تصفیه خانه (mg/L)	جمعیت تحت پوشش (نفر)
گروه ۱	۰/۰۸۳	۱۰۰	۳۹۸۴۰
گروه ۲	۰/۴۱۴	۴۶	۱۹۸۷۲۰
گروه ۳	۰/۲۱۷	۹۸	۱۰۴۱۶۰
گروه ۴	۰/۱۴۹	۱۸۰	۷۱۵۲۰

جدول ۳- هزینه‌های بهره‌برداری سالیانه گروه‌های آلاینده به میلیون ریال (کراچیان، ۱۳۹۱)

گروه‌های اصلی منابع آلاینده	سناریوهای تصفیه					
	سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم	سناریوی پنجم	سناریوی ششم
گروه اول	۱۰۴	۲۹۰	۴۷۶	۶۶۳	۸۴۹	۱۰۳۶
گروه دوم	۲۳۸	۴۴۶	۶۵۵	۸۶۳	۱۰۷۱	۱۲۸۰
گروه سوم	۲۶۵	۴۹۸	۷۳۱	۹۶۴	۱۱۹۶	۱۴۲۹
گروه چهارم	۳۳۵	۹۳۷	۱۵۴۰	۲۱۴۲	۲۷۴۵	۳۳۴۷

جدول ۴- مقادیر BOD خروجی تصفیه‌خانه به ازای سناریوهای مختلف (mg/L) (کراچیان، ۱۳۹۱)

گروه‌های آلاینده	سناریوهای تصفیه					
	سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم	سناریوی پنجم	سناریوی ششم
گروه اول	۷۰	۵۸	۴۶	۳۴	۲۲	۱۰
گروه دوم	۳۲	۲۷	۲۱	۱۶	۱۰	۵
گروه سوم	۶۹	۵۷	۴۵	۳۳	۲۲	۱۰
گروه چهارم	۱۲۶	۱۰۴	۸۳	۶۱	۴۰	۱۸

در این مقاله، از تابع جریمه‌ای که برای رودخانه زرجوب توسعه داده شده است (رابطه ۱)، برای تخصیص هزینه جریمه به یک گزینه با توجه به میزان تخطی از استاندارد آن در نقطه کنترل موجود در پایین‌دست تخلیه‌کننده‌ها، استفاده شده است. در مرحله بعد، سناریوهای تصفیه ادغام و گزینه‌های چانه‌زنی تشکیل می‌شوند. هر یک از گروه‌های آلاینده این گزینه‌ها را با توجه به اولویت خود (هزینه کل کمتر) مرتب می‌کنند. به عنوان مثال، برای تخلیه‌کننده اول، گزینه ۱۶۶۶ در اولویت اول قرار می‌گیرد، چراکه با انتخاب این گزینه، این گروه آلاینده کمترین هزینه تصفیه ممکن را باید بپردازد و با توجه به اینکه گروه‌های دیگر در حالت حداکثر تصفیه فاضلاب خود قرار دارند، (سناریوی ۶)، هزینه جریمه ناشی از تخطی استاندارد کیفی رودخانه نیز برای این تخلیه‌کننده حداقل می‌باشد. بنابراین، این گزینه کمترین هزینه کل را برای گروه اول در بر دارد و در اولویت اول این گروه قرار دارد. با همین استدلال، گزینه‌های ۶۱۶۶، ۶۶۱۶، ۶۶۶۱ به ترتیب برای گروه‌های دوم تا چهارم در اولویت اول قرار دارند. در ادامه، تمامی گزینه‌ها توسط گروه‌های آلاینده اولویت‌بندی شده، ماتریس چانه‌زنی شکل می‌گردد. در ماتریس چانه‌زنی، تعداد سطرها برابر با تعداد گروه‌های آلاینده و تعداد ستون‌ها برابر تعداد گزینه‌های مذاکره می‌باشد. در این مقاله، با توجه به اینکه ۴ گروه آلاینده و ۱۲۹۶ گزینه برای مذاکره وجود دارد، ماتریس چانه‌زنی یک ماتریس ۱۲۹۶×۴ خواهد بود.

با اعمال روش چانه‌زنی بازگشتی تا توافق آرا، ۴۴۸ گزینه به عنوان اعضای مجموعه توافق انتخاب می‌شوند. با توجه به ساختار مدل پیشنهادی، از آنجایی که تعداد اعضای مجموعه توافق بیش از یک گزینه است، در حالت اول، با استفاده از روش گزینش اجتماعی بردا، گزینه برتر انتخاب می‌شود. در جدول ۵ مشخصات گزینه انتخابی در این حالت (گزینه ۱۴۶۵) ارائه شده است.

همچنین، در حالت دوم، تعادل نش بین اعضای مجموعه توافق بررسی شده، ۱۹۸ گزینه در تعادل نش شناخته می‌شوند. با توجه به فلوچارت ساختار پیشنهادی، به منظور انتخاب گزینه برتر از میان اعضای دارای تعادل نش، از تابع چانه‌زنی نش استفاده می‌گردد (رابطه ۵). در این مقاله، نقطه عدم توافق برای هر بازیکن، گزینه‌ای است که حداقل هزینه کل تحمیل شده به آن بازیکن با انتخاب گزینه دارای حداقل هزینه تصفیه را اعمال می‌کند (گزینه ۱۱۱۱). با استفاده از تابع چانه‌زنی نش، گزینه ۱۶۳۵ به عنوان گزینه برتر در این حالت انتخاب می‌شود. مشخصات این گزینه در جدول ۶ ارائه شده است.

در مرحله بعد، دو گزینه انتخابی توسط دو روش گزینش اجتماعی بردا و روش تابع چانه‌زنی نش، با یکدیگر مقایسه می‌شوند و گزینه برتر به عنوان مجوز تخلیه اولیه معرفی می‌شود. نتایج مقایسه دو روش در جدول ۷ ارائه شده است. با توجه به این جدول، مجموع کل هزینه سیستم در گزینه انتخابی در حالت اول (گزینه ۱۴۶۵) ۶۹۸۹ میلیون ریال در سال و در مورد گزینه انتخابی در حالت دوم (گزینه ۱۶۳۵)، ۸۰۰۸ میلیون ریال در سال بوده است.

جدول ۵- مشخصات گزینه ۱۴۶۵ به عنوان برنده بردا از مجموعه توافق

گروه آلاینده	رتبه در ماتریس اولویت	هزینه کل (میلیون ریال در سال)	سطح تصفیه (بر حسب درصد تصفیه کامل)
گروه اول	۱۱	۵۶۵/۴۴	فقط تصفیه مقدماتی
گروه دوم	۲۱۹	۱۳۲۴/۴۴	۶۰
گروه سوم	۷۵۶	۱۸۹۰/۴۴	۱۰۰
گروه چهارم	۸۰۹	۳۲۰۶/۴۴	۸۰

جدول ۶- مشخصات گزینه ۱۶۳۵ به عنوان خروجی روش پیشنهادی با استفاده از تابع چانه‌زنی نش

گروه‌های آلاینده	رتبه در ماتریس اولویت	هزینه کل (میلیون ریال در سال)	سناریوی تصفیه	سطح تصفیه (بر حسب درصد تصفیه کامل)
گروه اول	۹۰	۸۹۰/۲۴	۱	فقط تصفیه مقدماتی
گروه دوم	۹۹۶	۲۰۶۶/۲۴	۶	۱۰۰
گروه سوم	۱۶۴	۱۵۱۷/۲۴	۳	۴۰
گروه چهارم	۹۶۶	۳۵۳۱/۲۴	۵	۸۰

جدول ۷- مقایسه گزینه‌های منتخب روش بردا و روش تابع چانه‌زنی نش

گزینه	رتبه گزینه در ماتریس اولویت هر گروه آلاینده				هزینه اختصاص یافته به هر گروه آلاینده (میلیون ریال در سال)				DO در نقطه کنترل در پایین دست (mg/L)	هزینه کل سیستم (میلیون ریال در سال)
	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم	گروه چهارم	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم	گروه چهارم		
۱۴۶۵	۱۱	۲۱۹	۷۵۶	۸۰۹	۵۶۶	۱۳۲۵	۱۸۹۱	۳۲۰۷	۳/۲۸۶	۶۹۸۹
۱۶۳۵	۹۰	۹۹۶	۱۶۴	۹۶۶	۸۹۱	۲۰۶۷	۱۵۱۸	۳۵۳۲	۳/۱۲۵	۸۰۰۸

بنابراین، هزینه کل سیستم در حالت اول، ۲۸۱ میلیون ریال کمتر از حالت دوم بوده است. همچنین، با مقایسه مقادیر اکسیژن محلول در نقطه کنترل در هر دو حالت مقادیر غلظت اکسیژن محلول در نقطه کنترل موجود در پایین‌دست محل تخلیه بار آلودگی، در مورد گزینه ۱۴۶۵ نسبت به گزینه ۱۶۳۵ بیشتر است. در واقع، با انتخاب این گزینه، رودخانه در شرایط کیفی بهتری قرار دارد.

همچنین، با توجه به ماتریس اولویت‌ها برای چهار گروه آلاینده می‌توان گفت، برای گروه اول، گزینه پیشنهادی در روش بردا (۱۴۶۵) در اولویت یازدهم و گزینه پیشنهادی در حالت دوم (۱۶۳۵) در اولویت ۹۰ام قرار دارد. به‌عبارت دیگر، گروه اول، گزینه پیشنهادی روش بردا را نسبت به گزینه انتخابی در روش چانه‌زنی ترجیح می‌دهد. این موضوع درمورد گروه‌های دوم و چهارم نیز صدق می‌کند. گروه سوم، گزینه پیشنهادی حالت دوم را نسبت به گزینه انتخابی بردا ترجیح می‌دهد، زیرا در ماتریس اولویت این گروه، این گزینه در اولویت بالاتری نسبت به گزینه انتخابی روش بردا قرار دارد. با توجه به نکات بیان شده، می‌توان گفت در مجموع، گزینه پیشنهادی توسط روش بردا (حالت اول) نسبت به گزینه انتخاب شده در روش تعادل نش و تابع چانه‌زنی نش (حالت دوم) برتری دارد و از این گزینه به عنوان مجوزهای اولیه تخلیه در روش تجارت توسعه یافته استفاده می‌شود.

در ادامه، تبادل مجوزهای تخلیه بار آلودگی اولیه (گزینه برتر انتخابی به روش بردا که در مرحله قبل برابر با ۱۴۶۵ انتخاب شد) صورت می‌گیرد. از آنجا که در روش پیشنهادی، تا حدی امکان تخطی از استانداردهای کیفی رودخانه وجود دارد و به گزینه‌هایی که منجر به

تخطی شوند، جریمه تعلق می‌گیرد، در تخصیص مجوزهای اولیه، فرض می‌شود اگر مجوز اولیه تخصیص داده شده از ظرفیت پذیرش بار آلودگی هر بازه رودخانه بیشتر باشد، ظرفیت آن بازه تا حداکثر بار مجاز قابل تخلیه به آن بازه ارتقاء یابد. در جدول ۸، ظرفیت‌های تخصیص داده شده برای پذیرش بار آلودگی در چهار بازه اصلی رودخانه ارائه شده‌اند.

جدول ۸- ظرفیت‌های تخصیص داده شده به بازه‌ها با توجه گزینه انتخابی توسط روش بردا (kg/day)

بازه اول	بازه دوم	بازه سوم	بازه‌چهارم
۵۰۱	۵۷۲	۱۸۷	۵۱۵

در جدول ۹، حالت‌های مختلف تجارت بین گروه‌های آلاینده در مرحله اول نشان داده شده است. در حالت اول، گروه ۱ به عنوان فروشنده و گروه ۴ به عنوان خریدار در تجارت شرکت می‌کند. در این حالت، هزینه تصفیه گروه اول (با توجه به سناریوی تصفیه مربوط به این گروه آلاینده در گزینه انتخابی ۱۴۶۵) برابر با ۱۰۴ میلیون ریال در سال می‌باشد که در صورت انجام تجارت با گروه ۴، تمامی مجوزهای تخلیه خود را به این گروه می‌فروشد و لازم است تمام بار آلودگی خود را تصفیه کند، که این امر باعث افزایش هزینه تصفیه این گروه آلاینده به میزان حدود ۲ میلیون ریال در سال خواهد شد. در حالی که گروه چهارم با خرید مجوزهای تخلیه بار آلودگی از گروه اول، می‌تواند بار آلودگی بیشتری را وارد رودخانه کند. مقدار بار آلودگی ورودی پس از تجارت با توجه به ضریب نسبت- تجارت بین این دو گروه تخلیه‌کننده بار آلودگی محاسبه می‌شود (۶۰۷=۵۰۱×۰/۰۷+۵۷۲). به این ترتیب، تخلیه‌کننده چهارم هزینه تصفیه خود را به میزان حدود ۱۸۱ میلیون ریال در سال کاهش می‌دهد که در نهایت سود حاصل از این تجارت ۱۷۸ میلیون ریال در سال می‌باشد. این مطلب، در مورد حالت‌های دیگر تجارت بین گروه‌های آلاینده نیز صادق است. با توجه به جدول ۹، می‌توان گفت تجارت بین گروه‌های ۲ و ۴ پرسودترین حالت تجارت بین گروه‌های آلاینده در مرحله اول می‌باشد و با انجام این تجارت، مجموع هزینه‌های کل سیستم، به میزان ۸۸۳ میلیون ریال در سال کاهش می‌یابد. مقادیر مجوزهای تخلیه گروه‌های آلاینده پس از تجارت بین گروه‌های آلاینده در مرحله اول، در جدول ۱۰ ارائه شده است.

تجارت بین گروه‌های آلاینده در مرحله دوم در چهار حالت، بین گروه‌های ۱ با ۲، ۱ با ۳، ۱ با ۴ و ۳ با ۴ امکان‌پذیر است که نتایج آن در جدول ۱۱ ارائه شده است. با توجه به جدول ۱۱، در حالت اول، با انجام تجارت بین گروه‌های ۱ و ۳ که نتایج آن مشابه ستون چهارم جدول ۹ است، گروه اول تمامی مجوزهای خود را به گروه سوم می‌فروشد که باعث افزایش هزینه تصفیه این گروه به میزان ۲/۱۳۹ میلیون ریال خواهد شد. متعاقباً، گروه چهارم با خرید مجوزهای تخلیه از گروه اول، می‌تواند بار آلودگی بیشتری را وارد رودخانه کند (۲۱۲/۰۵=۵۰۱×۰/۰۵+۱۸۷) و هزینه تصفیه خود را به میزان ۲۵/۶۳ میلیون ریال در سال کاهش دهد که در نهایت سود حاصل از این تجارت ۲۳/۵ میلیون ریال درسال خواهد بود. در حالت دوم، با انجام تجارت بین گروه ۱ با ۴، هزینه اضافه‌ای که گروه اول بابت تصفیه بیشتر بار آلودگی خود باید بپردازد، ۲/۱۳۹ میلیون ریال در سال و کاهش هزینه گروه تخلیه‌کننده چهارم بابت کاهش میزان تصفیه بار آلودگی خود حدود ۷۴/۹۵ میلیون ریال در سال می‌باشد که در نهایت، سود حاصل از این تجارت ۷۲/۸۱ میلیون ریال در سال خواهد بود. در حالت سوم، با توجه به عدم تغییر در سناریوی تصفیه گروه سوم (فروشنده)، هزینه اضافی بابت تصفیه بیشتر به این گروه وارد نخواهد شد. همچنین، گروه چهارم (خریدار) با افزایش بار آلودگی تخلیه شده به رودخانه، هزینه تصفیه خود را به میزان ۶۲۳ میلیون ریال در سال کاهش خواهد داد که در این حالت، بیشترین سود حاصل از تجارت بین گروه‌های آلاینده حداکثر می‌باشد. این استدلال در مورد تجارت بین گروه اول و دوم نیز برقرار است و در این حالت نه تنها هزینه کل سیستم کاهش نیافته، بلکه هزینه کل سیستم به میزان ۲/۱۳۹ میلیون ریال در سال افزایش می‌یابد.

مقادیر مجوزهای تخلیه گروه‌های آلاینده، پس از انجام پرسودترین تجارت بین گروه‌های آلاینده در مرحله دوم (تجارت بین گروه سوم و چهارم) در جدول ۱۲ ارائه شده است. در ادامه، با توجه به مقادیر مجوزهای تخلیه بار آلودگی گروه‌های آلاینده، در مرحله سوم تجارت بین گروه‌های آلاینده، سه حالت برای تجارت بین گروه‌های آلاینده ممکن است که نتایج آن در جدول ۱۳ ارائه شده است.

با توجه به این جدول، در حالت اول (تجارت بین گروه اول و دوم) نتیجه مشابه مراحل قبل می‌باشد و هزینه کل سیستم به میزان ۲/۱۳۹ میلیون ریال در سال افزایش می‌یابد.

در حالت دوم (تجارت بین گروه اول و سوم) نیز نتایج نشان دهنده افزایش هزینه‌های کل سیستم به میزان ۲/۱۳۹ می‌باشد. در حالت سوم (تجارت بین گروه سوم و چهارم)، افزایش هزینه تصفیه گروه سوم (فروشنده) در ازای فروش مجوزهای تخلیه خود ۲/۱۳۹ میلیون ریال در سال و کاهش هزینه تصفیه گروه چهارم در ازای تخلیه بار آلودگی بیشتر، به میزان ۷۸/۱۸ میلیون ریال در سال است کـــــه در

جدول ۹- سناریوهای مختلف تجارت بین گروه‌های آلاینده در مرحله اول و منافع حاصل از اجرای آنها (واحد هزینه‌ها: میلیون ریال در سال)

حالت		۱	۲	۳	۴	۵	۶
تجارت بین واحدهای خریدار/ فروشنده		(۴ و ۱)	(۳ و ۲)	(۳ و ۱)	(۴ و ۲)	(۲ و ۱)	(۴ و ۳)
بعد از تجارت	بار آلودگی تخلیه شده (کیلوگرم بر روز)	(۶۰۷ و۵۰۱)	(۴۳۸ و۵۵۰)	(۲۱۲/۰۵و۵۰۱)	(۹۱۷/۱۱و ۵۷۲)	(۶۲۲/۱ و ۵۰۱)	(۸۰۲/۹۳و۱۸۷)
	هزینه تصفیه فروشنده	۱۰۶/۱۴	۸۸۴/۸۴	۱۰۶/۱۴	۸۶۳	۱۰۶/۱۴	۱۴۲۹
	هزینه تصفیه خریدار	۲۵۶۴/۱	۱۱۶۷	۱۴۰۳/۳۷	۱۸۶۲/۰۷	۸۰۴	۲۱۰۲
	درصد تصفیه فروشنده	۰/۲۳	۶۲/۱	۰/۲۳	۶۰	۰/۲۳	۱۰۰
	درصد تصفیه خریدار	۷۴	۷۷/۵	۹۷/۸	۵۰/۷	۵۴/۴	۵۸/۷
قبل از انجام تجارت	هزینه تصفیه فروشنده	۱۰۴	۸۶۳	۱۰۴	۸۶۳	۱۰۴	۱۴۲۹
	هزینه تصفیه خریدار	۲۷۴۵	۱۴۲۹	۱۴۲۹	۲۷۴۵	۸۶۳	۲۷۴۵
	درصد تصفیه فروشنده	۰	۶۰	۰	۶۰	۰	۱۰۰
	درصد تصفیه خریدار	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۰	۶۰	۸۰
هزینه اضافه‌ای که فروشنده برای تصفیه بیشتر خود باید بپردازد		۲/۱۳۹	۲۱/۸۴	۲/۱۳۹	۰	۲/۱۳۹	۰
هزینه کمتری که خریدار برای تصفیه کمترخود باید بپردازد		۱۸۰/۹	۲۶۲	۲۵/۶۳	۸۸۲/۹۳	۵۹	۶۴۳
سود حاصل از تجارت		۱۷۸/۷۶	۲۴۰/۱۶	۲۳/۵	۸۸۳	۵۶/۸۶	۶۴۳

جدول ۱۰- مقادیر مجوزهای تخلیه گروه‌های آلاینده بعد از انجام تجارت بین گروه‌های آلاینده در مرحله اول (kg/day)

گروه اول	گروه دوم	گروه سوم	گروه چهارم
۵۰۱	مجوزهای خود را در	۱۸۷	۹۱۷/۱۱

نهایت، سود کلی سیستم در این حالت، ۷۶/۰۴۶ میلیون ریال خواهد بود که این حالت، پرسودترین حالت تجارت در مرحله سوم می‌باشد. با توجه به مقدار کاهش هزینه‌های کل سیستم در سه مرحله تجارت، نتایج مربوط در جدول ۱۴ ارائه شده است. با توجه به مجوزهای تخلیه بدست آمده پس از مرحله سوم، ادامه تجارت مجوزهای تخلیه بین گروه‌های آلاینده امکان پذیر نمی‌باشد. در جدول ۱۵، خلاصه‌ای از نتایج به دست آمده که شامل سناریوهای برتر تجارت در هر سه مرحله، مجوزهای تخلیه باقی‌مانده پس از هر مرحله تجارت و درصد تصفیه گروه‌های آلاینده می‌باشد، ارائه شده است.

جدول ۱۱- سناریوهای مختلف تجارت بین گروه‌های آلاینده در مرحله دوم و منافع حاصل از اجرای آن (واحد هزینه‌ها: میلیون ریال در سال)

تجارت	هزینه اضافی که فروشنده برای تصفیه بیشتر خود باید بپردازد	هزینه کمتری که خریدار برای تصفیه کمتر خود باید بپردازد	سودحاصل از تجارت
(۲ و ۱)	۲/۱۳۹	۰	-۲/۱۳۹
(۳ و ۱)	۲/۱۳۹	۲۵/۶۳	۲۳/۵
(۴ و ۱)	۲/۱۳۹	۷۴/۹۵	۷۲/۸۱
(۴ و ۳)	۰	۶۲۳	۶۲۳

جدول ۱۲- مقادیر مجوزهای تخلیه گروه‌های آلاینده بعد از انجام تجارت بین گروه‌های آلاینده در مرحله دوم (kg/day)

گروه اول	گروه دوم	گروه سوم	گروه چهارم
۵۰۱	فروش مجوز در مرحله اول تجارت	فروش مجوز در مرحله دوم تجارت	۱۲۰۵

جدول ۱۳- سناریوهای مختلف تجارت بین گروه‌های آلاینده در مرحله سوم و منافع حاصل از اجرای آن (واحد هزینه‌ها: میلیون ریال در سال)

تجارت	هزینه اضافی که فروشنده برای تصفیه بیشتر خود باید بپردازد	هزینه کمتری که خریدار برای تصفیه کمتر خود باید بپردازد	سود حاصل از تجارت
(۲و ۱)	۲/۱۳۹	۰	-۲/۱۳۹
(۳و ۱)	۲/۱۳۹	۰	-۲/۱۳۹
(۴و ۱)	۲/۱۳۹	۷۸/۱۸	۷۶/۰۴۶

جدول ۱۴- نتایج کاهش هزینه‌های سیستم در مراحل مختلف تجارت (واحد هزینه‌ها: میلیون ریال در سال)

تجارت	سود کل سیستم	سناریوی برتر تجارت
مرحله اول	۸۸۲	تجارت ۲ با ۴
مرحله دوم	۶۲۳	تجارت ۳ با ۴
مرحله سوم	۷۶/۰۴۶	تجارت ۱ با ۴
نتیجه	۱۵۸۲/۰۴۶	خرید مجوزهای تخلیه گروه‌های آلاینده توسط گروه چهارم

با توجه جدول ۱۵، نتیجه تجارت مجوزهای تخلیه، خرید کل مجوزهای تخلیه گروه اول تا سوم توسط گروه چهارم می‌باشد. همچنین، درصدهای تصفیه نهایی گروه‌های اول تا چهارم به ترتیب، ۰/۲۳، ۶۰، ۱۰۰ و ۲۷/۳ درصد می‌باشد. در نهایت، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با اعمال تجارت مجوزهای تخلیه بین گروه‌های آلاینده، هزینه‌های کل سیستم به میزان حدود ۱۵۸ میلیون تومان در سال کاهش خواهد یافت.

با توجه به نتایج به دست آمده، به نظر می‌رسد متدولوژی پیشنهاد شده در این مقاله از کارایی خوبی در تخصیص بهینه بارهای آلودگی به تخلیه‌کنندگان برخوردار است، چرا که علاوه بر حفظ کیفیت رودخانه، هزینه‌های تصفیه کل را کاهش می‌دهد و رضایت تخلیه‌کنندگان از طریق کاربرد روش‌های مبتنی بر گزینش اجتماعی و همچنین وجود امکان تبادل مجوزهای تخلیه، افزایش می‌یابد.

در برخی روش‌های مبتنی بر گزینش اجتماعی، بر حسب درجه اهمیت یا قدرت مذاکره‌کنندگان می‌توان به هر یک از آنها یک ضریب وزنی اختصاص داد. در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود، گزینه برتر با در نظر گرفتن وزن برای تخلیه‌کنندگان بار آلودگی یا حتی سازمان متولی کنترل کیفیت آب رودخانه و با تحلیل حساسیت بر روی این ضرایب وزنی، به دست آید. همچنین، می‌توان در آینده عدم قطعیت‌های مربوط به بارهای آلودگی ورودی به رودخانه، دبی و کیفیت بالادست و همینطور ضرایب مورد استفاده در مدل مانند ضرایب انتقال را نیز در محاسبات دخیل کرد و گزینه برتر را با لحاظ این عدم قطعیت‌ها تعیین نمود.

پی‌نوشت‌ها

1- Waste Load Allocation
2- Fallback Bargaining
3- Approval Voting
4- Borda scoring social choice rule
5- Hare system
6- Plurality rule
7- Analytic Hierarchy Process (AHP)
8- Nash Bargaining Function
9- Extended Trading Ratio System (ETRS)
10- Biological Oxygen Demand (BOD)
11- Dissolved Oxygen (DO)
12- Transfer coefficients
13- Depth of the agreement
14- Compromise Set
15- Negotiation Matrix
16- Jean-Charles de Borda (1771)
17- Bargaining theory
18- Bounded
19- Trading Ratio

۵- مراجع

ترابیان ع (۱۳۸۴) مطالعه و تهیه سیستم صدور مجوز تخلیه آلاینده در حوضه آبریز رودخانه زرجوب گیلان. گزارش فنی سازمان حفاظت محیط زیست.

عبدلی ق (۱۳۸۶) نظریه بازی‌ها و کاربردهای آن. جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران.

جدول ۱۵- خلاصه نتایج تجارت در مراحل مختلف (واحد هزینه ها: میلیون ریال در سال، واحد مجوزهای تخلیه: کیلوگرم بر روز)

گروه آلاینده	قبل از تجارت				تجارت در مرحله اول					تجارت در مرحله دوم					تجارت در مرحله سوم				
	سناریوی تصفیه	درصد تصفیه قبل از تجارت	هزینه تصفیه قبل از تجارت	مجوز تخلیه اولیه	سناریوی برتر تجارت	درصد تصفیه بعد از تجارت	هزینه تصفیه بعد از تجارت	سود حاصل از تجارت	مجوز تخلیه باقی مانده	سناریوی برتر تجارت	درصد تصفیه بعد از تجارت	هزینه تصفیه بعد از تجارت	سود حاصل از تجارت	مجوز تخلیه باقی مانده	سناریوی برتر تجارت	درصد تصفیه نهایی	هزینه تصفیه نهایی	سود حاصل از تجارت	مجوز تخلیه نهایی گروه‌ها
گروه اول	۱	۰	۱۰۴	۵۰۱	*	۰	۱۰۴	*	۵۰۱	*	۰	۱۰۴	*	۵۰۱	فروش کل مجوز	۰/۲۳	۱۰۶/۱۴	-۲/۱۳۹	۰
گروه دوم	۴	۶۰	۸۶۳	۵۷۲	فروش کل مجوز	۶۰	۸۶۳	۰	۰	*	۶۰	۸۶۳	*	۰	*	۶۰	۸۶۳	*	۰
گروه سوم	۶	۱۰۰	۱۴۲۹	۱۸۷	*	۱۰۰	۱۴۲۹	*	۱۸۷	فروش کل مجوز	۱۰۰	۱۴۲۹	۰	۰	*	۱۰۰	۱۴۲۹	*	۰
گروه چهارم	۵	۸۰	۲۷۴۵	۵۱۵	خرید مجوزهای ۲	۵۰/۷	۱۸۶۲/۰۷	۸۸۲/۹۳	۹۱۷/۱۱	خرید مجوزهای ۳	۳۰	۱۲۳۸/۵	۶۲۳/۵۷	۱۲۰۵	خرید مجوزهای ۱	۲۷/۳	۱۱۵۷	۷۶/۰۴	۱۲۴۰/۰۷

*در تجارت شرکت نمی‌کند.

کارآموز م، کراچیان ر (۱۳۹۱) برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ سوم.

کراچیان ر (۱۳۹۱) کاربرد تجارت مجوز تخلیه بار آلودگی در مدیریت کیفی سامانه‌های رودخانه‌ای. گزارش فنی طرح تحقیقاتی، شرکت مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو.

Abed-Elmdoust A, Kerachian R (2012) River water quality management under incomplete information: application of an n-person iterated signaling game. Environmental Monitoring and Assessment 184(10):5875-5888.

Bazargan-Lari MR, Kerachian R, Mansouri A (2009) A conflict-resolution model for the conjunctive use of surface and groundwater resources that considers water-quality issues: a case study. Journal of Environmental Management 43(3):470-482.

Brams S J, Kilgour DM (2001) Fallback bargaining. group decision and negotiation. 10:287-316.

d'Angelo, Eskandari A, Szidarovszky F (1998) Social choice procedures in water-resources management. Journal of Environmental Management 52:203-210.

De Borda JC (1771) Memoire sur les elections au scrutiny. Historie de l'Axademie Royale des Sciences. Paris.

Kerachian R, Fallahnia M, Bazargan-Lari M R, Mansouri A, Sedghi H (2010) A fuzzy game theoretic approach for groundwater management: Application of Rubinstein Bargaining theory. Journal of Resources, Conservation and Recycling 54(10): 673-682.

Madani K, Shalikarian L, Naeeni STO (2011) Resolving hydro-environmental conflicts under uncertainty using Fallback Bargaining procedures. International Conference on Environment Science and Engineering, 28-30 September, Singapore.

Mahjouri N, Ardestani M (2010) A Game theoretic approach for interbasin water resources allocation considering the water quality Issues. Journal of Environmental Monitoring and Assessment 167(1-4):527-544.

Mahjouri N, Ardestani M (2011) Application of cooperative and non-cooperative Games in large-scale water quantity and quality management: A case study. Journal of Environmental Monitoring and Assessment 172(1-4):157-169.

Mahjouri N, Bizhani-Manzar M (2013) Waste load allocation in rivers using fallback bargaining. Water resources management 27(7):2125-2136.

Mesbah SM, Kerachian R, Nikoo MR (2009) Developing real time operating rules for trading discharge permits in rivers: Application of Bayesian Networks. Environmental Modeling and Software 24:238-246.

Nash JF (1953) Two person cooperative games. econometrica 21:128-140.

Sadegh M, Mahjouri N, Kerachian R (2010) Optimal inter-basin water allocation using crisp and fuzzy shaply games. Water Resources Management 24(10): 2291-2310.

Sheikhmohammady M, Madani K (2008a) Bargaining over the Caspian Sea- the largest lake on the earth. Proceeding of the 2008 World Environmental and Water Resources Congress, Honolulu, Hawaii.

Sheikhmohammady M, Madani K (2008b) Sharing a multi-national resource through bankruptcy procedures. Proceeding of the 2008 World Environmental and Water Resources Congress. Honolulu, Hawaii. ASCE, 10.1061/40976(316)556.

Srdjevic B (2006) Linking analytic hierarchy process and social choice methods to support group decision-making in water management. Decision Support Systems 42:2261-2273.

Wei S, Yang H, Abbaspour K, Mousavi J, Gnauck A (2010) Game theory based models to analyze water conflicts in the middle route of the south-to-north water transfer project in china. Water Research 44(88):2499-2516.