تدوین سیاست‌های تخصیص بار آلودگی در رودخانه‌ها با استفاده از رویکرد گزینش اجتماعی

محمدامین ذوالفقاری‌پور[1] آزاده احمدی[2]

(دریافت ۹۲/۱۲/۳ پذیرش ۹۳/۳/۱)

چکیده

در این مقاله، مدیریت کیفی رودخانه به‌منظور حداقل‌سازی هزینه‌های حفظ محیط زیست و تأمین معیارهای کیفیت آب انجام شد. به‌منظور لحاظ‌کردن نقش تخلیه‌کنندگان بار آلودگی در تصمیم‌گیری و افزایش قابلیت اجرا برای برنامه‌های پیشنهادی تخصیص بار آلودگی در رودخانه، از رویکرد گزینش اجتماعی استفاده شد. ابتدا برای هر تخلیه‌کننده، سناریوهای مختلف تصفیه فاضلاب، مشخص و گزینه‌های تصفیه که ترکیبی از سناریوهای تصفیه هستند، تعریف شدند. سپس با استفاده از مدل شبیه‌سازی کیفی Qual2kw، برای هر یک از گزینه‌های تصفیه، مقادیر جریمه تخطی از استاندارد کیفی محاسبه شد و هر یک از تخلیه‌کنندگان، گزینه‌های تصفیه را بر اساس هزینه‌های آن اولویت‌بندی کردند که شامل هزینه‌های تصفیه و جریمه تخطی از استاندارد کیفی بود. در نهایت با استفاده از روش‌های مختلف گزینش اجتماعی، گزینه مطلوب تصفیه انتخاب شد. همچنین به‌منظور کاهش هزینه‌ها و ایجاد انگیزه برای تخلیه‌کننده‌ها برای مشارکت در حفاظت کیفی رودخانه، گزینه مطلوب تصفیه به‌عنوان مجوز اولیه تخلیه بار آلودگی با استفاده از سیستم نسبت- تجارت توسعه یافته بین تخلیه‌کننده‌ها مورد تبادل قرار گرفت. نتایج حاصل از کاربرد مدل پیشنهادی در یک مطالعه موردی که قسمتی از رودخانه زرجوب در شمال ایران بود، نشان داد که تدوین سیاست‌های تخصیص بار آلودگی رودخانه‌ها کارایی مناسبی دارد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت کیفی رودخانه، رویکرد گزینش اجتماعی، تخصیص بار آلودگی، سیستم نسبت تجارت توسعه یافته

Development of Waste Load Allocation Strategiesin Rivers Using Social Choice Approach

M.A. Zolfagharipoor [1] *A. Ahmadi* [2]

(Received Feb. 22, 2014 Accepted May 22, 2014)

Abstract

In this paper, river water quality management was implemented to minimize the costs of environmental protection and to meet the environmental water quality requirements. For this purpose, the social choice approach was adopted to consider the role of wastewater dischargers in the decision-making process and to increase the applicability of the proposed waste load allocation programs. Firstly, different wastewater treatment scenarios were identified for each water pollutant and treatment alternatives which are combinations of treatment scenarios were defined. For each treatment alternative, penalties due to violations of river water quality standards were then calculated using the qualitative simulation model (Qual2kw) and each discharger was assumed to prioritize the treatment alternatives based on the treatment costs and the fines defined for water quality standard violations. Finally, using different social choice methods, the most preferred treatment alternative was identified. In order to reduce costs and to encourage dischargers to participate in river water quality protection programs, the most preferred treatment alternative was exchanged among the dischargers as an initial discharge permit using the extended trading-ratio system (ETRS). The results of applying the proposed model to a case study, the Zarjub River located in north Iran, showed the model's efficiency in developing river waste load allocation strategies.

Keywords: River Water Quality Management, Social Choice Approach, Waste Load Allocation, Extended Trading Ratio System (ETRS).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان (نویسنده مسئول)
aahmadi@cc.iut.ac.ir (۰۳۱) ۳۳۹۱۳۸٤٥

1. MSc Student of Water Resources Engineering, Dept. of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan
2. Assist. Prof. of Water Resources Engineering, Dept. of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan (Corresponding Author) (+98 31) 33913845 aahmadi@cc.iut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و رشد سریع جمعیت که کیفیت آب رودخانه‌ها را به‌طور جدی به‌خطر انداخته است، کاهش منابع آب در دسترس و افزایش درخور توجه حجم فاضلاب‌های شهری را به‌دنبال خواهد داشت. بنابراین مدیریت کیفی آب رودخانه‌ها که امروزه از آن با عنوان تخصیص بارآلاینده یاد می‌شود، ضروری به‌نظر می‌رسد. در مسئله مدیریت کیفی رودخانه، سازمان محیط زیست مکلف به تصمیم‌گیری و انتخاب سیاست‌های مناسب تخصیص بار آلودگی است. بر این اساس لازم است که سیاست‌های تخصیص بار آلودگی به‌گونه‌ای انتخاب شوند که مورد پذیرش اکثریت تخلیه‌کننده‌ها واقع شده و قابلیت اجرا داشته باشند. رویکرد گزینش اجتماعی به‌عنوان یکی از روش‌های موجود در فرایند تصمیم‌گیری در سال‌های اخیر مطرح شده است. استفاده از این رویکرد در مسائل تصمیم‌گیری که رأی‌گیری در آن‌ها امری منطقی و پذیرفتنی است، مناسب است. در این رویکرد که مبتنی بر اجماع آراء است، سعی خواهد شد تا آنجا که امکان دارد، اولویت‌های فردی به‌میزان یکسانی در اولویت نهایی گروه منعکس شوند.

شیخ‌محمدی و همکاران در سال ۲۰۱۰، با استفاده از روش‌های مختلف گزینش اجتماعی و درنظر گرفتن اهمیت و وزن مساوی برای هر یک از تصمیم‌گیران، به حل مسئله تعیین سهم هر یک از کشورهای حاشیه دریای خزر از منابع نفت و گاز موجود پرداختند. اکثر روش‌های گزینش اجتماعی که در این مقاله استفاده شده‌اند، تقسیم‌بندی منابع موجود را بر اساس نقشه شوروی سابق به‌عنوان گزینه برتر معرفی می‌کنند[۱]. شالیکاریان و همکاران در سال ۲۰۱۱، با استفاده از روش‌های مختلف گزینش اجتماعی به حل مسئله هیدرو- زیست‌محیطی موجود در دلتای ساکرامنتو سن- خواکین، در شرایط قطعیت و عدم قطعیت پرداختند[۲]. یکی از پژوهش‌های اولیه در زمینه روش چانه‌زنی بازگشتی در مسئله تخصیص بار آلودگی، توسط مهجوری و بیژنی‌منظر در سال ۲۰۱۳ انجام شده است. ایشان با استفاده از روش‌های چانه‌زنی بازگشتی و گزینش اجتماعی کاندورست، به حل مسئله تخصیص بار آلودگی در رودخانه زرجوب واقع در شمال ایران پرداخته و در نهایت برای کاهش هزینه‌ها از رویکرد تجارت مجوزهای تخلیه بار آلودگی استفاده نمودند[۳].

تجارت آلودگی به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر شناخته شده است که با رویکرد اقتصادی به مدیریت کیفی رودخانه می‌پردازد. در این رویکرد منابع آلوده‌کننده با هزینه کنترل آلودگی زیاد سعی دارند مجوز تخلیه بار آلودگی را از منابع آلاینده با هزینه کنترل آلودگی پایین‌تر به‌عنوان یک کالا خریداری کنند، به‌نحوی که ضمن حفظ اهداف محیط زیستی، هر دو عامل خریدار و فروشنده سود ببرند. هونگ و شو در سال ۲۰۰۵، سیستم جدیدی را به‌نام سیستم نسبت- تجارت[1] بر اساس تقسیم‌بندی منطقه‌ای برای تجارت مجوزهای تخلیه بار آلودگی ارائه دادند. الگوی تجارت بار آلودگی در این سیستم به‌گونه‌ای ارائه شده است که اهداف کاهش هزینه‌های تصفیه و حفظ کیفیت آب را لحاظ کند. در بخش دیگری از این مقاله، سیستم نسبت- تجارت پیشنهادی با سه روش تجارت کیفیت آب مقایسه و مزیت‌های آن شرح داده شده است. معیارهای مورد مقایسه در این پژوهش، هزینه‌های انجام تبادل، تعداد نقاط کنترل و نقاط حساس و همچنین مسئله سواره رایگان[2] بودند[۴].

نیک‌سخن و همکاران در سال ۲۰۰۹، پس از تعیین بهترین جواب روی منحنی تعامل و تخصیص اولیه هزینه‌های تصفیه با استفاده از روش‌های رایج بازی‌های همکارانه مانند نوکلئولوس[3] به تخصیص مجدد هزینه‌های تصفیه پرداختند[۵]. ویلاریل و همکاران در سال ۲۰۱۱، چند مدل بهینه‌سازی را برای کاربرد همزمان روش‌های تصفیه و تجارت مجوز تخلیه جیوه در یک سیستم رودخانه‌ای ارائه دادند. آن‌ها به مقایسه کاربرد هر یک ازحالت‌های مختلف تجارت در سیستم رودخانه پرداختند. حالت‌های مختلف تجارت شامل انجام تجارت بر اساس تقسیم‌بندی منطقه‌ای و تجارت همراه با اعمال جریمه تخطی از استاندارد کیفی و معیارهای مورد مقایسه هزینه‌های تصفیه و شرایط کیفی رودخانه بودند[۶]. ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۳، ساختار یک بازار مجازی را برای تجارت مجوز تخلیه COD بر اساس تقسیم‌بندی منطقه‌ای ارائه دادند. آن‌ها برای شبیه‌سازی فرایند تجارت از مدل‌های عامل‌گرا[4] بهره گرفتند و موفقیت مدل پیشنهادی خود را با کاربرد آن در رودخانه یوجینگانگ[5] چین به اثبات رساندند[۷].

مهجوری و بیژنی‌منظر در سال ۲۰۱۳، برای تخصیص بار آلودگی از رویکرد چانه‌زنی بازگشتی استفاده کردند. تخلیه‌کنندگان بار آلودگی در رویکرد چانه‌زنی بازگشتی، برای انتخاب گزینه مناسب تصفیه با یکدیگر به مذاکره پرداخته و ممکن است در هر مرحله از مذاکره برای رسیدن به توافق نهایی از مطلوبیت‌های خود عقب‌نشینی کنند و در نهایت گزینه‌ای انتخاب می‌شود که مورد توافق همه واقع شود[۳]. اما در رویکرد گزینش اجتماعی که در پژوهش حاضر به آن توجه شد و مبتنی بر فرایند رأی‌گیری است، مذاکره کردن درباره مطلوبیت و عقب‌نشینی از آنها، برای رسیدن به

---

[1] Trading Ratio System
[2] Free rider
[3] Necleolus
[4] Agent based models
[5] Wujingang

Archive of SID
www.SID.ir

توافق وجود ندارد و ممکن است گزینه برتر گزینه‌ای باشد که مورد توافق اکثریت و نه لزوماً همه منابع آلاینده واقع شود. به این ترتیب به‌نظر می‌رسد که چون دست یافتن به گزینه‌ای که مورد توافق همه منابع آلاینده باشد، یعنی همان رویکرد چانه‌زنی بازگشتی، کمی مشکل است پس درنظر گرفتن گزینه‌ای که مورد توافق اکثریت باشد یعنی رویکرد گزینش اجتماعی، مناسب‌تر است. هر چند که دست یافتن به گزینه مورد توافق همه، نارضایتی را بیشتر کاهش می‌دهد.

در این مقاله، تخصیص بار آلودگی در رودخانه بر اساس کاهش هزینه‌های تصفیه و حفظ معیار کیفیت آب انجام شد. در مطالعات قبلی برای تأمین اهداف محیط زیست و تخلیه‌کننده‌ها از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری از جمله مدل‌های حل اختلاف استفاده شده؛ اما کمتر به جنبه اجرایی سیاست‌های تخصیص بار آلودگی توجه شده است. نوآوری مقاله حاضر در مقایسه با سایر مطالعه‌های صورت گرفته شامل موارد زیر است:

در این پژوهش، به‌منظور افزایش قابلیت اجرای سیاست‌های تخصیص بار آلودگی و لحاظ کردن نظرات تخلیه‌کننده‌ها از رویکرد گزینش اجتماعی استفاده شد. در نهایت به‌منظور کاهش هزینه‌ها و ایجاد انگیزه در تخلیه‌کننده‌ها، برای مشارکت داوطلبانه در حفاظت کیفی رودخانه، گزینه تصفیه انتخاب شده توسط رویکرد گزینش اجتماعی، به‌عنوان مجوز اولیه تخلیه بار آلودگی با استفاده از سیستم نسبت- تجارت توسعه‌یافته بین تخلیه‌کننده‌ها مورد تبادل قرار گرفت. ویژگی بارز دیگر این پژوهش نسبت به پژوهش‌های قبلی، توجه به جنبه مورد پذیرش بودن سیاست‌های تخصیص بار آلودگی، توسط تخلیه‌کنندگان و ارزیابی تأثیر آن در رویکرد تجارت بار آلودگی به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر در مدیریت کیفی رودخانه، در یک مطالعه موردی واقعی است.

همچنین از آنجا که ممکن است گزینه‌های مختلف تصفیه بر اساس نتایج مدل شبیه‌سازی منجر به تخطی از استاندارد کیفی در نقاط بحرانی شوند، لازم است هزینه‌هایی به‌عنوان جریمه تخطی از استاندارد کیفی برای بهبود کیفیت آب رودخانه تعیین شود. در این پژوهش جریمه تخطی از استاندارد کیفی به‌ازای اجرای هر یک از گزینه‌های تصفیه، تعیین و بین منابع آلاینده بر اساس سهمی که هر یک در میزان تخطی دارند، تقسیم شد. این کار معیار عدالت را در تخصیص هزینه‌های جریمه تأمین می‌کند. در نظر گرفتن جریمه در هزینه کل تصفیه باعث می‌شود که بتوان مطلوبیت هر یک از منابع آلاینده را درباره سیاست‌های تخصیص بار آلودگی که مرتبط با هزینه‌های تصفیه است، به‌شکل مناسبی در فرایند تصمیم‌گیری در نظر گرفت. بر این اساس استفاده از سیاست اتخاذ جریمه تخطی از استاندارد کیفی که تخصیص آن بر اساس عدالت بوده و هم معیار حفظ کیفیت آب رودخانه را رعایت کند، یکی از نوآوری‌های پژوهش حاضر است و در نهایت بر اساس آن می‌توان نظرات منابع آلاینده را نیز در فرایند تصمیم‌گیری در نظر گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

در این مقاله، به‌منظور افزایش قابلیت اجرای سیاست‌های تخصیص بار آلودگی که سازمان محیط زیست مکلف به اتخاذ آن‌ها است، به نظرات تخلیه‌کننده‌ها نیز توجه شد. همچنین برای لحاظ کردن نقش تخلیه‌کننده‌ها در فرایند تصمیم‌گیری از روش‌های مختلف گزینش اجتماعی استفاده شد. به این ترتیب که هر تخلیه‌کننده، گزینه‌های مختلف تخصیص بار آلودگی را از نگاه خود بر اساس هزینه‌های تصفیه رتبه‌بندی می‌کند. از آنجا که ممکن است گزینه‌های مختلف تصفیه بر اساس نتایج مدل شبیه‌سازی منجر به تخطی از استاندارد کیفی در نقاط بحرانی شوند، لازم است هزینه‌هایی به‌عنوان جریمه تخطی از استاندارد کیفی برای بهبود کیفیت آب رودخانه تعیین شود. در این مقاله برخلاف پژوهش مهجوری و بیژنی‌منظر در سال ۲۰۱۳، که مقادیر جریمه را به‌میزان یکسانی بین منابع آلاینده تقسیم می‌کردند، مقادیر جریمه تخطی بین منابع آلاینده بر اساس سهم هر یک در میزان تخطی تقسیم شد. مقادیر جریمه تخطی معیار عدالت را در تخصیص هزینه‌های جریمه تأمین می‌کند[۳].

رتبه‌بندی نهایی گزینه‌های مختلف بر اساس مجموع هزینه‌های تصفیه و جریمه تخطی از استاندارد کیفی توسط تخلیه‌کنندگان مختلف انجام شد. در نهایت، گزینه تصفیه انتخاب شده توسط رویکرد گزینش اجتماعی به‌عنوان مجوز اولیه تخلیه بار آلودگی در نظر گرفته شد و سپس با استفاده از سیستم نسبت- تجارت توسعه‌یافته، مجوز تخلیه بار آلودگی بین تخلیه‌کننده‌ها تبادل شد. کارایی مدل پیشنهادی با استفاده از اطلاعات رودخانه زرجوب به‌طول ۲۴ کیلومتر در محدوده شهر رشت که از آلوده‌ترین رودخانه‌های کشور محسوب می‌شود، ارزیابی شد.

۲-۱- رویکرد گزینش اجتماعی

رویکرد گزینش اجتماعی با اصول اساسی انتخاب در یک گروه ارتباط دارد که ممکن است اعضای آن در میان گزینه‌های موجود، مطلوبیت‌های متفاوتی داشته باشند. به‌عبارت دیگر این رویکرد با اصول اجماع آراء مرتبط است. به‌طوری که تا حد امکان، اولویت‌های فردی به‌میزان یکسانی، در اولویت نهایی گروه منعکس شده باشند[۸]. مفاهیم مربوط به رویکرد گزینش اجتماعی و نحوه استفاده از آن در مسائل تصمیم‌گیری در پژوهش‌های قبلی آورده شده است[۹]. به‌منظور استفاده از این رویکرد لازم است ابتدا

Archive of SID
www.SID.ir

ماتریس تصمیم‌گیری تدوین شود. در این ماتریس فقط ترتیب گزینه‌ها اهمیت دارد. اگر n تعداد تصمیم‌گیرندگان و m تعداد گزینه‌های موجود باشد، ماتریس تصمیم‌گیری یک ماتریس n×m خواهد بود که درایه‌های آن در هر سطر بر اساس اولویت‌های همان تصمیم‌گیر مرتب شده‌اند. به‌نحوی که اگر a_{ij} درایه سطر i ام و ستون j ام ماتریس بالا باشد، a_{ij} برابر ۱ یعنی گزینه j ام، بهترین گزینه از نظر تصمیم‌گیر i ام است و a_{ij} برابر ۲ یعنی گزینه‌ی j ام، دومین گزینه از نظر تصمیم‌گیر i ام است و به‌همین ترتیب تا a_{ij} برابر m که به‌معنای این است که گزینه j ام آخرین و نامطلوب‌ترین گزینه در لیست تصمیم‌گیر i ام است[۱۰].

برای آشنایی با روش‌های مختلف گزینش اجتماعی، اگر در یک مسئله تصمیم‌گیری، پنج تصمیم‌گیر B_1 تا B_5 با گزینه‌هایی به‌صورت {a,b,c,d,e} موجود باشند، پس از آن که گزینه‌های مطلوب هر یک از تصمیم‌گیران به‌ترتیب اولویت رتبه‌بندی شد، ماتریس تصمیم‌گیری A به‌صورت زیر تشکیل خواهد شد که تعداد سطرهای این ماتریس برابر با تعداد تصمیم‌گیرندگان و تعداد ستون‌ها برابر تعداد گزینه‌ها است:

گزینه‌ها

$$\begin{pmatrix} a & d & e & c & b \\ a & d & e & c & b \\ b & a & d & c & e \\ b & a & c & e & d \\ c & b & e & a & d \end{pmatrix} \begin{matrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{matrix}$$

در ادامه به معرفی روش‌های مختلف گزینش اجتماعی که در این مقاله از آن‌ها استفاده شد، پرداخته می‌شود.

۲-۱-۱- گزینش کاندورست[1]

در این روش، گزینه‌ای که اکثریت تصمیم‌گیران آن را نسبت به گزینه‌های دیگر ترجیح دهند، به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شوند. شیوه انتخاب گزینه برتر به این صورت است که هر یک از تصمیم‌گیران بر اساس مطلوبیت‌های مورد نظر خود به مقایسه دو به دوی گزینه‌ها با هم می‌پردازند و از میان هر جفت گزینه، یک گزینه را انتخاب می‌کنند. سپس گزینه‌ای که در بیشترین مقایسه زوجی برنده شده باشد و یا به‌عبارت دیگر بیشترین تعداد برد را داشته باشد، به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود[۱۱]. مقایسه بین گزینه‌های ماتریس تصمیم A، بر اساس روش کاندورست در جدول ۱ آورده شده است. در این جدول هر یک از گزینه‌های موجود با سایر گزینه‌ها به‌صورت دو به دو مقایسه می‌شوند. به‌عنوان نمونه اعداد داخل پرانتز در سطر چهارم و ستون دوم این جدول یعنی (۴-۱) وضعیت مقایسه زوجی بین گزینه‌های a و c را نشان می‌دهد. عدد ۱ نشان دهنده این است که یک تصمیم‌گیر گزینه c و عدد ۴ نشان دهنده این است که چهار تصمیم‌گیر گزینه a را نسبت به گزینه c ترجیح داده‌اند. ستون آخر این جدول نیز مجموع اعداد سمت چپ داخل پرانتزهای موجود در یک سطر را نشان می‌دهد. به‌عنوان نمونه عدد ۱۵ مجموع اعداد ۴، ۵، ۴ و ۲ در سطر دوم جدول است. با توجه به مجموع امتیازها گزینه a، برترین گزینه و گزینه e بدترین گزینه است.

جدول ۱- مقایسه بین گزینه‌های تصمیم‌گیری در ماتریس A بر اساس روش گزینش کاندورست

گزینه‌ها	a	b	c	d	e	امتیاز
A	-	(۳-۲)	(۱-۴)	(۰-۵)	(۱-۴)	۱۵
B	(۲-۳)	-	(۳-۲)	(۲-۳)	(۲-۳)	۱۱
C	(۴-۱)	(۲-۳)	-	(۳-۲)	(۲-۳)	۹
D	(۵-۰)	(۳-۲)	(۳-۲)	-	(۲-۳)	۸
E	(۴-۱)	(۳-۲)	(۳-۲)	(۳-۲)	-	۷

۲-۱-۲- امتیازدهی بردا[2]

روش امتیازدهی بردا به‌عنوان یکی از روش‌های گزینش اجتماعی، توسط بردا در سال ۱۷۸۱، ارائه شده است[۱۲]. در این روش، گزینه‌ها توسط تصمیم‌گیران امتیازدهی می‌شوند و گزینه‌ای که بیشترین امتیاز را بر اساس مجموع نظرات همه تصمیم‌گیران کسب کرده باشد، به‌عنوان برنده معرفی می‌شود. شیوه امتیازدهی به این صورت است؛ چنانچه در مسئله تعداد m گزینه تصمیم‌گیری وجود داشته باشد، به گزینه‌ای که دارای بالاترین مطلوبیت است امتیاز m-1 داده می‌شود، به گزینه‌ای که در دومین سطح مطلوبیت قرار دارد امتیاز m-2 داده می‌شود و به‌همین ترتیب به هر گزینه‌ای که در سطح i- ام مطلوبیت قرار دارد، امتیاز m-i تخصیص داده می‌شود[۱۱و۱۲]. به‌عنوان مثال در جدول ۲ بر اساس روش بردا به هر یک از گزینه‌های ماتریس A توسط هر یک از تصمیم‌گیران، امتیاز تخصیص داده شده است و مجموع امتیازها برای هر گزینه بر اساس مجموع امتیازهایی که هر یک از تصمیم‌گیران به آن گزینه داده‌اند، محاسبه شده است. بر اساس ستون آخر این جدول گزینه a برنده است.

[1] Condorcet Choice

[2] Borda Scoring

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۲- امتیازدهی بردا به گزینه‌های ماتریس A

تصمیم‌گیران / گزینه‌ها	B1	B2	B3	B4	B5	مجموع امتیازها
a	۴	۴	۳	۳	۱	۱۵
b	۰	۰	۴	۴	۳	۱۱
c	۱	۱	۱	۲	۴	۹
d	۳	۳	۲	۰	۰	۸
e	۲	۲	۰	۱	۲	۷

۲-۱-۳- قانون جمع‌گرایی[1]

در این روش نسبتاً ساده، ملاک انتخاب بهترین گزینه فقط بر اساس انتخاب اول تصمیم‌گیران است و به سایر مطلوبیت‌های آن‌ها توجه نمی‌شود. گزینه برتر گزینه‌ای است که در سطح اول مطلوبیت، بیشترین آراء را کسب کرده باشد و این امکان وجود دارد که بیش از یک گزینه انتخاب شود[۱۳]. به‌عنوان مثال، در این روش با توجه به ماتریس تصمیم‌گیری A، فقط به سطح اول مطلوبیت تصمیم‌گیران یعنی ستون اول ماتریس A توجه می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ستون اول این ماتریس هر یک از گزینه‌های a و b بیش از سایر گزینه‌ها مورد توجه تصمیم‌گیران بوده و تعداد رأی بیشتری را کسب کرده‌اند. بنابراین به‌عنوان گزینه‌های برتر انتخاب می‌شوند.

۲-۱-۴- قانون رأی‌گیری میانه[2]

در این روش، گزینه برتر گزینه‌ای است که بتواند در بالاترین سطح مطلوبیت، اکثریت آراء را کسب کند. به‌عنوان مثال در یک مسئله با پنج تصمیم‌گیر، گزینه‌هایی که بتوانند ۳، ۴ و حتی ۵ رأی را که بیانگر حداکثر آراء است کسب کنند، به‌عنوان گزینه‌های برتر انتخاب می‌شوند. حال به‌دست آوردن این اکثریت ممکن است در انتخاب اول، دوم یا سایر انتخاب‌ها باشد[۱۴]. با توجه به ماتریس A، در سطح اول مطلوبیت (ستون اول ماتریس A)، هر یک از گزینه‌های a و b تعداد دو رأی را کسب کرده‌اند که بیانگر حداکثر آراء نیست. در سطح دوم مطلوبیت گزینه a و b در مجموع (ستون اول و دوم) به‌ترتیب تعداد ۴ و ۳ رأی را کسب کرده‌اند. چون هر دو گزینه اکثریت آراء را کسب کرده‌اند، پس هر دو برنده‌اند، هرچند که گزینه a رأی بیشتری کسب کرده است.

۲-۱-۵- توافق اکثریت[3]

روش توافق اکثریت زیرمجموعه‌ای از روش قانون رأی‌گیری میانه است. با این تفاوت که علاوه بر به‌دست آوردن اکثریت آراء، مقدار آن نیز مهم است. در صورتی که در روش قبل فقط به‌دست آوردن اکثریت مهم است[۱۵]. با توجه به توضیحات ارائه شده در روش قبل، چون گزینه a تعداد رأی بیشتری نسبت به گزینه b کسب کرده است، پس به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود.

۲-۱-۶- روش عملی کاندورست[4]

روش عملی کاندورست همانند روش قانون رأی‌گیری میانه است؛ ولی هدف، به‌دست آوردن اکثریت آراء در انتخاب اول است. در غیر این صورت گزینه‌ای که بیشترین آراء را در انتخاب دوم و یا سایر انتخاب‌ها کسب کند، به‌عنوان گزینه برتر معرفی می‌شود و لازم نیست اکثریت آراء را کسب کند[۱۶]. با توجه به ماتریس A، گزینه‌های a و b نتوانسته اکثریت آراء را در انتخاب اول کسب کنند. در انتخاب دوم گزینه‌های a و d با تعداد دو رأی بیشترین آراء و نه اکثریت را کسب کرده‌اند. بنابراین گزینه‌های a و d به‌عنوان برنده انتخاب می‌شوند، هرچند که گزینه a در مجموع سطح مطلوبیت اول و دوم، آراء بیشتری را کسب کرده است.

۲-۲- سیستم نسبت- تجارت توسعه‌یافته

مصباح و همکاران در سال ۲۰۰۹، سیستم نسبت- تجارت توسعه‌یافته را ارائه دادند[۱۷]. در مدل آن‌ها نسبت تجارت توسط رابطه ۱ تعیین می‌شود

$$t_{ij} = \min\{\frac{r_{ik}}{r_{ik}}\} \qquad i < j \qquad k = \{j,\ldots,n\} \qquad (1)$$

که در این رابطه

r_{ik} ضریب انتقال بین نواحی i و k برحسب میلی‌گرم در لیتر بر کیلوگرم، بیانگر میزان کاهش غلظت شاخص کنترل کیفی (DO)، در ناحیه k برحسب میلی‌گرم در لیتر است که در اثر افزایش یک کیلوگرم بار آلودگی (BOD) توسط تخلیه‌کننده‌ای که در ناحیه i واقع شده است، ایجاد می‌شود. این ضریب با استفاده از مدل شبیه‌سازی Qual2kw تعیین خواهد شد. t_{ij} نسبت تجارت بین نواحی i و j، نشان می‌دهد که تخلیه‌کننده‌های i و j تا چه میزان می‌توانند به تبادل مجوزهای خود مبادرت کنند، به‌نحوی که حداقل غلظت DO در نواحی پایین دست از مقدار استاندارد تجاوز ننماید. مجوز اولیه تخلیه بار آلودگی توسط رابطه ۲ تعیین می‌شود[۱۷]

(۲)

$$\overline{T}_i = \min\{\frac{E_j - \sum_{k=1}^{i-1} r_{kj}\overline{T}_k}{r_{ij}}\},\ j = i,\ldots,n;\ \ k = 1,\ldots,i-1$$

که در این رابطه

E_j ظرفیت پذیرش بار آلودگی ناحیه j برحسب میلی‌گرم در لیتر

[1] Plurality Rule
[2] Median Voting Rule
[3] Majoritarian Compromise
[4] Condorcet Practical Method

Archive of SID
www.SID.ir

است که با رابطه۳ قابل محاسبه است

$$E_j = \frac{DO_j - DO_{std,j}}{SF} \qquad (۳)$$

که در این رابطه

DO_j غلظت اولیه DO در ناحیه j، SF ضریب اطمینان ظرفیت پذیرش رودخانه برای تمام نواحی و $DO_{std,j}$ غلظت DO استاندارد در ناحیه j است. در نهایت درصد تصفیه بهینه واحدهای تخلیه‌کننده و تعیین هزینه‌های تصفیه با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شوند

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^{n} c_i (e_i^0 - e_i) \qquad (۴)$$

s.t.

$$e_j - \sum_{k=1}^{i-1} t_{ki} T_{ki} + \sum_{k>i}^{n} T_{ik} \le \overline{T}_i, \qquad i = 1,...,n \qquad (۵)$$

$$t_{ik} T_{ki} \ge 0 \qquad (۶)$$

$$e_i \in [0, e_i^0] \qquad (۷)$$

که در این روابط

c_i هزینه یک واحد کاهش بار آلودگی برای واحد تخلیه‌کننده i است، که خود تابعی از میزان بار آلودگی آن واحد تخلیه‌کننده است و e_i^0 بار آلودگی اولیه واحد تخلیه‌کننده i است.

۲-۳- مدل شبیه‌سازی Qual2kw

مدل Qual2kw که مدل نسبتاً جامعی در زمینه کیفیت آب رودخانه‌ها است، برای اولین بار توسط پلیتیر و همکاران در سال ۲۰۰۶، ارائه شد و از آن زمان به بعد، به‌طور پیوسته تکمیل شده است. این برنامه قابلیت شبیه‌سازی ۱۹ پارامتر در رودخانه‌ها را به‌صورت یک‌بعدی با جریان دائمی غیریکنواخت دارد و می‌تواند اثر بارگذاری را به دو صورت نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای منظور نماید. در این مدل برای یافتن مقادیر بهینه ضرایب و ثابت‌های مورد استفاده در مدل‌سازی از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود، که باعث افزایش سرعت در شبیه‌سازی و کالیبراسیون مدل شده و از انتخاب ضرایب نامناسب جلوگیری می‌شود[۱۸و ۱۹].

در این پژوهش، به‌منظور تعیین میزان اثرگذاری منابع آلاینده مختلف بر وضعیت کیفی رودخانه و شبیه‌سازی آن از مدل Qual2kw استفاده شد[۱۸ و ۱۹].

۳- ساختار مدل پیشنهادی

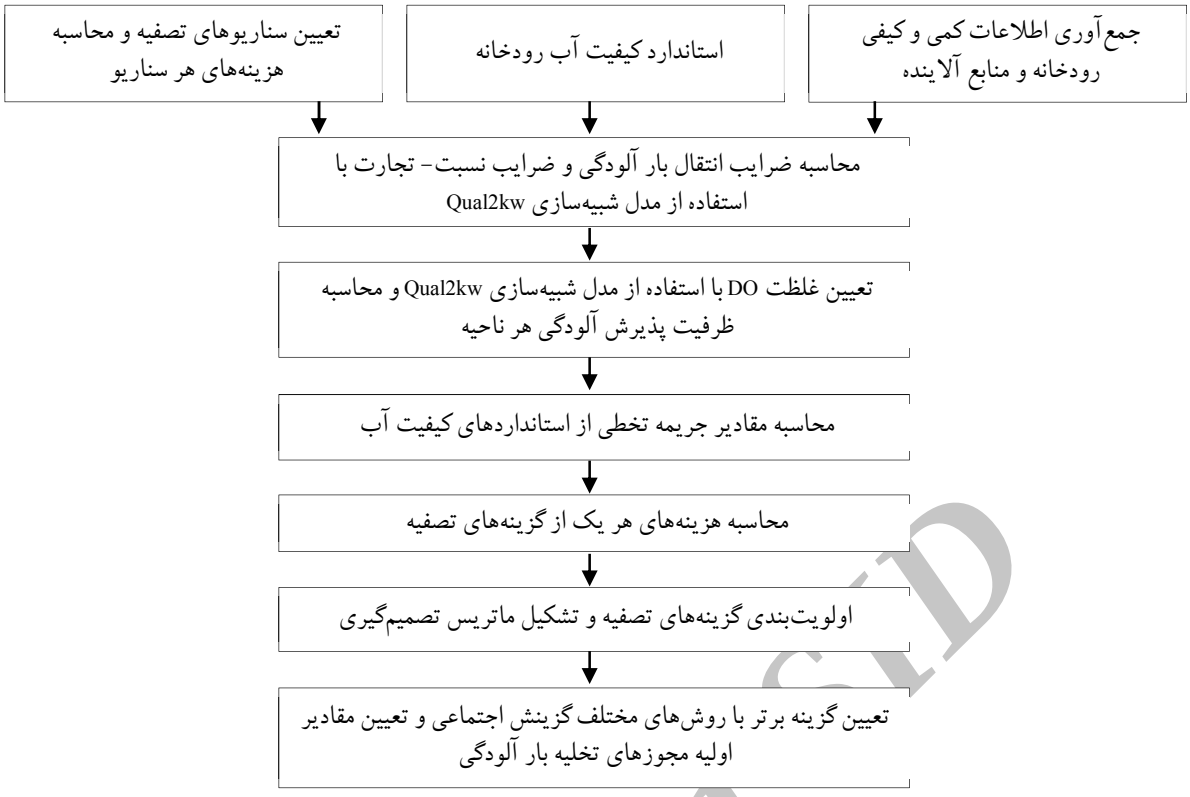
فلوچارت ارائه شده در شکل ۱، ساختار مدل پیشنهادی برای تعیین گزینه مناسب تصفیه را در یک سیستم رودخانه‌ای نشان می‌دهد. در این ساختار، اطلاعات ورودی مورد نیاز شامل اطلاعات هیدرولیکی و کیفی جریان بالادست رودخانه و فاضلاب‌های ورودی و همچنین تعیین کیفیت حداقل آب است. در این ساختار، ابتدا با استفاده از مدل شبیه‌سازی Qual2kw ضرایب انتقال بار آلودگی و ضرایب نسبت- تجارت و همچنین ظرفیت پذیرش بار آلودگی رودخانه برای هر ناحیه تعیین می‌شود. در بخش دیگر این ساختار، سناریوهای مختلف تصفیه فاضلاب که هر یک درصد مشخصی از حذف BOD هستند و همچنین هزینه این سناریوها، برای هر یک از تخلیه‌کننده‌ها تعیین می‌شود. با ادغام سناریوهای تصفیه هر یک از تخلیه‌کننده‌ها، گزینه‌های تصفیه تشکیل می‌شوند.

با استفاده از مدل شبیه‌سازی، اطلاعات مربوط به جریان بالادست رودخانه و بارهای آلودگی ورودی و سناریوهای تصفیه تغییرات مقادیر غلظت DO، در طول رودخانه مدل می‌شود. در ادامه مقادیر جریمه تخطی از استاندارد کیفی برای هر یک از تخلیه‌کنندگان بار آلودگی با استفاده از مدل شبیه‌سازی و با توجه به هزینه‌های لازم برای بهبود کیفیت آب محاسبه می‌شوند. هر یک از تخلیه‌کنندگان بار آلودگی گزینه‌های تصفیه را بر اساس هزینه‌های آن‌ها یعنی، مجموع هزینه‌های تصفیه و جریمه تخطی از استاندارد کیفی، اولویت‌بندی می‌کنند و به این ترتیب ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل می‌شود. پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری برای لحاظ کردن نظرات تخلیه‌کننده‌ها، از روش‌های مختلف گزینش اجتماعی برای انتخاب گزینه مطلوب تصفیه استفاده می‌شود. در نهایت با اختصاص گزینه انتخاب شده توسط رویکرد گزینش اجتماعی به‌عنوان مجوز اولیه تخلیه، فرایند تجارت مجوزهای تخلیه بار آلودگی بین تخلیه‌کنندگان انجام شده و میزان درصدهای نهایی تصفیه و هزینه‌های آن‌ها تعیین می‌شود.

در این مقاله، برای آنکه تصمیم‌گیرنده‌ها در شرایط مختلف انتخاب‌های مناسب‌تری داشته باشند، دیدگاه سناریویی در نظر گرفته شد. به این ترتیب که از طریق پرسشنامه سناریوهایی مشخص شد که هر یک از منابع آلاینده قادر به اجرای آن بودند. برای هر گروه آلاینده، چهار سناریوی تصفیه فاضلاب درنظر گرفته شد. سناریوهای ۱تا ۴ به‌ترتیب نشان‌دهنده تصفیه کامل ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد فاضلاب‌های ورودی بودند. ترکیب این سناریوهای تصفیه برای تخلیه‌کنندگان یک گزینه تصفیه را تشکیل داد. بر اساس میزان تخطی از استاندارد کیفی مربوط به هر یک از گزینه‌های تصفیه، هزینه‌ای به‌عنوان جریمه تخطی از استاندارد کیفی به منابع آلاینده تعلق گرفت. مقدار جریمه تخصیص یافته به هر یک از منابع آلاینده برابر با هزینه اضافی بود که باید هر یک برای رسیدن به غلظت استاندارد متغیر کیفی شاخص متحمل شوند. غلظت استاندارد DO، ۳/۵ میلی‌گرم در لیتر در نظر گرفته شد. در نهایت هزینه هر یک از گزینه‌های تصفیه، به‌صورت مجموع هزینه‌های تصفیه و جریمه تخطی از استاندارد کیفی تعیین شد.

Archive of SID

www.SID.ir

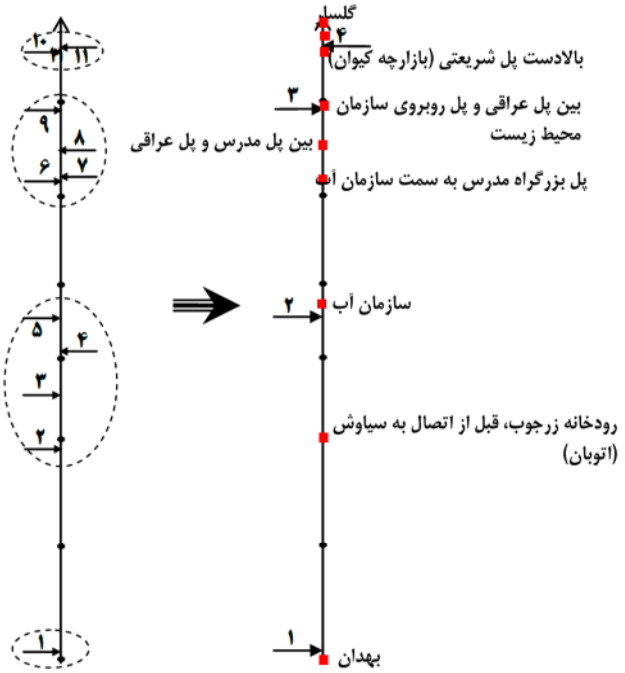


شکل ۱- ساختار مدل پیشنهادی برای تعیین گزینه مطلوب تصفیه

۴- مطالعه موردی

کارایی مدل پیشنهادی با استفاده از اطلاعات هیدرولیکی و کیفی رودخانه زرجوب به‌طول ۲۴ کیلومتر ارزیابی شد. این رودخانه از شهر رشت و حومه آن عبور می‌کند و در نهایت به تالاب انزلی می‌ریزد. رودخانه زرجوب که مهم‌ترین منبع تأمین آب مورد نیاز برای فعالیت‌های کشاورزی در منطقه است، توسط سازمان حفاظت از محیط زیست به‌عنوان یکی از رودخانه‌های آلوده کشور معرفی شده است. آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های شهری و صنعتی در کنار رودخانه، منجر به نابودی صدها گونه گیاهی و جانوری در اکوسیستم کم‌نظیر تالاب انزلی شده است. این امر لزوم انجام مطالعات دقیق بر روی این رودخانه را بیش از پیش روشن می‌سازد.

از آنجا که احداث تصفیه‌خانه فاضلاب، برای هر منبع آلاینده غیراقتصادی است، در این پژوهش یازده منبع آلودگی نقطه‌ای رودخانه که از نوع فاضلاب شهری‌اند به چهار گروه اصلی تقسیم شدند، تا فاضلاب هر گروه به‌طور جداگانه به یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری منتقل شود. شکل ۲ شماتیکی از موقعیت یازده منبع آلاینده نقطه‌ای رودخانه زرجوب و تقسیمات این منابع آلاینده به گروه‌های یادشده را نشان می‌دهد. همچنین در جدول ۳، مشخصات مربوط به دبی فاضلاب ورودی، غلظت BOD و جمعیت تحت پوشش هر تصفیه‌خانه مربوط به هر گروه آلاینده ارائه شده است.



شکل ۲- نمایی شماتیک از موقعیت بازه‌ها و منابع آلاینده رودخانه زرجوب [۲۰]

www.SID.ir

جدول۳- مشخصات کلی گروه‌های آلاینده [۲۰]

گروه‌های آلاینده	دبی فاضلاب ورودی (مترمکعب بر ثانیه)	غلظت BOD فاضلاب ورودی (میلی‌گرم در لیتر)	جمعیت تحت پوشش (نفر)
گروه ۱	۰/۰۸۲	۱۰۰	۳۹۸۴۰
گروه ۲	۰/۴۱۴	۴۶	۱۹۸۷۲۰
گروه ۳	۰/۲۱۷	۹۸	۱۰۴۱۶۰
گروه ۴	۰/۱۴۹	۱۸۰	۷۱۵۲۰

۵- نتایج و بحث

در این مقاله برای هر گروه آلاینده، چهار سناریوی تصفیه فاضلاب در نظر گرفته شد. سناریوها، ترکیبی از حالت‌های مربوط به تصفیه کامل و تصفیه مقدماتی فاضلاب شهری بودند. این سناریوها شامل تصفیه کامل صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد فاضلاب‌های ورودی می‌شدند. به‌عنوان مثال، درحالتی که ۳۰ درصد تصفیه کامل فاضلاب انجام شود، ۷۰ درصد از فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه، تحت تصفیه مقدماتی قرار می‌گیرد و در نهایت دوباره به فاضلابی که به‌طور کامل تصفیه شده است، می‌پیوندد و به رودخانه می‌ریزد. جدول ۴ مقادیر BOD خروجی تصفیه‌خانه را به‌ازای سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. این مقادیر بر اساس غلظت‌های BOD و دبی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه و فرض حذف ۹۰ درصد BOD در بخش تصفیه کامل و حذف ۳۰ درصدی در بخش تصفیه مقدماتی، محاسبه شد.

جدول۴- مقادیر خروجی تصفیه‌خانه به‌ازای سناریوهای مختلف (میلی‌گرم در لیتر)

سناریوها	گروه۱	گروه۲	گروه۳	گروه۴
۱	۷۰	۳۲	۶۹	۱۲۶
۲	۵۲	۲۴	۵۱	۹۴
۳	۳۴	۱۶	۳۳	۶۱
۴	۱۶	۷	۱۶	۲۹

در این پژوهش با توجه به این که گروه‌های آلاینده از نوع فاضلاب شهری بودند، برآورد هزینه‌های مربوط به تصفیه آلاینده‌ها، بر اساس برآورد هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب‌های شهری صورت گرفت و این کار برحسب ظرفیت تصفیه‌خانه و جمعیت تحت پوشش آن انجام شد. از آنجایی که هزینه‌های مربوط به ساخت تصفیه‌خانه معمولاً توسط دولت تأمین می‌شود، در این مقاله از هزینه‌های بهره‌برداری سالانه به‌عنوان هزینه‌های تصفیه استفاده شد. هزینه ساخت تصفیه‌خانه برای تصفیه‌خانه‌های با جمعیت تحت پوشش ۱۰ تا ۱۰۰ هزار نفر، برابر ۱۲۷ هزار تومان به‌ازای هر نفر و برای تصفیه‌خانه‌های با جمعیت تحت پوشش بیش از ۱۰۰ هزار نفر، برابر ۱۱۴ هزار تومان به‌ازای هر نفر در نظر گرفته شد. همچنین نسبت هزینه ساخت واحدهای تصفیه مقدماتی به هزینه احداث کلیه واحدهای مربوط به تصفیه کامل فاضلاب شهری ۲۵ درصد و این نسبت در مورد هزینه‌های بهره‌برداری سالانه ۱۰ درصد در نظر گرفته شد[۲۰]. هزینه‌های تصفیه مربوط به هر یک از منابع آلاینده که شامل مجموع هزینه‌های بهره‌برداری سالانه در هر یک از حالت‌های تصفیه کامل و مقدماتی فاضلاب شهری است در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول۵- هزینه‌های تصفیه مربوط به تخلیه‌کننده‌ها (میلیون ریال)

سناریوها	گروه۱	گروه۲	گروه۳	گروه۴
۱	۲۵۹	۱۲۹۲	۶۷۷	۴۶۵
۲	۹۵۸	۲۹۹۰	۱۵۶۸	۱۷۲۰
۳	۱۶۵۸	۴۶۹۰	۲۴۵۹	۲۹۷۵
۴	۲۳۵۷	۶۳۸۸	۳۳۴۹	۴۲۳۰

با ترکیب سناریوهای تصفیه، ۲۵۶ گزینه تصفیه تشکیل شد. به‌عنوان مثال، گزینه‌ای که با شناسه ۳۱۴۲ مشخص شده، گزینه‌ای است که شامل سناریوهای ۳، ۱، ۴ و ۲ به ترتیب برای تخلیه‌کنندگان ۱ تا ۴ است. هر یک از تخلیه‌کننده‌ها، این گزینه‌ها را بر اساس اولویت خود مرتب کنند. اولویت‌بندی گزینه‌ها برای هر تخلیه‌کننده طبق هزینه‌ای خواهد بود که هر گزینه به آن تخلیه‌کننده تحمیل می‌کند. هزینه تحمیل شده به هر تخلیه‌کننده با انتخاب گزینه مورد نظر، مجموع هزینه تصفیه مربوط به سناریوی تصفیه آن تخلیه‌کننده در گزینه مورد نظر، به‌علاوه هزینه مربوط به جریمه تخطی از استاندارد کیفی در نقطه کنترل پایین‌دست منابع آلاینده، در نتیجه انتخاب گزینه مورد نظر است. به این ترتیب ماتریس تصمیم‌گیری با ابعاد ۲۵۶×۴ تشکیل می‌شود.

بنابراین مطلوبیت سازمان محیط زیست با رعایت کیفیت آب در رودخانه در تمامی ۲۵۶ گزینه تصفیه تأمین شده است و مناسب‌ترین گزینه تصفیه با توجه به نظرات تخلیه‌کنندگان در یک فرایند گزینش اجتماعی انتخاب می‌شود. از بین ۲۵۶ گزینه تصفیه در رودخانه گزینه‌ای که بیشترین مقبولیت بین تخلیه‌کنندگان و در واقع ضمانت اجرایی بیشتری داشت، بر اساس کمترین هزینه‌های تحمیل شده به هر تخلیه‌کننده، تعیین شد.

کاربرد هر یک از روش‌های مختلف گزینش اجتماعی ممکن است منجر به خروجی متفاوتی شود. از آنجا که قانون جمع‌گرایی فقط به سطح اول مطلوبیت تصمیم‌گیران توجه می‌کند، برای حل مسائلی که در آن تصمیم‌گیران با گزینه‌های متفاوت زیادی روبرو

Archive of SID
www.SID.ir

هستند، این روش ممکن است خروجی مناسبی نداشته باشد. روش توافق اکثریت نسبت به قانون رأی‌گیری میانه مناسب‌تر است، زیرا علاوه بر به‌دست آوردن اکثریت آراء، به‌میزان آرای دریافتی گزینه برتر نیز توجه می‌کند و حداقل مطلوبیت تصمیم‌گیران بیشتری را برآورده می‌کند. روش عملی کاندورست نیز ممکن است خروجی مطلوبی را ارائه نکند؛ زیرا این روش کسب حداکثر آراء را فقط در سطح اول مطلوبیت تصمیم‌گیران بررسی می‌کند و در صورت عدم تحقق این شرط در سطوح مطلوبیت، گزینه‌ای دیگر که آراء بیشتری را به‌دست آورد به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود، در صورتی که ممکن است آن گزینه مورد توافق اکثریت نباشد. در روش‌های گزینش کاندورست و امتیازدهی بردا چون به تمام سطوح مطلوبیت و تمام گزینه‌ها توجه می‌شود، به‌نظر می‌رسد که خروجی حاصل از این روش‌ها مناسب‌تر از سایر روش‌ها باشد.

نتایج اعمال هر یک از روش‌های گزینش اجتماعی برای مدیریت کیفی رودخانه در جدول ۶ ارائه شده است. همچنین به‌عنوان نمونه جزئیات مربوط به گزینه ۱۴۱۱، گزینه انتخاب شده توسط روش رأی‌گیری میانه در جدول ۷ ارائه شده است. با توجه به جدول ۶ مشاهده می‌شود که روش‌های گزینش اجتماعی کاندورست و امتیازدهی بردا نسبت به سایر روش‌ها، هزینه‌های کمتری را برای رعایت معیار حفظ کیفیت آب رودخانه به سیستم تحمیل می‌کنند، بنابراین گزینه تصفیه انتخاب شده توسط این روش‌ها یعنی گزینه ۲۱۱۲ که قابلیت اجرای بالاتری دارد، به‌عنوان سیاست مناسب تخصیص بار آلودگی انتخاب شد.

برای اعمال رویکرد تجارت بار آلودگی ابتدا با استفاده از مدل شبیه‌سازی کیفی Qual2kw و رابطه ۱ مقادیر ضرایب انتقال و نسبت-تجارت تعیین شد. این مقادیر به‌ترتیب در جدول‌های ۸ و ۹ آورده شده است. همچنین ظرفیت پذیرش و میزان مجوز اولیه تخلیه بار آلودگی برای هر ناحیه، توسط روابط ۲ و ۳ تعیین شد. این مقادیر در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود. در نهایت با استفاده از روابط ۴ تا ۷، فرایند تجارت مجوزهای تخلیه بار آلودگی بین تخلیه‌کنندگان انجام و میزان درصدهای نهایی تصفیه و هزینه‌های آن‌ها تعیین شد. در این فرایند گزینه تصفیه انتخاب شده توسط رویکرد گزینش اجتماعی کاندورست، به‌عنوان مجوز اولیه تخلیه بار آلودگی وارد مدل بهینه‌سازی شد. شایان ذکر است که برای حل روابط ۴ تا ۷ مدل بهینه‌سازی، از نرم‌افزار GAMS بهره گرفته شد.

در این مقاله، با انجام فرایند تجارت، هزینه‌های تصفیه کل سیستم نسبت به حالتی که تخصیص بار آلودگی فقط بر اساس رویکرد گزینش اجتماعی کاندورست انجام شود، کاهش یافت. هزینه‌های مربوط به هر یک از رویکردهای اعمالی در جدول ۱۱ ارائه شده است. با توجه به جدول ۱۱ در صورتی که فرایند تجارت بر اساس گزینه انتخابی روش گزینش کاندورست انجام شود، هزینه‌ها به‌میزان ۳۴۷۰ میلیون ریال نسبت به حالتی که تجارت بر اساس بارهای آلودگی اولیه انجام شود، کاهش می‌یابد. به این ترتیب سیاست مناسب تخصیص بار آلودگی بر اساس استفاده همزمان از دو رویکرد تجارت بار آلودگی و روش گزینش کاندورست است.

جدول۶- خلاصه نتایج روش‌های مختلف گزینش اجتماعی

روش گزینش اجتماعی	سناریوی انتخابی	هزینه‌های تصفیه (میلیون ریال)	هزینه‌های جریمه (میلیون ریال)	مجموع هزینه‌ها (میلیون ریال)
گزینش کاندورست	۲۱۱۲	۴۶۴۷	۳۰۷۰۵	۳۵۳۵۲
امتیازدهی بردا	۲۱۱۲	۴۶۴۷	۳۰۷۰۵	۳۵۳۵۲
قانون جمع‌گرایی	–	–	–	–
قانون رأی‌گیری میانه	۱۴۱۱	۷۷۸۹	۳۰۲۸۰	۳۸۰۶۹
توافق اکثریت	۱۴۱۱	۷۷۸۹	۳۰۲۸۰	۳۸۰۶۹
روش کاندورست عملی	۱۱۲۳	۶۰۹۴	۳۰۴۹۸	۳۶۵۹۲

جدول۷- جزئیات گزینه انتخاب شده توسط روش رأی‌گیری میانه

گروه تخلیه‌کننده	سناریوی انتخابی	درصد تصفیه کامل	هزینه تصفیه (میلیون ریال)	جریمه تخطی از استاندارد (میلیون ریال)
گروه ۱	۱	۰	۲۵۹	۱۵۰۴۸
گروه ۲	۴	۹۰	۶۳۸۸	۵۴۴۶
گروه ۳	۱	۰	۶۷۷	۱۹۵۳
گروه۴	۱	۰	۴۶۵	۷۸۳۳

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۸- ماتریس ضرایب انتقال بار آلودگی (r_{ij}) برحسب [۲۰] (mg/L DO) / (100 kg BOD)

شماره بازه		شماره بازه		
	۱	۲	۳	۴
۱	۰/۳	۰/۰۱۵	۰/۰۱	۰/۰۰۱
۲	۰	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۱
۳	۰	۰	۰/۰۵۸	۰/۰۲۹
۴	۰	۰	۰	۰/۰۱۹

جدول۹- ماتریس نسبت- تجارت (t_{ij}) [۲۰]

شماره بازه		شماره بازه		
	۱	۲	۳	۴
۱	۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۷
۲	۰	۱	۰/۴۵۶	۰/۷۰۳
۳	۰	۰	۱	۱/۵۴
۴	۰	۰	۰	۱

جدول۱۰- ظرفیت پذیرش بار آلودگی در بازه‌های مختلف رودخانه برحسب کیلوگرم بر روز [۲۰]

$\overline{T_1}$	$\overline{T_2}$	$\overline{T_3}$	$\overline{T_4}$
۴۳۲	۸۲۳	۴۳۸	۱۹۵۵

جدول۱۱- نتایج کلی تجارت مجوز تخلیه بار آلودگی

سیاست	هزینه‌ها (میلیون ریال)
گزینش کاندورست بدون تجارت آلودگی	۳۵۳۵۲
تجارت آلودگی بر اساس بار آلودگی اولیه	۶۷۷۲
تجارت آلودگی بر اساس گزینه انتخابی روش گزینش کاندورست	۳۳۰۲

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، جزئیات مدل پیشنهادی برای تعیین گزینه مناسب تصفیه، برای تخلیه‌کنندگان بار آلودگی ارائه شد. نتایج این پژوهش، نشان‌دهنده کارایی مناسب روش‌های گزینش اجتماعی و سیستم نسبت- تجارت توسعه‌یافته در تخصیص بار آلودگی در رودخانه‌ها است. ابتدا برای ایجاد امکان انتخاب‌های مناسب‌تر در شرایط مختلف، برای تصمیم‌گیرنده‌ها دیدگاه سناریویی تصفیه بار آلودگی مورد توجه قرار گرفت. سپس برای لحاظ کردن نظرات هر یک از تخلیه‌کنندگان بار آلودگی در فرایند تصمیم‌گیری و افزایش قابلیت اجرای سیاست‌های تخصیص بار آلودگی از رویکرد گزینش اجتماعی که در زمینه مدیریت کیفی رودخانه کمتر مورد توجه بوده، استفاده شد. این رویکرد پیشنهادی، با تأکید بر اجماع آراء سعی دارد که تا آنجا که امکان دارد مطلوبیت‌های هر یک از تصمیم‌گیران به‌میزان یکسانی در گزینه نهایی فرایند تصمیم‌گیری منعکس شده باشند.

در نهایت به‌منظور کاهش هزینه‌های تصفیه و ایجاد انگیزه در واحدهای تخلیه‌کننده، برای شرکت در بهبود کیفیت آب رودخانه، رویکرد تجارت مجوزهای تخلیه بار آلودگی استفاده شد. گزینه انتخاب شده توسط روش گزینش اجتماعی کاندورست به‌عنوان مجوز اولیه تخلیه بار آلودگی وارد مدل بهینه‌سازی شد و فرایند تجارت بین تخلیه‌کننده‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که چنانچه به رویکردهای گزینش اجتماعی و تجارت بار آلودگی به‌طور همزمان توجه شود، هزینه‌های کل سیستم رودخانه به‌میزان چشمگیری کاهش می‌یابد. برای ادامه پژوهش‌ها در آینده، پیشنهاد می‌شود، مسئله تخصیص بار آلودگی بر اساس روش‌های گزینش اجتماعی با سایر روش‌های تصمیم‌گیری همچون روش‌های چانه‌زنی بازگشتی در یک مطالعه موردی واقعی، مقایسه شود. همچنین پیشنهاد می‌شود برای انتخاب گزینه مطلوب تصفیه علاوه بر شاخص‌های اقتصادی از سایر شاخص‌های مؤثر در فرایند تصمیم‌گیری نیز استفاده شود.

۷- مراجع

1. Sheikhmohammady, M., Kilgour, D.M., and Hipel, K.W. (2010). "Modeling the Caspian sea negotiations." *J. of Group Decision and Negotiation*, 19(2), 149-168.
2. Shalikarian, L., Madani, K., and Naeeni, S. (2011). "Finding the socially optimal solution for California's Sacramento-San Joaquin Delta problem." *Proceeding of the 2011 World Environmental and Water Resources Congress*, 3190-3197.
3. Mahjouri, N., and Bizhani-Manzar, M. (2013). "Waste load allocation in rivers using Fallback bargaining." *J. of Water Resources Management,* 27(7), 2125-2136.
4. Hung, M.F., and Shaw, D. (2005). "A trading-ratio system for trading water pollution discharge permits."

Archive of SID
www.SID.ir

J. of Environmental Economics and Management, 49(1), 83-102.
5. Niksokhan, M.H., Kerachian, R., and Karamouz, M. (2009). "A game theoretic approach for trading discharge permits in rivers." *J. of Water Science and Technology*, 60(3), 793-804.
6. Lopez-Villarreal, F., Rico-Ramirez, V., Gonzalez-Alatorre, G., Quintana-Hernandez, P.A., and Diwekar, U.M. (2011). "A mathematical programming approach to pollution trading." *J. of Industrial and Engineering Chemistry Research*, 51(17), 5922-5931.
7. Zhang, Y., Wu, Y., Yu, H., Dong, Z., and Zhang, B. (2013). "Trade-offs in designing water pollution trading policy with multiple objectives: A case study in the Tai Lake Basin, China." *J. of Environmental Science and Policy*, 33, 295-307.
8. Roberts, K. (2005). *Social choice theory and the informational basis approach*, Department of Economics, University of Oxford, UK.
9. Arrow, K.J. (1963). *Social choice and individual values*, Yale University Press, USA.
10. D'Angelo, A., Eskandari, A., and Szidarovszky, F. (1998). "Social choice procedures in water-resource management." *J. of Environmental Management*, 52(3), 203-210.
11. Young, P. (1995). "Optimal voting rules." *J. of Economic Perspectives*, 9, 51-64.
12. De Borda, J.C. (1781) *Memoire sur les elections au scrutiny*, Histoire de l'Academie Royale desSciences, Paris.
13. Merlin, V., Sanver, I.O., and Sanver, M.R. (2006). *Properties of majoritarian compromise, efficient compromise, and related compromise rules*, Springer Pub., Berlin.
14. Bassett Jr, G.W., and Persky, J. (1999). "Robust voting." *J. of Public Choice*, 99(3- 4), 299-310.
15. Sertel, M.R., and Yilmaz, B. (1999). "The majoritarian compromise is majoritarian optimal and subgame perfect implementable." *J. of Social Choice and Welfare*, 16(4), 615-627.
16. Nurmi, H. (1999). *Voting paradoxes and how to deal with them*, Springer, Berlin.
17. Mesbah, S.M., Kerachian, R., and Nikoo, M.R. (2009). "Developing real time operating rules for trading discharge permits in rivers: Application of Bayesian Networks." *J. of Environmental Modelling and Software*, 24(2), 238-246.
18. Pelletier, G.J., Chapra, S.C., and Tao, H. (2006). "QUAL2Kw-a framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration." *J. of Environmental Modelling and Software*, 21(3), 419-425.
19. Pelletier, G., and Chapra, S. (2005). "QUAL2Kw theory and documentation (version 5.1), A modeling framework for simulating river and stream water quality, retrieved." <http: //www.ecy.wa.gov/programs /eap/models/.> (May 2005).
20. Iran Water Resource Management Company. (2013). "Trading pollutant discharge permits for river water quality management." Applied Research Office, Tehran, Iran. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir