تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸
Volume 15, No. 4, Winter 2020 (IR-WRR)
۳۴۰-۳۵۱

ارزیابی طرح‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون: کاربرد روش تصمیم‌گیری چندمعیاری گروهی بای‌فازی

عباس عبدشاهی[۱*]، سیامک نیک‌مهر[۲] و مصطفی مردانی نجف‌آبادی[۳]

چکیده

در این مطالعه، طرح‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاری گروهی بای‌فازی و فازی مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین منظور، چهار معیار اصلی اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و فنی همراه با ۱۵ زیر معیار مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که معیار اقتصادی با وزن فازی (۰/۴۵۲، ۰/۳۱۰، ۰/۲۰۲) بیشترین تأثیر را در فرآیند ارزیابی داشته و معیارهای فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. نتایج همچنین نشان داد که رتبه‌بندی کلی طرح‌های کنترل سیلاب بر اساس روش‌های بای‌فازی و فازی با یکدیگر متفاوت می‌باشند. به‌طوری‌که رتبه‌بندی کلی طرح‌های کنترل سیلاب بر اساس روش بای‌فازی به شرح زیر است: احداث سدهای تأخیری، کانال‌های انحرافی، لایروبی، سیل بند، ساحل‌سازی و آبشکن. اما بر اساس روش فازی، احداث کانال‌های انحرافی و سد تأخیری به ترتیب اولویت‌های اول و دوم را دارا می‌باشد. بنابراین، بر اساس نتایج هر دو روش پیشنهاد می‌شود که سازمان آب و برق خوزستان به‌عنوان متولی رودخانه‌ی کارون، احداث سدهای تأخیری و کانال‌های انحرافی را در اولویت بالاتری نسبت به سایر روش‌های کنترل سیل قرار داده و منابع مالی مورد نیاز جهت اجرای این پروژه‌ها را تأمین نماید.

کلمات کلیدی: طرح‌های کنترل سیلاب، رودخانه‌ی کارون، تصمیم‌گیری چندمعیاری، بای‌فازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۷/۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۹/۱۴

۱- دانشیار اقتصادکشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
۲- دانشجوی دکتری اقتصاد منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۳- استادیار اقتصادکشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

Evaluation of Flood Control Projects in the Karun River: Application of Bifuzzy Multi-Criteria Group Decision Making Model

A. Abdeshahi [1], S. Nikmehr [2], and M. Mardani Najafabadi[3]*

Abstract

In this study, flood control projects in the Karun River were evaluated using bifuzzy and fuzzy multi- criteria group decision making model. For this purpose, four main criteria of economic, environmental, social and technical and fifteen sub-criteria were used. Then, optimistic and pessimistic scores were used to rank the projects according to different sub-criteria. The results showed that the economic criteria with fuzzy weight of (0.202, 0.310, 0.452) had the most impact on the evaluation process, and the technical, environmental and social criteria were ranked next. The results also showed that the overall ranking of flood control projects based on bifuzzy and fuzzy method is different. So that the ranking based on bifuzzy method as follows: Detention dam, diversion channel, dredging, dike, beach construction, and groyne. But based on the fuzzy method, diversion channel and detention dam have first and second priorities, respectively. So, based on the results of both methods, it is suggested that Khuzestan Water and Power Authority, as the proctor of Karun River, put the construction of detention dam and diversion channel in higher priority than other flood control projects and provide the funding needed to carry out these projects.

Keywords: Flood Control Projects, Karun River, Multi-Criteria Decision Making, Bifuzzy.

Received: September 26, 2019
Accepted: December 5, 2019

1- Associate Professor of Agricultural Economics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Molasani, Iran. Email: abdeshahi1349@asnrukh.ac.ir
2- Ph.D. Student of Environmental and Natural Resources Economics, Shiraz University, Shiraz, Iran.
3- Assistance Professor of Agricultural Economics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Molasani, Iran. Email: m.mardani@asnrukh.ac.ir
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

بر اساس تعاریف جهانی، ازهم‌گسیختگی جدی بخشی از جامعه که موجب تلفات و خسارات گسترده‌ی انسانی، اقتصادی و محیطی شده و فراتر از توان جامعه برای مقابله با آن باشد، بلای طبیعی نامیده می‌شود (Baharlouie et al., 2006). در میان بلایای طبیعی گوناگون، وقوع سیلاب‌های شدید در طی دهه گذشته، بیشترین تلفات و خسارات را به جامعه بشری وارد نموده و موجب تخریب گسترده‌ی مناطق مسکونی و مرگ ۵۳ هزار نفر در سراسر دنیا شده است (Yang et al., 2013). هرساله سطح وسیعی از کشور ما نیز تحت تأثیر طغیان آب رودخانه‌ها و سیلاب قرارگرفته و درنتیجه‌ی آن تأسیسات عمرانی، جاده‌های ارتباطی و زمین‌های کشاورزی تخریب می‌گردند (Fazlola and Fouladian, 2017). استان خوزستان از رودخانه‌های دائمی و بزرگی برخوردار است که از یک‌سو، حجم آب مطمئن و قابل‌ملاحظه‌ای را در استان فراهم نموده و از سوی دیگر، مخاطراتی نظیر وقوع سیلاب‌های مخرب و بزرگ را به دنبال دارند (Salahshouri and Vafaei Nezhad, 2012). کارون یکی از بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های ایران و استان خوزستان می‌باشد که رواناب مناطق وسیعی از کشور را جمع‌آوری نموده و به خلیج‌فارس می‌رساند (Morshedi et al., 2014). سالانه، سیل‌های متعددی در حوضه‌ی این رودخانه رخداده که هزینه‌های بسیاری را به مردم شهرها و روستاها تحمیل می‌نماید (Foroughifar, 2011). ازاین‌رو، لزوم مدیریت سیلاب‌های رودخانه‌ی کارون، به‌ویژه در محدوده‌ی شهر اهواز، امری مهم و حیاتی می‌باشد. مدیریت سیلاب شامل طیف وسیعی از اقداماتی است که برای کاهش اثرات مخرب سیلاب بر اجتماع انسانی، محیط‌زیست و اقتصاد یک منطقه انجام می‌شود. بر این اساس، برای ارزیابی اثرهای هر یک از این اقدامات، باید معیارهای متنوعی را لحاظ نمود (Noori et al., 2014). لذا، ارزیابی اقدامات مناسب مدیریت سیلاب یک مسأله‌ی تصمیم‌گیری پیچیده و چندبعدی بوده و استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری[1] در این زمینه ضرورت دارد. مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری به دو دسته عمده مدل‌های چندهدفه[2] و مدل‌های چندشاخصه[3] تقسیم می‌شوند. مدل‌های چندهدفه به‌منظور بهینه‌سازی اهداف کمی با توجه به محدودیت‌های مختلف استفاده می‌گردند. درحالی‌که مدل‌های چندشاخصه به‌منظور انتخاب گزینه برتر، بر اساس شاخص‌های متعدد کمی و کیفی به کار گرفته می‌شوند (Asgharpour, 2018). برخلاف رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه، در مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه گزینه تصمیم از ابتدا مشخص نیست و مجموعه‌ای از گزینه‌های تصمیم توسط خود مدل تعیین می‌شوند (Kahraman, 2008). معمولاً در پژوهش‌های مختلف، برای سادگی روش‌های چندشاخصه را تحت عنوان روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری می‌نامند.

ازآن‌جا که هدف از ارزیابی اقدامات مناسب مدیریت سیلاب، انتخاب بهترین گزینه موجود بر اساس معیارهای کمی و کیفی می‌باشد، مطالعات مختلفی از مدل‌های چندمعیاری (چندشاخصه) به‌منظور ارزیابی روش‌ها و راهکارهای کنترل و مدیریت سیلاب استفاده شده که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد.

Hu et al. (2016)، Zou et al. (2013)، Chen et al. (2011)، Danumah et al. (2016) و Shafiei and Ghanbarzadeh Lak (2018) از ترکیب روش‌های چندمعیاری و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی ریسک وقوع سیل و مکان‌یابی مناطق مستعد احداث پخش سیلاب استفاده نموده‌اند. از سوی دیگر، در برخی دیگر از مطالعات، طرح‌های کنترل سیلاب با استفاده از روش‌های چندمعیاری مورد ارزیابی قرارگرفته که از آن جمله می‌توان به مطالعه‌ی Bana e Costa et al. (2004) اشاره نمود که با استفاده از روش MACBETH و نظرات کارشناسان زمینه‌های مختلف، راهکارهای کنترل سیلاب در رودخانه لیورامنتو کشور پرتغال را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور از سه معیار فنی، اجتماعی و محیط زیستی استفاده نموده‌اند. همچنین، Banihabib and Laghabdoost Arani (2014) از تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل ارزیابی داده‌های ترکیبی به‌منظور ارزیابی رویکردهای مدیریت سیلاب حوزه گرگان رود استفاده نموده‌اند. نتایج رتبه‌بندی رویکردها نشان داد که بر اساس روش سلسله‌مراتبی، احداث سدهای مخزنی و بر اساس روش داده‌های ترکیبی، سیستم هشدار سیل بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند. Karamouz and Taheri (2019) نیز در مطالعه‌ای به‌منظور ارائه راهکارهای مدیریتی مقابله با مخاطرات سیلاب، ابتدا از نرم‌افزار WMS، برای تعیین گستره و عمق آب‌گرفتگی ناشی از سیلاب در منطقه برانکس شهر نیویورک استفاده نمودند. سپس ضمن معرفی استراتژی‌های کاهش‌دهنده اثرات مخرب سیلاب در منطقه موردمطالعه، بهترین استراتژی را با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و ۵ معیار درجه کاهش خطر، زیبایی، هزینه‌های ساخت، هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری و سطح سازگاری با طبیعت انتخاب نمودند.

اما باوجود سادگی روش‌های چندمعیاری در لحاظ نمودن متغیرهای کمی و کیفی در مسائلی که بر پایه‌ی داوری افراد تصمیم‌گیرنده استوار است، ابهام موجود در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری می‌تواند باعث داوری نادقیق تصمیم‌گیرندگان شود. به این دلیل، استفاده از مدل‌های

تصمیم‌گیری چند معیاری فازی پیشنهاد شده است. این مدل‌ها با ادغام تئوری مجموعه‌های فازی و روش‌های چندمعیاری به‌صورت نظام‌مند درآمده‌اند (Sánchez-Lozano et al., 2016). مطالعات مختلفی، از جمله Yang et al. (2013)، نیز از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاری فازی به‌منظور ارزیابی روش‌های کنترل سیلاب استفاده کرده‌اند. این محققین با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به ارزیابی اقدامات کاهش ریسک سیل پرداختند. در این مطالعه، از معیارهای کاهش احتمال وقوع ریسک سیل، کاهش ریسک خسارت‌های ناشی از سیل، کنترل‌ناپذیری و معیار هزینه استفاده گردیده است. نتایج نشان داد که راهکار افزایش دقت پیش‌بینی بارش باران، دارای بالاترین اولویت در میان راهکارهای مختلف می‌باشد. همچنین، Nikmehr and Zibaei (2015) طرح‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون را با استفاده از روش تلفیقی تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تاپسیس مورد بررسی قرار دادند. برای ارزیابی این طرح‌ها، از معیارهای مختلف و ۱۸ زیر معیار جهت ارزیابی استفاده شده است. نتایج مطالعه نشان داد که معیار اقتصادی با وزن ۰/۴۲۶، بیشترین اهمیت را دارا است. همچنین، طرح ساحل‌سازی بالاترین اولویت را در میان طرح‌ها دارد. Azarnivand and Malekian (2016) نیز ابتدا با استفاده از روش SWOT، راهکارهای کنترل ریسک سیلاب در حوضه‌ی آبریز شمشک را استخراج نموده و سپس با استفاده از روش اعداد فازی شهودی، به اولویت‌بندی این راهکارها مبادرت نمودند. اما نتایج روش تصمیم‌گیری چندمعیاری بای‌فازی[۴] در مطالعاتی که دارای معیارهای کیفی نیز هستند، از دقت بالاتری برخوردار است. زیرا در این روش، به دلیل ذهنی بودن امتیازها، برای ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارهای کیفی، دو امتیاز خوش‌بینانه و بدبینانه در نظر گرفته می‌شود. در همین رابطه، Taib et al. (2013) از روش تصمیم‌گیری گروهی بای‌فازی به‌منظور ارزیابی پروژه‌های کنترل سیل در ایالت کلانتان کشور مالزی استفاده نمودند. در این مطالعه، از ۴ معیار اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و فنی و ۱۸ زیر معیار کمی و کیفی استفاده شد. وزن معیارهای اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و فنی به ترتیب ۰/۴۶۰، ۰/۳۵۳، ۰/۱۳۷ و ۰/۰۵۰ به دست آمد. نتایج نشان داد که احداث سد مخزنی، ایجاد سیل برها در مسیر آب رودخانه، احداث سیل بند و بهبود کانال‌ها به ترتیب دارای اولویت‌های اول تا چهارم می‌باشند.

بنابراین با توجه به وجود زیر معیارهای کمی و کیفی متعدد در زمینه ارزیابی راهکارهای مقابله با مخاطرات سیل، هدف از انجام مطالعه‌ی حاضر، ارزیابی طرح‌های کنترل سیلاب در رودخانه‌ی کارون و اولویت‌بندی آن‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی چندمعیاری بای‌فازی است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه‌ی موردمطالعه

رودخانه‌ی کارون، با طول ۸۶۰ کیلومتر، طولانی‌ترین رودخانه‌ی کشور محسوب می‌شود. این رودخانه، از رشته‌کوه‌های زاگرس در غرب ایران سرچشمه گرفته و با عبور از مناطق کوهستانی، وارد دشت خوزستان شده و در شهرستان شوشتر به دوشاخه‌ی گرگر و شطیط تقسیم شده که در محل بند قیر این دو شاخه مجدداً به هم ملحق می‌گردند. در همین منطقه، رودخانه‌ی دز که یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین شاخه‌های کارون بزرگ است، به آن می‌پیوندد. کارون پس از گذر از شهر اهواز، در پنج کیلومتری شمال خرمشهر به شاخه‌های بهمنشیر و حفار تقسیم و پس از تلاقی با رودخانه‌ی مرزی اروندرود وارد خلیج‌فارس می‌گردد. موقعیت رودخانه‌ی کارون در شکل ۱ مشخص‌شده است.

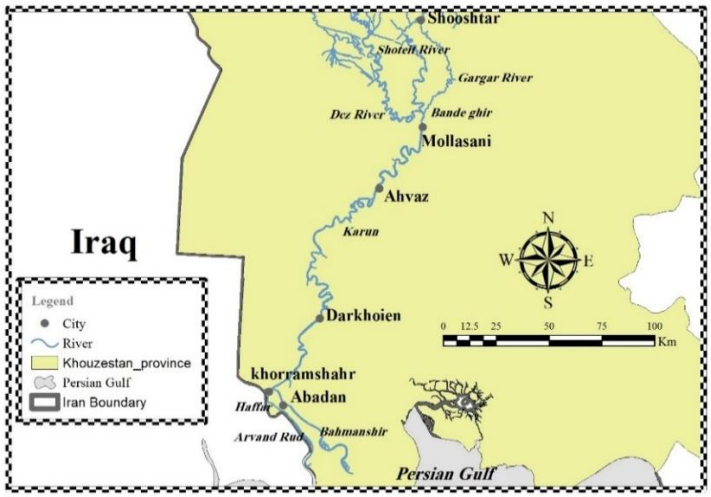

Fig. 1- Location of the Karun River

شکل ۱- موقعیت رودخانه‌ی کارون

۲-۲- روش‌های کنترل سیلاب در رودخانه‌ی کارون

به‌طورکلی، روش‌های کنترل سیلاب به دودسته‌ی سازه‌ای و غیرسازه‌ای تقسیم می‌شوند. روش‌های سازه‌ای، به کلیه‌ی فعالیت‌هایی گفته می‌شود که با احداث سازه‌های مهندسی، سعی در کاهش دبی اوج سیلاب، افزایش ظرفیت رودخانه‌ها، جلوگیری از طغیان رودخانه‌ها و انتقال و هدایت آب اضافی به مناطق دیگر دارد (Mokhtari, 2009). اما در روش‌های غیر سازه‌ای نحوه برخورد با مسأله سیل و کاهش خسارات آن بیشتر جنبه نرم‌افزاری و مدیریتی دارد و برای رفع یا تسکین اثرات تخریبی سیلاب، سازه فیزیکی احداث نمی‌شود (Khademi and Akbari, 2014). با توجه به شرایط رودخانه‌ی کارون، کارشناسان رویکردهای سازه‌ای متفاوتی را برای مدیریت سیلاب در محدوده‌ی این رودخانه پیشنهاد داده‌اند که در ادامه مورد بررسی قرارگرفته‌اند.

سدهای تأخیری[۵]: بر اساس نظر کارشناسان و بررسی‌های انجام شده، احداث دو سد تأخیری در مقاطع مختلف رودخانه‌ی کارون می‌تواند از گزینه‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون باشد.

عملیات ساحل‌سازی[۶]: این روش با ساخت و نصب شمع‌های بتنی و جایگذاری دیوار بتنی پشت شمع‌ها، ضمن ساماندهی رودخانه، از نظر کنترل فرسایش و حفاظت دیواره‌های ساحلی در دوره‌های سیلابی که آب رودخانه از سواحل طبیعی خود بیرون می‌رود، نقش عمده‌ای در کنترل سیلاب داشته و بخش عمده‌ی زمین‌های اطراف رودخانه را از آب‌گرفتگی محافظت نماید. نمونه‌های موفقی از این طرح در ساحل رودخانه‌ی کارون در محدوده‌ی شهر اهواز و همین‌طور در اروندرود انجام شده است (Morshed Behbahani, 2014).

سیل بند[۷]: محدود نمودن جریان سیلاب در عرض معینی از رودخانه به کمک سازه‌هایی مانند دیواره‌های سیل بند انجام می‌گیرد. این سازه‌ها از پخش شدن و گسترش سیلاب در زمین‌های اطراف رودخانه جلوگیری نموده و آن را در یک مسیر و مجرای مشخص و محدودی هدایت می‌کند. استفاده از سیل‌بند، برای کنترل سیلاب مقاطع رود گرگر و پایین‌دست رودخانه‌ی کارون پیشنهاد شده است.

حفر کانال‌های انحرافی[۸]: انحراف آب از رودخانه‌ی کارون به اراضی بایر جناح چپ در حد فاصل بند قیر تا آبادان و سپس انتقال آن توسط نهر ماله به هور شادگان و همچنین افزایش ظرفیت نهر بحره که در محدوده‌ی انتهایی شهر اهواز، آب رودخانه کارون بزرگ را به هور شادگان منتقل می‌کند، به‌عنوان گزینه‌های انحراف سیل در حوضه‌ی رودخانه‌ی کارون مدنظر می‌باشد (Heidari et al., 2006).

آب‌شکن[۹]: سازه‌های هدایت‌کننده‌ای هستند که تحت زاویه‌ای با جریان آب (عمود بر جریان آب یا به‌صورت مایل با آن) از جدار رودخانه تا قسمتی از عرض رودخانه امتداد دارند. این دیواره‌های عرضی گاهی به‌صورت یک سری متوالی و گاهی به‌صورت منفرد، باعث انحراف آب از محل کناره‌ها و هدایت آن به سمت وسط رودخانه می‌شوند (Khademi and Akbari, 2014).

لایروبی رودخانه[۱۰]: حجم بالای آب و گل و لایی که سالانه در بستر رودخانه‌ی کارون در جریان می‌باشد، منجر به رسوب‌گذاری این مواد و ایجاد جزایر متعدد شده است (Safarian, 2017). رسوب‌گذاری رودخانه‌ی کارون بعد از سیلاب بهار سال ۱۳۹۸ منجر به کاهش دبی عبوری از این رودخانه در مقاطع مختلف آن گردیده که لزوم لایروبی رودخانه قبل از فصل بارندگی را بیش از پیش مشخص کرده است.

۲-۳- مدل تصمیم‌گیری گروهی بای‌فازی برای ارزیابی طرح‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون

در این مطالعه، ابتدا با بررسی مطالعات مختلف در زمینه ارزیابی روش‌های کنترل سیل، ۱۵ زیر معیار در قالب ۴ معیار اقتصادی، فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی انتخاب شدند. معیار اقتصادی شامل چهار زیرمعیار هزینه‌های عملیاتی پروژه، هزینه‌ی نگهداری، خسارات سالانه و نرخ بازگشت سرمایه می‌باشد. معیار اجتماعی نیز از زیرمعیارهای ایجاد اشتغال، مقبولیت اجتماعی و ایجاد فعالیت‌های تفریحی و سرگرمی تشکیل شده است. از سوی دیگر، معیار زیست‌محیطی نیز دارای زیرمعیارهای حفاظت از کیفیت آب، بهبود وضعیت خاک، حفاظت از مناظر طبیعی و حفاظت از زیستگاه حیات‌وحش می‌باشد. در نهایت، زیر معیار فنی شامل نرخ بازیابی[۱۱]، سهولت اجرا، عمر مفید و انعطاف‌پذیری است. منظور از نرخ بازیابی، مدت‌زمان بازگشت از وضعیتی که آثار سیلاب در آن مشهود است به وضعیت عادی (قبل از وقوع سیل) می‌باشد.

۲-۴- تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها

برای محاسبه‌ی وزن معیارها و زیرمعیارها از روش سلسله‌مراتبی فازی استفاده شد که شامل مراحل زیر است:

ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی: اولین مرحله در یک مسأله تصمیم‌گیری، تعیین ساختار سلسله مراتبی می‌باشد. در این روش، هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها در یک ساختار سلسله‌مراتبی شبیه یک درخت تنظیم می‌شوند.

مقایسه زوجی: در این مرحله، مقایسه‌ی زوجی معیارها و زیرمعیارها با استفاده از اعداد فازی موجود در مطالعه Sevkli et al. (2012) صورت گرفته و ماتریس مقایسه‌ی زوجی فازی برای معیارها و زیرمعیارها به‌صورت رابطه (۱) تشکیل می‌شود.

$$D=\begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1m} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \cdots & \tilde{a}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{m1} & \tilde{a}_{m2} & \cdots & \tilde{a}_{mm} \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

که $\tilde{a}_{ij}=\tilde{1}=(1,1,1)$ for all i=j (i,j=1,2,...,m) and $\tilde{a}_{ji}=\frac{1}{\tilde{a}_{ij}}$ for $i\neq j$ می‌باشد. سپس، با استفاده از رابطه ۲، وزن فازی هر معیار تعریف می‌شود (Şener and Şener, 2015):

$$w_i^{att}=\sum_{j=1}^{m}\tilde{a}_{ij}\otimes\left[\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m}\tilde{a}_{ij}\right]^{-1}, i=1,2,...,m. \qquad (۲)$$

ازآن‌جا که در این مطالعه هر معیار دارای تعدادی زیرمعیار می‌باشد، باید وزن نسبی زیرمعیارها را نیز نسبت به معیار مورد نظر محاسبه نمود. برای این منظور، ماتریس مقایسه‌ی زوجی فازی زیرمعیارها بر اساس معیار مورد نظر تشکیل شده و با استفاده از مقدار ترکیبی فازی، وزن نسبی هر زیر معیار به دست می‌آید. درنهایت، سازگاری وزن‌های به‌دست‌آمده با استفاده از روش معرفی‌شده در مطالعه‌ی Gogus and Boucher (1998) مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۵- امتیازدهی طرح‌های کنترل سیلاب

بر اساس تئوری بای‌فازی، برای مجموعه‌ی فازی M، دو عدد $\mu_M(x):X\rightarrow[0,1]$ و $\nu_M(x):X\rightarrow[0,1]$ تعریف می‌شود که به ترتیب درجه‌ی مثبت [۱۲] و منفی بودن[۱۳] مجموعه‌ی فازی M می‌باشند. بدین منظور، شرط $0<1-\mu_M(x)-\nu_M(x)\leq 1+\varepsilon$ نیز برقرار است که در آن، ε یک مقدار منفی بسیار کوچک است (Zamali et al., 2008). بر این اساس، در این مطالعه، امتیاز طرح‌های کنترل سیلاب برای زیرمعیارهای مختلف به دو صورت خوش‌بینانه (درجه‌ی مثبت بودن) و بدبینانه (درجه‌ی منفی بودن) در نظر گرفته‌شده و ماتریس تصمیم متناقض بای‌فازی[۱۴] بر اساس n گزینه و m زیرمعیار به‌صورت رابطه‌ی (۳) تعریف می‌شود:

$$DM=\begin{bmatrix} (R_{11}^{+},R_{11}^{-}) & (R_{12}^{+},R_{12}^{-}) & \cdots & (R_{1j}^{+},R_{1j}^{-}) \\ (R_{21}^{+},R_{21}^{-}) & (R_{22}^{+},R_{22}^{-}) & \cdots & (R_{2j}^{+},R_{2j}^{-}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (R_{i1}^{+},R_{i1}^{-}) & (R_{i2}^{+},R_{i2}^{-}) & \cdots & (R_{nm}^{+},R_{nm}^{-}) \end{bmatrix} \qquad (۳)$$

که $R_{ij}^{+}=(a_{ij}^{+},b_{ij}^{+},c_{ij}^{+})$ و $R_{ij}^{-}=(a_{ij}^{-},b_{ij}^{-},c_{ij}^{-})$ به ترتیب، امتیاز خوش‌بینانه و بدبینانه i امین گزینه با توجه به j امین زیرمعیار می‌باشد. بنابراین، هر کارشناس بر اساس زیرمعیارهای مختلف، به گزینه‌های مختلف یک امتیاز خوش‌بینانه و یک امتیاز بدبینانه اختصاص می‌دهد (Taib et al., 2015). برای این کار، از متغیرهای کلامی، علامت اختصاری و عدد فازی متناظر موجود در جدول ۱ استفاده می‌شود (Wang and Lee, 2009).

اما در مطالعات چندمعیاری، از نظرات کارشناسان در زمینه‌های مختلف به‌منظور ارزیابی استفاده می‌شود. ممکن است که سطح اطلاعات و دانش این کارشناسان در رابطه با موضوع مورد بررسی متفاوت می‌باشد. بنابراین وزن‌دهی به کارشناسان برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. ازاین‌رو، در این مطالعه به‌منظور تجمیع امتیاز کارشناسان مختلف برای طرح‌های کنترل سیل، برای هرکدام از کارشناسان یک وزن در نظر گرفته شد و این وزن، از تلفیق دو روش تکنیک ارزیابی وزنی[۱۵] $W(e_u)$ ارائه شده توسط Ölçer and Odabaşi (2005) و درجه‌ی شباهت نسبی[۱۶] $\tilde{S}(e_u)$ محاسبه شد.

۲-۵-۱- درجه‌ی شباهت نسبی

با توجه به این موضوع که در این مطالعه، تصمیم‌گیری توسط کارشناسان با زمینه‌های پژوهشی متفاوت صورت می‌گیرد، محاسبه‌ی درجه شباهت برای آن‌ها، امری ضروری می‌باشد.

Table 1- Linguistic variables and thier corresponding fuzzy numbers

جدول ۱- متغیرهای کلامی و اعداد فازی مربوط به آن‌ها

Level of importance	Abbreviation	Fuzzy number
Very Poor/Very Low	VP/VL	(0,0,0.2)
Poor/Low	P/L	(0.05,0.2,0.35)
Medium Poor/Medium Low	MP/ML	(0.2,0.35,0.5)
Medium	M	(0.35,0.5,0.65)
Medium Good/Medium High	MG/MH	(0.5,0.65,0.8)
Good/High	G/H	(0.65, 0.8,0.95)
Very Good/Very High	VG/VH	(0.8,1,1)

برای k تصمیم‌گیرنده، درجه‌ی شباهت هر جفت تصمیم‌گیرنده (e_u, e_v) برای $u, v = 1,....,k$ و $u \neq v$ به‌وسیله‌ی معیار شباهت $S_{uv} = (R_u, R_v)$ اندازه‌گیری می‌شود. اگر $N = R_u = (R_{ij}^+, R_{ij}^-)_u$ و $M = R_v = (R_{ij}^+, R_{ij}^-)_v$ باشد، آنگاه معیار شباهت که نشان‌دهنده‌ی میزان نزدیک بودن نظرات هر دو کارشناس می‌باشد، با استفاده از رابطه‌ی (۴) به دست می‌آید:

$$S_{uv}(M,N) = 1 - \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{\varphi_1(x_i) + \varphi_2(x_i)}{2n} \right) \quad (۴)$$

که:

$$\varphi_1(x_i) = \left| \left(\frac{\mu_M(x_i) + (1-\gamma_M(x_i))}{2} \right) - \left(\frac{\mu_N(x_i) + (1-v_N(x_i))}{2} \right) \right| \quad (۵)$$

$$\varphi_2(x_i) = \left| \frac{\mu_M(x_i) - \mu_N(x_i)}{2} \right| + \left| \frac{1-\gamma_M(x_i)}{2} - \frac{1-v_M(x_i)}{2} \right| \quad (۶)$$

در معادلات (۵) و (۶)، $\mu_M(x_i)$ و $\mu_N(x_i)$ به ترتیب میانگین امتیازهای خوش‌بینانه و $\gamma_M(x_i)$ و $v_N(x_i)$ میانگین امتیازهای بدبینانه دو کارشناس M و N می‌باشد. اگر مقدار درجه‌ی شباهت $S_{uv}(M,N) = 1$ باشد، نشان‌دهنده‌ی شباهت کامل نظرات دو کارشناس است. در نهایت، ماتریس توافق[۱۷] به‌صورت رابطه‌ی (۷) تشکیل می‌گردد:

$$AM = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1k} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{k1} & S_{k2} & \cdots & S_{kk} \end{bmatrix} \quad (۷)$$

که اگر $u \neq v$، $S_{uv} = S_{uv}(M,N)$ و اگر $u = v$ باشد، $S_{uv} = 1$. سپس میانگین درجه‌ی شباهت هر کارشناس e_u با کمک رابطه‌ی (۸) محاسبه می‌شود:

$$\bar{S}(e_u) = \frac{1}{k-1} \sum_{\substack{u,v=1 \\ u \neq v}}^{k} S_{uv} \quad (۸)$$

سپس درجه‌ی شباهت نسبی با استفاده از رابطه‌ی (۹) به دست می‌آید (Wibowo, and Deng, 2013):

$$\tilde{S}(e_u) = \frac{\bar{S}(e_u)}{\sum_{u=1}^{k} \bar{S}(e_u)} \quad (۹)$$

۲-۵-۲- ترکیب وزن کارشناسان و تجمیع امتیازها

در این مرحله، با استفاده از فاکتور β $(1 \leq \beta \leq 0)$، وزن به‌دست‌آمده از روش‌های درجه شباهت نسبی و تکنیک ارزیابی وزنی، ضریب اجماع[۱۸] $\hat{C}C(e_u)$ با استفاده از رابطه‌ی (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$\hat{C}C(e_u) = \beta W(e_u) + (1-\beta)\tilde{S}(e_u) \quad (۱۰)$$

در آخرین مرحله، ماتریس امتیاز تجمیع‌شده فازی با استفاده از رابطه‌ی (۱۱) محاسبه می‌گردد:

(۱۱)

$$R_{agg} = \left[\hat{C}C(e_1) \otimes \hat{R}_1 \oplus \hat{C}C(e_2) \otimes \hat{R}_2 \oplus ..... \oplus \hat{C}C(e_k) \otimes \hat{R}_k \right]$$

که $\hat{R}_i$ مطابق رابطه‌ی (۱۲) تعریف می‌شود:

(۱۲)

$$\hat{R}_i = \frac{R_i^+ \oplus (1-R_i^-)}{2} = \left(\frac{a_{ij}^+ + (1-c_{ij}^-)}{2}, \frac{b_{ij}^+ + (1-b_{ij}^-)}{2}, \frac{c_{ij}^+ + (1-a_{ij}^-)}{2} \right)$$

۲-۵-۳- رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

به‌منظور رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها، وزن کلی زیرمعیارهای به‌دست‌آمده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و ماتریس تجمیع‌شده‌ی امتیاز گزینه‌ها وارد برنامه تاپسیس فازی گردید. روش تاپسیس فازی که توسط Chen (2000) ارائه شده است، نزدیک‌ترین گزینه به گزینه‌ی ایده‌آل را ارائه می‌نماید.

۲-۶- اطلاعات موردنیاز

در این مطالعه، به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات، پرسشنامه‌ای شامل دو بخش تهیه و در اختیار گروه شش‌نفره از کارشناسان خبره و متخصص بخش‌های مختلف سازمان آب و برق خوزستان قرار داده شد. در بخش اول پرسشنامه، ضمن معرفی معیارها، زیرمعیارها و طرح‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون، از جداول مقایسه‌ی زوجی به‌منظور تعیین وزن استفاده گردید. در قسمت دوم پرسشنامه، جداول امتیازدهی خوش‌بینانه و بدبینانه برای تعیین امتیاز طرح‌های کنترل سیلاب بر اساس زیرمعیارهای کیفی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین اطلاعات مربوط به زیرمعیارهای کمی، از پروژه‌های مشابه انجام شده توسط سازمان آب و برق خوزستان جمع‌آوری گردید.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- وزن معیارها و زیرمعیارها

نتایج وزن معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی طرح‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون در جدول ۲ ارائه شده است. ستون دوم جدول ۲ وزن فازی هر یک از معیارهای ارزیابی را نشان می‌دهد. از نظر کارشناسان، معیار اقتصادی با وزن فازی (۰/۴۵۲، ۰/۳۱۰، ۰/۲۰۲) تأثیرگذارترین معیار در ارزیابی عملکرد طرح‌های کنترل سیلاب می‌باشد. همچنین، معیار فنی با وزن (۰/۴۰۱، ۰/۲۷۶، ۰/۱۸۲)، در رتبه‌ی دوم اهمیت قرار دارد. معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی به ترتیب در رتبه‌های بعدی اثرگذاری قرار می‌گیرند. در مطالعات Taib et al. (2013) و

Nikmehr and Zibaei (2015) نیز معیار اقتصادی از بالاترین وزن برخوردار بوده است. نسبت سازگاری بر اساس روش پیشنهادی Gogus and Boucher (1998) برای معیارهای مختلف محاسبه و در ستون سوم و چهارم جدول ۲ آمده است. بررسی اعداد این دو ستون نشان می‌دهد که تمامی نسبت‌های سازگاری محاسبه‌شده کمتر از ۰/۱ بوده و لذا، مقایسه‌های زوجی زیرمعیارهای مختلف تمامی معیارها سازگار می‌باشند. وزن نسبی زیرمعیارها در ستون ششم جدول ۲ ارائه شده است. با بررسی این ستون مشخص می‌شود که از نظر تصمیم‌گیرندگان، زیر معیار خسارت سالانه با وزن نسبی (۰/۵۰۶، ۰/۳۵۲، ۰/۲۴۴) مهم‌ترین زیرمعیار اقتصادی است. در میان زیرمعیارهای اجتماعی نیز مقبولیت اجتماعی با وزن (۰/۵۷۴، ۰/۳۹۵، ۰/۲۵۹) بیشترین وزن را دارا می‌باشد. از سوی دیگر، حفاظت از کیفیت آب با (۰/۴۴۴، ۰/۳۰۳، ۰/۱۹۶) بالاترین اهمیت را در میان زیرمعیارهای زیست‌محیطی دارد. در نهایت از دید کارشناسان، عمر مفید با وزن نسبی (۰/۵۷۱، ۰/۴۰۵، ۰/۲۴۹) مهم‌ترین زیر معیار فنی می‌باشد. در ستون هفتم جدول ۲، وزن کلی هر زیر معیار مشخص‌شده است. وزن کلی هر زیر معیار، از ضرب فازی وزن معیارها در وزن نسبی هر زیر معیار به دست می‌آید. بر این اساس عمر مفید و خسارت سالانه به ترتیب با وزن فازی کلی (۰/۲۲۹، ۰/۱۱۱، ۰/۰۴۶) و (۰/۲۲۹، ۰/۱۰۹، ۰/۰۴۹) در بین سایر زیرمعیارها، بیشترین میزان اهمیت را در ارزیابی طرح‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون دارا است. این نتیجه با نتایج مطالعه‌ی Banihabib and Laghabdoost Arani (2014) مطابقت دارد.

۳-۲- تعیین امتیاز روش‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون

در ایـــن مرحله، ابتدا اطلاعات طرح‌های کنترل ســـیلاب رودخانه‌ی کارون برای هرکدام از زیرمعیارهای کمی شامل هزینه‌ی عملیاتی، هزینه‌ی نگهداری، عمر مفید و میزان اشتغال جمع‌آوری گردید. با توجه به این‌که اطلاعات مربوط به زیرمعیارهای کمی مانند نرخ بازگشت سرمایه و خسارت‌های سالانه برای تمامی طرح‌های کنترل سیلاب در دسترس نبود، برای بررسی طرح‌های کنترل سیلاب بر اساس این زیرمعیارها از نظر کارشناسان استفاده شد. مقادیر زیرمعیارهای کمی در جدول ۳ آمده است. این مقادیر بر اساس طرح‌های مشابه انجام‌شده و یا بر اساس برآورد کارشناسان به‌دست آمده‌اند. بر این اساس، می‌توان گفت که هزینه‌های عملیاتی و نگهداری طرح لایروبی رودخانه‌ی کارون به ترتیب ۶۰۰۰ و ۱۴۰ میلیارد ریال است که تفاوت زیادی با سایر طرح‌ها دارد. در میان طرح‌های مختلف، احداث آب‌شکن به ترتیب با ۶۱ و ۴/۲ میلیارد ریال دارای کمترین هزینه عملیاتی و نگهداری می‌باشد. اما در رابطه با زیرمعیارهای عمر مفید و اشتغال، طرح احداث سد تأخیری به ترتیب با ۵۰ سال و اشتغال ۲۵۰ نفر- روز بیشترین میزان اشتغال را ایجاد می‌نماید. کمترین عمر مفید نیز مربوط به روش لایروبی می‌باشد. زیرا هرساله با بارش‌های صورت گرفته در بالادست و شسته شدن رسوبات توسط رودخانه، این رسوبات در مقاطع مختلف کارون ته‌نشین شده و باید لایروبی مجدد انجام گیرد.

همان‌طور که گفته شد، در این مطالعه، کارشناسان بر اساس اطلاعات قبلی و دانشی که نسبت به طرح‌های کنترل سیلاب در اختیار داشتند، امتیاز هرکدام از طرح‌ها را برای زیر معیارهای کیفی و برخی زیر معیارهای کمی، به دو صورت خوش‌بینانه و بدبینانه مشخص نمودند. به‌عنوان نمونه، امتیازهای اختصاص داده‌شده توسط یکی از کارشناسان به طرح‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون در جدول ۴ آمده است. با بررسی سطر اول جدول، مشاهده می‌شود که بر اساس نظر کارشناس موردنظر در دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه، خسارت سالانه‌ی احداث

Table 2- The weight of criteria and sub-criteria

جدول ۲- وزن معیارها و زیرمعیارها

Criteria	Criteria weight	CR^M	CR^G	Sub-criteria	Local Weight	Overall weight
Economic	(0.202,0.310,0.452)	0.013	0.004	Operation cost	(0.169,0.235,0.328)	(0.034,0.073,0.148)
				Maintenance cost	(0.150,0.214,0.298)	(0.030,0.066,0.135)
				Annual Damage	(0.244,0.352,0.506)	(0.049,0.109,0.229)
				Rate of return	(0.142,0.199,0.279)	(0.028,0.061,0.126)
Social	(0.111,0.156,0.234)	0.000	0.008	Employment	(0.195,0.301,0.438)	(0.021,0.046,0.102)
				Social acceptability	(0.259,0.395,0.574)	(0.029,0.061,0.134)
				Recreation activity	(0.108,0.302,0.213)	(0.025,0.047,0.107)
Environmental	(0.173,0.258,0.396)	0.001	0.036	Water quality	(0.196,0.303,0.444)	(0.034,0.078,0.176)
				Soil impact	(0.189,0.292,0.432)	(0.032,0.075,0.171)
				Landscapes	(0.125,0.176,0.275)	(0.021,0.045,0.109)
				Wildlife	(0.158,0.229,0.340)	(0.027,0.059,0.135)
Technical	(0.182,0.276,0.401)	0.001	0.002	Lifetime	(0.249,0.405,0.571)	(0.046,0.111,0.229)
				Flexibility	(0.130,0.173,0.291)	(0.024,0.047,0.117)
				Rate of recovery	(0.121,0.171,0.260)	(0.022,0.047,0.104)
				Simplicity	(0.164,0.251,0.378)	(0.030,0.069,0.151)

Table 3- Values of quantitative sub-criteria

جدول ۳- مقادیر زیرمعیارهای کمی

Flood Control Project	Operation Cost (Billion Rials)	Maintenance Cost (Billion Rials)	Lifetime (Year)	Employment (Person-day)
Detention dam	83	8	50	250
Dike	620	62	30	50
Diversion channel	176	12.3	50	70
Groyne	61	4.2	20	50
Dredging	6000	140	2	50
Beach construction	440	30.8	15	50

Table 4- The score of flood control projects based on qualitative sub-criteria

جدول ۴- امتیاز طرح‌های کنترل سیلاب بر اساس زیرمعیارهای کیفی

Criteria	Sub criteria	Detention dam	Dike	Diversion channel	Groyne	Dredge	Beach construction
Economic	Annual Damage	(VL, L)	(L,ML)	(L,M)	(L,M)	(MH,H)	(L,M)
	Rate of return	(MH,M)	(H,MH)	(VH,MH)	(MH,M)	(ML,L)	(MH,M)
Social	Acceptability	(VH, H)	(VH, H)	(VH, H)	(MH,M)	(H,MH)	(MH,M)
	Recreation activity	(L,VL)	(L,VL)	(L,VL)	(L,VL)	(ML,L)	(MH,M)
Environmental	Water quality	(L,VL)	(L,VL)	(L,VL)	(L,VL)	(H,MH)	(L,VL)
	Soil Impact	(L,VL)	(L,VL)	(L,VL)	(L,VL)	(L,VL)	(L,VL)
	Landscape	(L,VL)	(L,VL)	(L,VL)	(ML,L)	(L, L)	ML,L)
	Wildlife	(ML, L)	(M,ML)	(M,ML)	(L,VL)	(ML, L)	(L,VL)
Technical	Flexibility	(ML, L)	(ML, L)	(L,VL)	(L,VL)	(M,ML)	(L,VL)
	Rate of recovery	(MH,M)	(MH,M)	(MH,M)	(M,ML)	(ML, L)	(M, ML)
	Simplicity	(L,VL)	(M,ML)	(ML,L)	(ML,L)	(M, ML)	(ML, L)

طرح سد تأخیری کمتر از سایر طرح‌های کنترل سیلاب می‌باشد. بر اساس معیار ایجاد فعالیت‌های تفریحی و سرگرمی، طرح ساحل‌سازی بهترین طرح کنترل سیلاب است. همچنین، بر اساس نظر این کارشناس، طرح لایروبی بیشترین تأثیر را بر بهبود کیفیت آب رودخانه‌ی کارون دارد.

۳-۳- تجمیع نظرات کارشناسان

در این مرحله، به‌منظور تجمیع نظرات کارشناسان مختلف، با استفاده از دو روش ارزیابی وزنی و درجه‌ی شباهت نسبی به هرکدام از کارشناسان یک وزن اختصاص داده‌شده که در جدول ۵ آمده است. ستون دوم جدول ۵ نشان می‌دهد که بر اساس تکنیک ارزیابی وزنی، بیشترین وزن به مقدار ۰/۲۰۸ متعلق به کارشناس شماره‌ی یک می‌باشد. این کارشناس که سوابق متعددی درزمینه‌ی طرح‌های کنترل سیلاب دارد و مطالعات مختلفی را در این زمینه انجام داده است، به‌عنوان شاخص در نظر گرفته شده و سایر کارشناسان با وی مقایسه شدند. با بررسی ستون سوم جدول ۵، ملاحظه می‌شود که بر اساس روش درجه‌ی شباهت نسبی، کارشناسان دارای وزن‌های نسبتاً مشابهی می‌باشند. ستون سوم جدول ۵ نشان‌دهنده‌ی ضریب اجماع میان کارشناسان است. برای محاسبه ضریب اجماع، $\beta = ۰/۷۵$ در نظر گرفته شد. بر این اساس بیشترین و کمترین ضریب اجماع به ترتیب برای کارشناسان شماره ۱ و ۵ در نظر گرفته شده است.

Table 5- The weight for experts

جدول ۵- وزن تخصیص داده شده به کارشناسان

Expert	$W(e_u)$	$\tilde{S}(e_u)$	$\hat{CC}(e_u)$
1	0.208	0.166	0.198
2	0.167	0.167	0.167
3	0.156	0.163	0.158
4	0.156	0.169	0.159
5	0.146	0.169	0.152
6	0.167	0.167	0.167

۳-۴- رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها بر اساس روش تصمیم‌گیری گروهی بای‌فازی و فازی

در این مرحله، با استفاده از ضریب اجماع و روابط (۱۱) و (۱۲)، ماتریس امتیاز تجمیع شده‌ی فازی به دست آمد. با قرار دادن ماتریس تجمیع شده‌ی فازی و وزن‌های به‌دست‌آمده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها بر اساس مدل تصمیم‌گیری گروهی بای‌فازی تعیین شد. به‌منظور رتبه‌بندی بر اساس روش فازی نیز فقط از امتیازهای خوش‌بینانه استفاده شده است. در شکل ۲، رتبه‌بندی کلی طرح‌های کنترل سیلاب بر اساس روش‌های بای‌فازی و فازی با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج این روش نشان می‌دهد که احداث کانال انحرافی بالاترین امتیاز را در میان طرح‌های کنترل سیلاب داشته و احداث سد تأخیری در رتبه دوم قرار دارد. سیل‌بند، آب‌شکن، ساحل‌سازی و لایروبی در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. اما بر اساس

روش بای‌فازی، گزینه‌ی احداث سدهای تأخیری بالاترین امتیاز را در بین طرح‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون دارا می‌باشد. احداث کانال انحرافی در رتبه‌ی دوم و لایروبی، سیل‌بند، ساحل‌سازی و آب‌شکن در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. با مقایسه نتایج روش‌های بای‌فازی و فازی مشخص می‌شود که اولویت‌های اول و دوم با یکدیگر جابه‌جا شده و در روش فازی، احداث کانال انحرافی در رتبه اول و سد تأخیری در رتبه دوم قرار می‌گیرد. همچنین طرح لایروبی از رتبه سوم به رتبه ششم رسیده است.

نتایج مطالعات Taib et al. (2013) در ایالت کلانتان مالزی و Banihabib and Laghabdoost Arani (2014) در حوضه رودخانه گرگان‌رود نشان داد که احداث سد مخزنی بهترین گزینه برای کنترل سیلاب در این حوضه‌ها است. اما بر اساس نظر کارشناسان سازمان آب و برق خوزستان به دلیل وجود چندین سد مخزنی در بالادست حوضه، این گزینه جزو اولویت‌های کنترل سیلاب حوضه کارون نمی‌باشد. از سوی دیگر نتایج مطالعه Nikmehr and Zibaei (2015) در حوضه رودخانه کارون نیز نشان داد که طرح ساحل‌سازی دارای بالاترین اولویت به‌منظور کنترل سیلاب رودخانه کارون می‌باشد. اما نتایج پژوهش حاضر (هر دو روش بای‌فازی و فازی) نشان داد که طرح ساحل‌سازی به دلیل بالا بودن هزینه‌های احداث و نگهداری از اولویت پایینی نسبت به سایر طرح‌ها برخوردار است.

رتبه‌بندی طرح‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون با استفاده از روش بای‌فازی و بر اساس هرکدام از معیارها نیز در نمودار ۳ ارائه شده است. بررسی نمودار نشان می‌دهد که رتبه‌بندی طرح‌ها بر اساس هرکدام از معیارها متفاوت می‌باشد. بر اساس معیار اقتصادی، احداث سد تأخیری و حفر کانال‌های انحرافی به ترتیب رتبه‌های اول و دوم را به خود اختصاص داده و لایروبی در رتبه‌ی آخر قرار دارد. از نقطه‌نظر معیار اجتماعی و زیست‌محیطی، لایروبی بهترین روش کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون می‌باشد. اما بر اساس معیار فنی، دو روش احداث سد تأخیری و حفر کانال‌های انحرافی، به ترتیب بالاترین و لایروبی پایین‌ترین امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند.

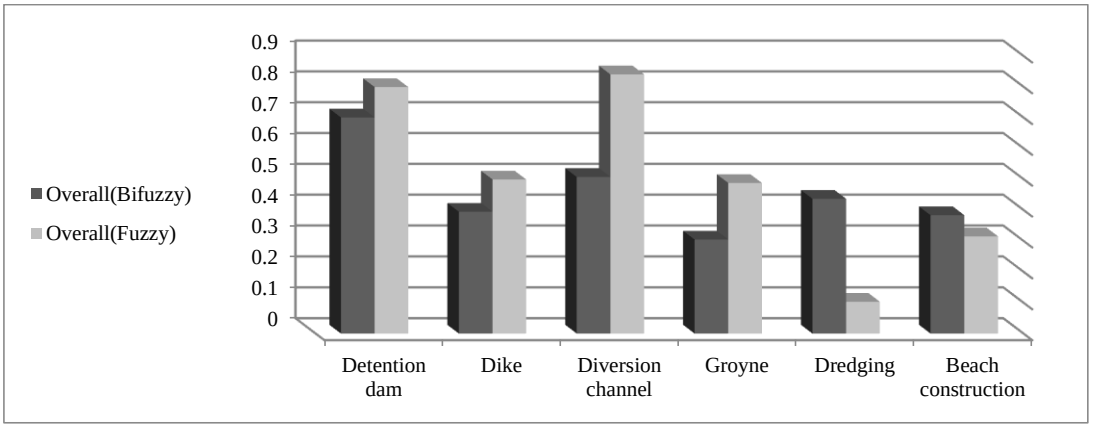

Fig. 2- Overall ranking based on Fuzzy and Bifuzzy methods

شکل ۲- رتبه‌بندی کلی بر اساس روش‌های فازی و بای‌فازی

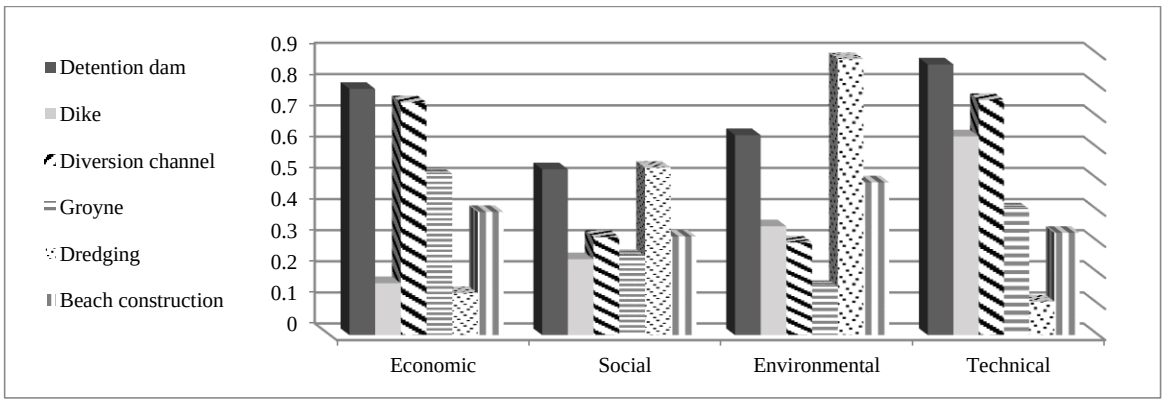

Fig. 3- Ranking of projects according to different criteria

شکل ۳- رتبه‌بندی طرح‌ها بر اساس معیارهای مختلف

۴- خلاصه و جمع‌بندی

نتایج مطالعه حاضر بیانگر آن است که معیارهای اقتصادی و اجتماعی به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تأثیرگذاری در ارزیابی عملکرد طرح‌های کنترل سیلاب می‌باشند. دلیل بالا بودن وزن معیار اقتصادی از نظر کارشناسان این است که مهم‌ترین امر در زمینه‌ی اجرای طرح‌های کنترل سیل هزینه‌ها و ریسک بازگشت سرمایه‌گذاری صورت گرفته و از همه مهم‌تر خسارت‌های ناشی از به‌کارگیری طرح کنترل سیلاب می‌باشد. همچنین خسارت‌های ناشی از به‌کارگیری طرح کنترل سیلاب، بیشترین اهمیت را در میان زیرمعیارهای اقتصادی دارد. همچنین، بر اساس نتایج، در میان زیرمعیارهای ارزیابی، عمر مفید و خسارت سالانه از بیشترین وزن کلی برخوردار می‌باشند.

همچنین نتایج رتبه‌بندی طرح‌های کنترل سیلاب بر اساس روش‌های فازی و بای‌فازی نشان داد که طرح‌های احداث سد تأخیری و کانال انحرافی از بالاترین اولویت‌ها برخوردار می‌باشند. روش بای‌فازی، برخلاف روش فازی برای تعیین امتیاز هرکدام از گزینه‌ها برای زیرمعیارهای کیفی، از دو نوع امتیاز بدبینانه و خوش‌بینانه استفاده می‌کند. با توجه به ذهنی بودن امتیازها، استفاده از دو امتیاز خوش‌بینانه و بدبینانه به بالا بردن دقت امتیاز داده‌شده کمک به‌سزایی خواهد نمود. بنابراین نتایج روش بای‌فازی از دقت بالاتری نسبت به روش فازی برخوردار می‌باشد. نتایج مدل بای‌فازی نشان داد که از نظر معیار اقتصادی، احداث سد تأخیری و کانال انحرافی با اختلاف کمی بیشترین و لایروبی کمترین امتیاز را در بین طرح‌های مختلف کنترل سیلاب دارند. دلیل این نتیجه می‌تواند تفاوت زیاد هزینه‌ی عملیاتی و نگهداری لایروبی، نسبت به سایر طرح‌ها باشد. به‌گونه‌ای که کارشناسان هزینه‌ی عملیاتی طرح لایروبی کامل رودخانه‌ی کارون را حدود ۶۰۰۰ میلیارد ریال برآورد می‌کنند؛ اما با هزینه‌های کمتر و با استفاده از روش‌های دیگر مانند سد تأخیری و کانال‌های انحرافی می‌توان سیلاب حوضه‌ی رودخانه‌ی کارون را به‌خوبی کنترل نمود. از سوی دیگر، بر اساس نظر کارشناسان، لایروبی رودخانه‌ی کارون نمی‌تواند به‌اندازه‌ی سایر طرح‌ها خسارت‌های ناشی از سیلاب را کاهش دهد. به‌طوری‌که اگر لایروبی کارون از بالادست اهواز تا پایین‌دست خرمشهر با حجمی حدود ۲۲ میلیون مترمکعب انجام می‌شد، در زمان سیلاب ارتفاع رودخانه تنها در حدود ۳۰ سانتی‌متر کاهش می‌یافت. این میزان با توجه به ارتفاع زیاد آب در محدوده‌ی جاده ساحلی اهواز، مقدار بسیار کمی می‌باشد. اما رسوب‌گذاری بیش از حد رودخانه‌ی کارون بعد از سیلاب بهار ۱۳۹۸ که منجر به کاهش ظرفیت رودخانه برای عبور سیلاب‌های آینده شده است، لایروبی این رودخانه را به مطالبه عمومی مردم، نمایندگان مجلس و اعضای شورای شهر تبدیل نموده است. ازاین‌رو، لایروبی رودخانه مقبولیت اجتماعی بیشتری در میان طرح‌ها دارد. همچنین لایروبی رودخانه، امکان فعالیت‌های ورزشی و تفریحی مانند قایق‌رانی و ماهیگیری در آن را افزایش خواهد داد. از سوی دیگر، احداث سد تأخیری نسبت به سایر طرح‌ها احساس امنیت بیشتری را به مردم منتقل نموده و مقبولیت اجتماعی بالاتری دارد. همچنین، میزان اشتغال ایجاد شده در طرح احداث سد تأخیری، بیشتر از سایر طرح‌ها است. در مجموع، بر اساس نظر کارشناسان، طرح‌های لایروبی و احداث سدهای تأخیری از منظر معیار اجتماعی بهترین روش‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون می‌باشند. از بُعد زیست‌محیطی، کارشناسان جنبه مثبت لایروبی کارون را بهبود کیفیت آب و حفظ طبیعت رودخانه می‌دانند. ازاین‌رو، بر اساس این معیار نیز روش لایروبی بیشترین امتیاز را دارا است. اما از بُعد فنی نیز این روش نسبت به سایر روش‌ها عمر مفید کمتری داشته و اجرای آن از لحاظ فنی بسیار سخت و زمان‌بر می‌باشد. بنابراین، از نظر کارشناسان، لایروبی به لحاظ فنی امتیاز کمی دارد.

اما در پایان پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، برای بالا بردن دقت نتایج ارزیابی طرح‌های کنترل سیلاب، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری به‌منظور تعیین وزن کارشناسان استفاده‌شده و زیرمعیارهای دیگری مانند تلفات جانی مورد انتظار، میزان مشارکت مردمی، اثر بر بهداشت عمومی و میزان محافظت نیز در نظر گرفته شوند. همچنین بر اساس نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود که سازمان آب و برق خوزستان به‌عنوان متولی رودخانه‌ی کارون، احداث سدهای تأخیری و کانال انحرافی را در اولویت بالاتری نسبت به سایر روش‌های کنترل سیلاب قرار داده و منابع مالی موردنیاز جهت اجرای این پروژه‌ها را تأمین نماید.

۵- تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی "ارزیابی طرح‌های کنترل سیلاب رودخانه‌ی کارون با تأکید بر معیارهای اقتصادی: کاربرد روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی گروهی بای‌فازی" می‌باشد که هزینه‌ی آن از طرف معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان تأمین گردیده است. بدین‌وسیله از آن معاونت تشکر و قدردانی می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

1- Multiple Criteria Decision Making
2- Multiple Objective Decision Making
3- Multiple Attribute Decision Making
4- Bifuzzy

5- Detention Dam
6- Beach Construction
7- Dike
8- Diversion Channel
9- Groyne
10- Dredging
11- Recovery Rate
12- Degree of Positivity
13- Degree of Negativity
14- Conflicting Bifuzzy Decision Matrix
15- Weighted Evaluation Technique
16- Degree of similarity
17- Agreement matrix
18- Consensus coefficient

۶- مراجع

Asgharpour MJ (2018) Multiple criteria decision making. Tehran University Press, 400p (In Persian)

Azarnivand A and Malekian A (2016) Analysis of flood risk management strategies based on a group decision making process via interval-valued intuitionistic fuzzy numbers. Water Resources Management 30(6):1903-1921

Baharlouie D, Sharifi A, and Baghalnezhad A (2006) Flood and damage caused in Khuzestan Province. In: Proc. of 2nd International Conference on Integrated Management of Crisis in Natural Disasters, Quality Promotion Co., Tehran (In Persian)

Bana e Costa CA, Da Silva PA, and Correia FN (2004) Multicriteria evaluation of flood control measures: The case of Ribeira do Livramento. Water Resources Management 18(3):263-283

Banihabib ME and Laghabdoost Arani A (2014) Flood management options using analytical hierarchy process and evaluation and mixed criteria. Iranian Irrigation and Water Engineering 4(14):72-82 (In Persian)

Chen CT (2000) Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. Fuzzy Sets and Systems 114(1):1-9

Chen YR, Yeh CH, and Yu B (2011) Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan. Natural Hazards 59(3):1261-1276

Danumah JH, Odai SN, Saley BM, Szarzynski J, Thiel M, Kwaku A, and Akpa LY (2016) Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques. Geoenvironmental Disasters 3(1):10

Fazlola R and Fouladian A (2017) Urban flood control in northern Iran case study of flood in Behshahr city. In: Proc. of 4th International Conference on Environmental Planning and Management, University of Tehran, Iran (In Persian)

Foroughifar R (2011) Flood control methods in the Karun River according to the hydrologic conditions of the river. In: Proc. of 2nd Conference on Integrated Water Resources Management, 29-30 January, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran, pp. 1-9 (In Persian)

Gogus O and Boucher TO (1998) Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons. Fuzzy Sets and Systems 94(1):133-144

Heidari A, Sadeghian S, Eftekhar Javadi E, Nikfal M, and Bagheri M (2006) Features of flood control master plan in floodplain of Dez and Karun rivers. In: Proc. of Workshop on Coexistence with Flood, National Committee on Irrigation and Drainage, Tehran, Iran (In Persian)

Hu S, Cheng X, Zhou D, and Zhang H (2017) GIS-based flood risk assessment in suburban areas: A case study of the Fangshan District, Beijing. Natural Hazards 87(3):1525-1543

Kahraman C (2008) Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments. Springer Science & Business Media Press, 390p

Karamouz M and Taheri M (2018) Best management practices presentation to deal with the simultaneous coastal and inland urban flooding hazards. Iran-Water Resources Research 14(5):71-83 (In Persian)

Khademi F and Akbari M (2014) Flood control methods; structural measures. In: Proc. of 2nd National Conference on Urban Flood Management and Engineering with Approach to Urban Floods, 27-28 February, Tehran, Iran (In Persian)

Mokhtari S (2009) Flood control solutions. Journal of Housing and Rural Environment 126:72-88 (In Persian)

Morshed Behbahani M (2014) Investigation of Arvand River shore operation in Abadan Refinery Area using pile and concrete shield. In: Proc. of 5th Iranian Conference on Construction Experiences of Hydraulic Structures and Irrigation and Drainage Networks, University of Tehran, Iran (In Persian)

Morshedi J, Alavipanah K, and Moghimi E (2014) Investigation on longitudinal change of Karun River using linear directional mean (Study area: Shoshtar to Arvandrod). Journal of Environmental Studies 39(4):89-104 (In Persian)

based SWOT analysis for the airline industry in Turkey. Expert Systems with Applications 39(1):2-14

Shafiei M and Ghanbarzadeh Lak M (2018) Modeling artificial groundwater nourishing (Through flood spreading) site selection process based on GIS technique and AHP method (Case study: Khoy Plain Aquifer). Iran-Water Resources Research 14(5):219-236 (In Persian)

Taib CMIC, Yusoff B, Abdullah ML, and Wahab AF (2015) Conflicting bifuzzy multi-attribute group decision making model with application to flood control project. Group Decision and Negotiation 25(1):157-180

Wang TC and Lee HD (2009) Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. Expert Systems with Applications 36(5):8980-8985

Wibowo S and Deng H (2013) Consensus-based decision support for multi-criteria group decision making. Computers and Industrial Engineering 66(4):625-633

Yang XL, Ding JH, and Hou H (2013) Application of a triangular fuzzy AHP approach for flood risk evaluation and response measures analysis. Natural Hazards 68(2):657-674

Zamali T, Abdullah ML, and Md Tap AO (2008) An introduction to conflicting bifuzzy set theory. Journal of Mathematics and Statistics 3(8):86-95

Zou Q, Zhou J, Zhou C, Song L, and Guo J (2013) Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 27(2):525-546

Nikmehr S and Zibaei M (2015) Evaluating flood control projects in Karun River: Application of fuzzy AHP. In: Proc. of 2nd National Conference on Agriculture and Development, Narkish Information Institute, Iran (In Persian)

Noori H, Farzin S, and Karami, H (2018) Developing the performance of modern methods using multi-objective optimization in urban runoff control. Iran-Water Resources Research 14(3):57-70 (In Persian)

Ölçer AI and Odabaşi AY (2005) A new fuzzy multiple attributive group decision making methodology and its application to propulsion/manoeuvring system selection problem. European Journal of Operational Research 166(1):93-114

Safarian P (2017) Analysis of construction and administration of dredging of Karun River project between third bridge and Shaghayegh Park in the city of Ahvaz. In: Proc. of 2nd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Design, Kasem Bundit University, Bangkok, Thailand (In Persian)

Salahshouri P and Vafaei Nezhad AR (2012) Change detection of Karkheh river floodplains of the Karkheh dam reservoir using remote sensing and GIS. Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resources Science 3(3):85-99 (In Persian)

Sánchez-Lozano JM, García-Cascales MS, and Lamata MT (2016) GIS-based onshore wind farm site selection using fuzzy multi-criteria decision making methods. Evaluating the case of Southeastern Spain. Applied Energy 171:86-102

Şener E and Şener Ş (2015) Evaluation of groundwater vulnerability to pollution using fuzzy analytic hierarchy process method. Environmental Earth Sciences 73(12):8405-8424

Sevkli M, Oztekin A, Uysal O, Torlak G, Turkyilmaz A, and Delen D, (2012) Development of a fuzzy ANP