تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال سیزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶
Volume 13, No. 1, Spring 2017 (IR-WRR)
۱-۱۹

توسعه مدل تصمیم‌گیری گروهی چندشاخصه ریسک- محور برای مدیریت مؤثر حوضه آبریز بر مبنای روش ترکیبی IOWA-CP: مطالعه موردی دشت مشهد

رضا جاویدی صباغیان[۱*]، محمدباقر شریفی[۲]،
مهدی ضرغامی[۳] و امیرپویان نژادهاشمی[۴]

چکیده

در سال‌های اخیر حکمرانی و مدیریت نامناسب منابع آب، محدودیت کمی و کیفی و تخصیص نامتعادل این منابع، وضعیت حوضه‌های آبریز را با بحران تأمین آب مواجه ساخته است. بنابراین یکی از اساسی‌ترین چالش های تصمیم‌گیران، انتخاب شاخص‌های نهایی تصمیم‌گیری و ارزیابی طرح‌های تأمین آب براساس شاخص‌های منتخب به‌منظور تعیین طرح اولویت‌دار در حوضه آبریز است. انتخاب شاخص‌های نهایی و طرح برتر، به اولویت‌های تصمیم‌گیران و ریسک تصمیم‌گیری وابسته است. رویکرد این پژوهش، استفاده از دو نوع ارزیابی ریسک در محاسبه امتیاز و درجه اجماع گروهی به‌منظور انتخاب شاخص‌های نهایی و رتبه‌بندی طرح‌ها است. در ریسک نوع اول تأمین تعداد شاخص‌ها توسط طرح‌ها، و در ریسک نوع دوم اجماع گروهی تعداد تصمیم‌گیران ارزیابی می‌گردد. براین‌اساس، وزن‌ها و درجه‌های اجماع گروهی شاخص‌های اولیه توسط عملگر میانگین وزنی مرتب استقرایی و روش برنامه‌ریزی سازشی در حالت‌های مختلف ریسک محاسبه می‌گردند. شاخص‌های نهایی با استفاده از ترکیب مقادیر وزن و درجه اجماع و مقایسه با حد آستانه قابل‌قبول انتخاب می‌شوند. در ادامه، طرح‌های پیشنهادی با توجه به شاخص‌های منتخب ارزیابی می‌گردند و براساس روش ترکیبی، رتبه‌بندی طرح‌ها از دیدگاه تصمیم‌گیران در حالت‌های مختلف ریسک مشخص می‌گردد. مدل پیشنهادی در تعیین شاخص‌های نهایی و طرح برتر مدیریت دشت مشهد برای سال ۱۴۲۰ توسعه یافته است. نتایج بیان‌گر وابستگی تعداد شاخص‌های منتخب و رتبه طرح‌ها به دو نوع ارزیابی ریسک تصمیم‌گیری است. در مقایسه نهایی طرح‌ها، در تحلیلی مبتنی بر تأمین مهم‌ترین شاخص‌های اهداف توسعه پایدار، طرح‌های اولویت‌دار مشخص گردیدند. توسعه فرآیند تصمیم‌گیری گروهی در این تحقیق برای مدیریت جامع حوضه‌های آبریز کشور پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری گروهی چندشاخصه، میانگین وزنی مرتب استقرایی، برنامه‌ریزی سازشی، ارزیابی ریسک، دشت مشهد.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۵/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۶/۱۸

۱ – کاندیدای دکتری گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲– دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳– استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۴– دانشیار گروه مهندسی کشاورزی و بیوسیستم، دانشگاه ایالتی میشیگان، ایست لنسینگ، میشیگان، ایالات متحده آمریکا.
*– نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

Developing a Risk-based Multi-Attribute Group Decision-Making Model for Effective Watershed Management based on the Combinational Method of IOWA-CP Case Study: Mashhad Plain

R. Javidi Sabbaghian [1] , M. B. Sharifi[2], M. Zarghami[3] and A. P. Nejadhashemi [4]*

Abstract

In recent years, inappropriate governance in water resources and qualitative and quantitative degradation and unbalanced allocation of resources have caused crisis within the watersheds. Therefore, one of the most important challenges for decision-makers (DMs) is selection of final criteria, evaluation of scenarios, and choosing the preferable scenario for watershed. Selection of final criteria and the best scenario depend on DMs' preferences and risk attitudes. This paper develops a novel approach based on two types of risk assessment to calculate the score and group consensus degree for selecting final criteria and ranking the scenarios. In first type of risk, the number of criteria are satisfied and in the second type the number of DMs' consensus are considered. Accordingly, the group weights and consensus degrees of initial criteria are calculated in several risk attitudes using the ordered weighted averaging operator and the compromise programming (CP). The final criteria are selected based on the combinational group weights-consensus degrees, compared with an acceptable threshold level. Then, the suggested scenarios are evaluated with respect to the final criteria and the best scenario is selected based on the proposed method using risk assessments. This approach has been developed for Mashhad plain, to select the final criteria and the best scenario in 2040. The results showed that the number of final criteria and scenarios' ranking depend on the two risk assessment types. Finally, the sustainable development was analyzed to determine the preferable scenarios for satisfying the most important criteria. Development of this method is recommended for watershed management in Iran.

Keywords: Multi-Attribute Group Decision-Making, Induced Ordered Weighted Averaging, Compromise Programming, Risk Assessment, Mashhad Plain.

Received: August 2, 2016
Accepted: September 8, 2016

1- PhD Candidate, Civil Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email address: re_ja268@stu.um.ac.ir
2-Associate Professor, Civil Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3- Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
4-Associate Professor, Department of Biosystems and Agricultural Engineering, Michigan State University, East Lansing, MI, 48824, USA.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر در حوضه‌های آبریز بسیاری از کشورهای جهان، حکمرانی و مدیریت نامناسب منابع آب، افزایش تقاضا و توسعه صنعتی و کشاورزی، و تخصیص نامتعادل آب به مصارف مختلف، مدیریت تأمین آب را با چالش‌های بسیاری مواجه ساخته است (GWP, 2004). در کشور ما نیز در حوضه‌های آبریزی نظیر دشت مشهد که به لحاظ شرایط اقلیمی با محدودیت منابع آب مواجه‌اند، عدم‌تعامل مناسب بین سازمان‌های تصمیم‌گیر و بهره‌بردار سبب تخصیص نامتوازن منابع آب به مصارف مختلف گردیده است. از این رو، می‌بایست از نگرش مدیریت مؤثر حوضه آبریز[۱] به منظور حرکت به سمت حکمرانی حوضه آبریز با تأکید بر اثربخشی بیشتر و کاراتر استفاده نمود. بر مبنای این رویکرد، اهداف توسعه پایدار[۲] شامل پایداری منابع آب و محیط‌زیست، پایداری اجتماعی-اقتصادی و پایداری سیاسی تبیین و محقق می‌گردند و شاخص‌های متناسب با وضعیت حوضه آبریز با درنظر گرفتن اولویت‌های تصمیم‌گیران[۳]، ذی‌نفعان[۴] و ذی‌مدخلان[۵] حوضه‌ای انتخاب می‌شوند. درنهایت طرح‌های[۶] پیشنهادی با توجه به شاخص‌های منتخب ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند و طرح برتر تأمین آب در حوضه آبریز در افق طرح مشخص می‌شود. ازاین‌رو تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره[۷] جایگاه ویژه‌ای در مدیریت حوضه آبریز خواهد داشت.

تصمیم‌گیری چندمعیاره از مفاهیم مهم نظریه تصمیم و تحقیق در عملیات است. یکی از مهم‌ترین شاخه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، تصمیم‌گیری چندشاخصه[۸] می‌باشد. در بیان مفاهیم تصمیم‌گیری، معیار[۹] به عنوان عاملی است که توسط آن عملکرد یک گزینه یا طرح (مشتمل بر تعدادی گزینه) بر اساس اهداف موردنظر تعریف و ارزیابی می‌شود. شاخص‌ها[۱۰] زیرمجموعه‌ای از معیارها می‌باشند که به منظور سنجش کمّی معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، ارزیابی طرح‌های مدیریت حوضه آبریز بر اساس شاخص‌های توسعه پایدار است. در مسائل تصمیم‌گیری در مدیریت حوضه آبریز، وجود شاخص‌های متعدد با جنبه‌های مختلف سبب پیچیدگی تحلیل فرآیند تصمیم گیری می‌شود. بنابراین برای سهولت در تحلیل مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه، باید از نظرات تصمیم‌گیران حوضه‌ای با دیدگاه‌ها و ارجحیت‌های مختلف استفاده کرد. از این رو، مسأله مدیریت حوضه آبریز می‌تواند در قالب تصمیم‌گیری گروهی چندشاخصه[۱۱] تحلیل گردد (Giri and Nejadhashemi, 2014).

در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی چندشاخصه، انتخاب شاخص‌های توسعه پایدار برای هر حوضه‌ای به خصوصیات اقلیمی، نوع منابع تأمین آب، و اولویت‌های مصارف آن حوضه وابسته است. از این رو، انتخاب شاخص‌های نهایی از بین شاخص‌های مطرح اولیه یکی از مهم‌ترین مراحل تصمیم‌گیری در مدیریت حوضه آبریز محسوب می‌شود که باید در یک فرآیند مهندسی ارزش مبتنی بر تحلیل ریاضی صورت پذیرد. همچنین در مرحله انتخاب طرح برتر به عنوان مهم‌ترین مرحله فرآیند تصمیم‌گیری در حوضه آبریز، می‌بایست طرح‌های پیشنهادی با توجه به شاخص‌های منتخب ارزیابی شوند و بر اساس میزان ریسک‌پذیری حاکم بر فرآیند تصمیم‌گیری، تعدادی از شاخص‌ها با درنظر گرفتن اجماع گروهی[۱۲] بین تعدادی از تصمیم گیران تأمین شوند.

در سال‌های اخیر مطالعات مختلفی در زمینه انتخاب شاخص‌ها در ارزیابی طرح‌های تأمین آب انجام شده است. (Aravossis et al., 2003) پس از تهیه درخت معیارها تأکید کرد که پس از چند مرتبه تکرار در فرآیند رفت و برگشتی، نتیجه حاصل می‌شود و اگر تعداد معیارهای ارزیابی زیاد باشد، باید آن‌ها را در یک درخت سلسله مراتبی قرار داد. (Yu and Lai, 2011) نیز در مقاله خود تأکید داشتند چنانچه تعداد شاخص‌ها در یک مسأله تصمیم‌گیری خیلی زیاد باشد، لازم است زیرمجموعه‌ای از شاخص‌ها از بین شاخص‌های موجود استخراج شوند و در تصمیم‌گیری نهایی مورد استفاده قرار گیرند. در مطالعات انجام‌شده در ایران نیز، (Ardakanian and Zarghami, 2004) معیارهای مطرح در ۱۵ حوضه آبریز در کشورهای مختلف را مرور کرده‌اند و پس از بررسی معیارهای تصمیم‌گیری در این کشورها و معیارهای مطرح در سند های ملی ایران، درخت سلسله مراتبی معیارهای ایران را ارائه نمودند. (Karamouz et al., 2008)، نیز به ارزیابی شاخص‌های پایداری طرح‌های توسعه منابع آب با نگرش مهندسی ارزش پرداختند. شرکت مدیریت منابع آب ایران در طرح جامع منابع آب حوضه‌های آبریز کشور، معیارهای پایداری را تبیین نمود (Tooss Ab Consultant Co., 2013[a]).

در مطالعات اخیر نیز، (Javidi Sabbaghian et al., 2015) معیارهای نهایی توسعه پایدار دشت مشهد را با استفاده از مقایسه سه عملگر جمع وزنی ساده (SAW)[۱۳]، میانگین وزنی مرتب (OWA)[۱۴] و میانگین وزنی مرتب استقرایی (IOWA)[۱۵] انتخاب نمودند.

در زمینه تصمیم‌گیری گروهی بر مبنای ارزیابی ریسک برای رتبه‌بندی طرح‌های منابع آب در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در کشورهای مختلف جهان و نیز در ایران انجام شده است. (Bender and Simonovic, 2000) برنامه‌ریزی سامانه‌های منابع آب در شرایط عدم‌قطعیت بر اساس تصمیم‌گیری فازی را بررسی نمودند. (Hajkowicz and Collins, 2007) به مروری بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مدیریت منابع آب پرداختند. (Mianabadi and Afshar, 2008) از تصمیم‌گیری گروهی فازی بر مبنای توافق گروهی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی استفاده نمودند. (Zarghami and Szidarovszky, 2009) نیز با تصحیح عملگر OWA در شرایط عدم‌قطعیت به حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداختند. همچنین (Mianabadi et al., 2011) با استفاده از یک نوع روش تصمیم‌گیری گروهی هوشمند مبتنی بر عملگر OWA وزن تصمیم‌گیران در حوضه آبریز آریزونای شمالی در ایالات متحده آمریکا را تعیین و طرح‌های زیست‌محیطی را رتبه‌بندی نمودند. در زمینه مطالعات انجام‌شده در حوضه آبریز کشف‌رود و دشت مشهد نیز، ابتدا (Tooss Ab Consultant Co., 2009) مدیریت بهم پیوسته حوضه آبریز کشف‌رود و دشت مشهد را بررسی نمود. (Gazerani, 2011) قسمتی از حوضه آبریز کشف‌رود را با استفاده از سامانه پشتیبانی تصمیم در مدل WEAP مورد مطالعه قرار داد. همچنین (Tooss Ab Consultant Co., 2013[c]) به مدل‌سازی منابع و مصارف محدوده دشت مشهد و ارزیابی طرح‌های پیشنهادی در این محدوده مطالعاتی پرداخت. (Atashi et al., 2014) نیز تخصیص تلفیق کمی و کیفی آب شرب شهر مشهد را در مدل MODSIM شبیه‌سازی نمودند.

در مطالعات انجام‌شده در دشت مشهد عمدتاً مدل‌سازی و تعیین عملکرد طرح‌های تأمین آب بر برخی از شاخص‌های پایداری بررسی گردیده است و نظرات و اولویت‌های تصمیم‌گیران و تأثیرات ریسک تصمیم‌گیری در ارزیابی و رتبه‌بندی طرح‌های پیشنهادی تأمین آب کمتر مورد تحلیل قرار گرفته است. در این مقاله، در تکمیل مطالعات انجام‌شده، از دو فرآیند تصمیم‌گیری گروهی مبتنی بر ارزیابی ریسک[۱۶] در انتخاب شاخص‌های توسعه پایدار و نیز رتبه‌بندی طرح‌های تأمین آب حوضه آبریز استفاده گردیده است. همچنین تأثیر دو نوع ارزیابی ریسک مبتنی بر تأمین تعداد شاخص‌ها توسط طرح‌ها و نیز اجماع گروهی تعداد تصمیم‌گیران در انتخاب شاخص‌های نهایی و رتبه‌بندی طرح‌ها و تعیین طرح برتر در حوضه آبریز بررسی می‌گردد. بدین منظور ترکیب دو عامل وزن و درجه اجماع گروهی از دیدگاه تصمیم‌گیران، در تعیین امتیاز نهایی شاخص‌ها و طرح‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در محاسبه وزن گروهی، عملگر تجمیع[۱۷] IOWA با درنظر گرفتن وزن تصمیم‌گیران، درجه اهمیت شاخص‌ها و ریسک تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. در محاسبه درجه اجماع گروهی نیز روش فاصله‌محور وزن‌دار برنامه‌ریزی سازشی (CP)[۱۸] با منظور کردن مفهوم ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در موردپژوهی، تحلیل تصمیم‌گیری گروهی چندشاخصه برای محدوده دشت مشهد مورد استفاده قرار می‌گیرد و شاخص‌های نهایی برای ارزیابی طرح‌های مدیریت حوضه آبریز انتخاب می‌شوند و رتبه‌بندی طرح‌ها از دیدگاه تصمیم‌گیران حوضه‌ای وابسته به دو نوع ریسک حاکم بر فرآیند تصمیم‌گیری مشخص می‌گردد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی کلی محدوده مطالعاتی

محدوده دشت مشهد بخشی از غرب حوضه آبریز قره‌قوم واقع در شمال‌شرقی ایران می‌باشد با مساحت ۹۹۰۹ کیلومترمربع است. این محدوده مطالعاتی بین ۵۸ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۰۶ دقیقه طول شرقی، و ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۰۳ دقیقه عرض شمالی واقع است و شامل شهرستان‌های مشهد و چناران، و بخشی از شهرستان نیشابور می‌باشد (Tooss Ab Consultant Co., 2012[a]) (شکل ۱).

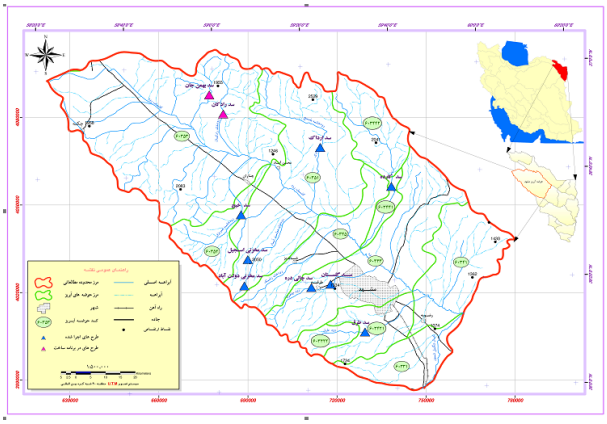

Fig. 1. Mashhad plain in Quaraqum watershed in Iran

شکل ۱- محدوده دشت مشهد نسبت به حوضه آبریز قره‌قوم در ایران

در وضعیت موجود نیاز شرب محدوده مشهد از سدهای کارده، طرق، دوستی و ارداک و منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. نیاز کشاورزی نیز عمدتاً از منابع آب زیرزمینی و سدهای کارده، طرق، دولت‌آباد و اسجیل تأمین می‌شود. همچنین نیاز صنایع از منابع آب زیرزمینی، و سدهای دوستی، ارداک و چالی‌دره تأمین می‌گردد. در افق طرح (سال ۱۴۲۰) طرح‌های تصفیه و انتقال پساب در تأمین بخشی از نیازهای کشاورزی، افزایش راندمان کشاورزی و اصلاح الگوی کشت مطرح

می‌گردد. در جدول ۱ نیازهای پیش‌بینی‌شده آب دشت مشهد نشان داده شده است.

شرایط اقلیمی نیمه‌خشک محدوده دشت مشهد، محدودیت منابع آب و افزایش تقاضا در مصارف مختلف سبب می‌گردد که تأمین آب در این دشت در افق طرح با بحران جدی مواجه گردد. در چنین شرایطی مدیریت مؤثر حوضه آبریز دشت مشهد امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

۲-۲- فرآیند تصمیم‌گیری گروهی چندشاخصه ریسک-محور

نمودار فرآیند تصمیم‌گیری گروهی چندشاخصه مبتنی بر ارزیابی ریسک در مدیریت حوضه آبریز، در شکل ۲ نمایش داده شده است.

Table 1. The estimated water demands for Mashhad plain by 2041

جدول ۱- نیازهای آبی پیش‌بینی‌شده در دشت مشهد در افق ۱۴۲۰ (Tooss Ab Consultant Co., 2013[b])

Annual drinking water demand and the related sewage		Annual agricultural demand and the related sewage			Annual industrial demand and the related sewage		Annual environmental demand	Total demands (MCM)
Annual drinking water demand (MCM)	Annual sewage (MCM)	Annual agricultural demand (MCM)	Total agricultural land (Hectar)	Annual sewage (MCM)	Annual industrial demand (MCM)	Annual sewage (MCM)	Annual environmental demand assigned by dams (MCM)	
537	417	806	126926	404	90	52	43	1476

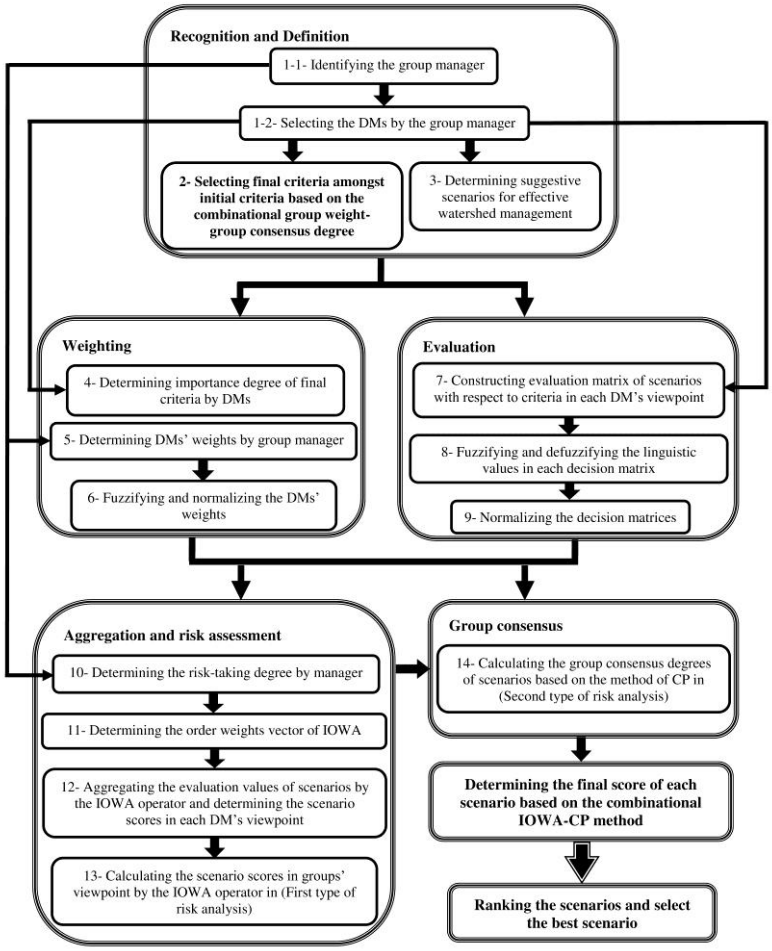

Fig. 2. Risk-based multi-attribute group decision-making process for effective watershed management

شکل ۲- فرآیند تصمیم‌گیری گروهی چندشاخصه ریسک‌محور در مدیریت مؤثر حوضه آبریز

۲-۳- روش‌شناسی

۲-۳-۱- مرحله تعیین و شناخت

در مرحله تعیین و شناخت، در اولین گام فرآیند تصمیم‌گیری گروهی چندشاخصه، مدیرگروه مشخص می‌گردد و تصمیم‌گیران توسط مدیرگروه انتخاب می‌شوند. در این مطالعات، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی به عنوان مدیرگروه تصمیم‌گیر در دشت مشهد تعیین شده است و ده گروه تصمیم‌گیر ($DM_k, k = 1,2, \dots, 10$) مشتمل بر نمایندگانی از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی، شرکت آب و فاضلاب خراسان رضوی، شرکت آب و فاضلاب مشهد، شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان رضوی، شرکت شهرک‌های صنعتی خراسان رضوی، اداره کل حفاظت محیطزیست خراسان رضوی، نماینده اعضای هیأت علمی دانشگاه فردوسی مشهد، نماینده‌ای از کارشناسان خبره آب مشهد و نماینده شرکت‌های مهندسی مشاور مشهد به منظور انتخاب شاخص‌های نهایی و ارزیابی طرح‌های تأمین آب توسط مدیرگروه انتخاب گردیدند. اغلب این گروه‌های تصمیم‌گیر به عنوان نماینده بخشی از جامعه هستند که حاضرند نظر خود را ابراز کنند. به‌عنوان نمونه، در میان ذی‌مدخلان و تشکل‌های غیردولتی و مردم‌نهاد، از نظرات برخی از اعضای "جمعیت ناجیان آب خراسان رضوی" و "جمعیت فعالان محیطزیست" استفاده گردیده است.

مطابق گام ۲، ابتدا پس از برگزاری نشست‌های متعدد مهندسی ارزش در حضور نمایندگان گروه‌های تصمیم‌گیر و بررسی شاخص‌های متعدد، ۲۸ شاخص اولیه ($C_i^{(initial)}, i = 1,2, \dots, 28$) مطابق جدول ۲ مطرح و پیشنهاد گردید. این شاخص‌ها بر اساس اهداف توسعه پایدار ارائه‌شده توسط سازمان UNESCO، و معیارهای ارائه‌شده توسط شرکت مدیریت منابع آب ایران در طرح جامع منابع آب استخراج گردیده‌اند.

Table 2. The proposed initial criteria for sustainable in Mashhad plain

جدول ۲- شاخص‌های اولیه توسعه پایدار در محدوده دشت مشهد

Objectives	Criteria	Sub-criteria (Attributes)	Attribute No.
Water resources sustainability	Supply-demand balance	Rational water stress	C_1
		Groundwater dependency	C_2
	Improvement of efficiency	Irrigation efficiency	C_3
	Development of Water Resources Operation	Adjustable protentional of Surface Water Resources	C_4
		Development of groundwater	C_5
	Improvement of water allocation	Supply percentage of agricultural water demand	C_6
		Supply percentage of drinking water demand	C_7
		Supply percentage of Industrial water demand	C_8
		Supply percentage of Environmental water demand	C_9
		Renewable water resources per capita	C_{10}
		Drinking consumption per capita	C_{11}
		Industrial consumption per capita	C_{12}
	Reliability	Water supply reliability	C_{13}
	Balancing	Balancing between use of surface water and groundwater resources	C_{14}
		Groundwater unsustainability	C_{15}
	Development and management of shared waters	Surface water dependency on other watersheds	C_{16}
Environmental sustainability	Environmental vulnerability	Purified wastewater ratio	C_{17}
		Effect on environmental requirements supply	C_{18}
Economic sustainability	Economic efficiency	Unmeasured water in Drinking Water Sector	C_{19}
		Agricultural water productivity	C_{20}
	Costs covering	Benefit per cost ratio	C_{21}
	Financial resources	Variety of financial resources in eater supply scenarios	C_{22}
Social sustainability	Peoples' participation	Public participation in water supply	C_{23}
	Conflict resolution	Conflict resolution amongst water stakeholders	C_{24}
	Job creation	Creating job opportunities	C_{25}
	Equity	Social equity	C_{26}
Comprehensive sustainability	Comprehensive approach	Adaptation with integrated water resources management strategies	C_{27}
	Management approach	Improvement in water management strategies	C_{28}

در ادامه گام ۲، می‌بایست شاخص‌های نهایی از بین شاخص‌های مطرح اولیه انتخاب شوند تا در ارزیابی طرح‌ها مورد تحلیل قرار گیرند. علت انتخاب شاخص‌های نهایی، استفاده از شاخص‌های با اهمیت بیشتر در فرآیند تصمیم‌گیری نهایی، کاهش عدم‌قطعیت در مقادیر ارزیابی طرح‌ها، و ایجاد سهولت در فرآیند تحلیل تصمیم‌گیری می‌باشد. بنابراین، در حالت‌های مختلف ریسک تصمیم‌گیری با استفاده از ترکیب وزن و درجه اجماع گروهی شاخص‌های اولیه، امتیاز آن‌ها محاسبه می‌شود و با مقایسه با حد آستانه قابل‌قبول، شاخص‌های نهایی از بین شاخص‌های موجود انتخاب می‌گردند.

بدین منظور، هریک از تصمیم‌گیران به وزن‌دهی شاخص‌های اولیه می‌پردازند. وزن‌دهی به شاخص‌ها بر اساس متغیرهای زبانی[۱۹] صورت می‌پذیرد. تعداد بیشتر اعضای مجموعه متغیرهای زبانی سبب عدم‌قطعیت کمتر در فرآیند تصمیم‌گیری می‌شود (Herrera et al., 1996). مجموعه متغیرهای زبانی استفاده‌شده در این مقاله، مجموعه نُه‌عضوی {ناچیز، خیلی کم، کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً زیاد، زیاد، خیلی زیاد، و کامل} می‌باشد که در بیان درجه اهمیت شاخص‌ها از دیدگاه هریک از تصمیم‌گیران می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. علامت اختصاری معادل این مجموعه نُه‌عضوی {N، VL، L، SL، M، SH، H، VH، و P} می‌باشد. بر این اساس، با توجه به پرسشنامه‌های تکمیل‌شده، ماتریس درجه اهمیت شاخص‌های اولیه پیشنهادی محدوده دشت مشهد از دیدگاه گروه‌های تصمیم‌گیر مطابق جدول ۳ تشکیل می‌شود.

در ادامه، ابتدا با استفاده از مفاهیم منطق فازی[۲۰]، متغیرهای زبانی به صورت توابع عضویت فازی مثلثی[۲۱] تعریف می‌شوند. سپس هر متغیر زبانی توسط روش مرکز جرم غیرفازی[۲۲] شده و تبدیل به مقادیر عددی $w(C_i)^{(k)}$ می‌گردد (Zekâi, 2010). $w(C_i)^{(initial)(k)}$ وزن شاخص اولیه i اُم از دیدگاه تصمیم‌گیر k اُم است. در جدول ۴ شامل متغیرهای زبانی، اعداد فازی و مقادیر غیرفازی معادل می‌باشد (Emrouznejad and Marra, 2014).

Table 3. Importance degrees of initial criteria in DMs' viewpoints

جدول ۳- درجه‌های اهمیت شاخص‌های اولیه پیشنهادی از دیدگاه تصمیم‌گیران

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}
DM_1	P	VH	VH	SL	VH	H	H	H	H	H	SH	SH	VH	VH
DM_2	P	P	P	M	VL	P	SL	SL	H	SH	L	M	P	P
DM_3	P	P	P	M	VH	H	SH	SH	SH	SH	H	M	SH	VH
DM_4	P	SH	P	SL	H	P	SH	VH	SH	VH	VH	H	P	P
DM_5	P	P	H	L	P	P	L	L	VL	H	SH	SL	VH	H
DM_6	VH	VH	VH	M	N	VH	SL	VL	SL	VH	L	VH	VH	SL
DM_7	P	SH	H	H	H	H	SH	H	SH	H	VH	H	VH	H
DM_8	VH	H	H	M	P	H	VH	H	SH	H	SL	L	VH	M
DM_9	P	P	H	L	M	VH	SH	H	SH	VH	H	H	SH	H
DM_{10}	P	VH	P	SL	P	VH	SH	SH	SH	H	M	M	H	M
	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}	C_{20}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{26}	C_{27}	C_{28}
DM_1	P	SH	H	H	H	VH	H	VH	H	SH	SH	VH	H	H
DM_2	P	M	P	H	L	P	P	VH	VH	H	VH	P	P	P
DM_3	H	SH	SH	SH	P	P	H	VH	VH	VH	SH	VH	VH	H
DM_4	VH	H	VH	H	H	P	VH	VH	VH	VH	H	VH	H	VH
DM_5	P	L	L	L	M	M	H	H	VH	H	SH	VH	VH	H
DM_6	VH	M	VH	VH	L	VH	VH	SH	VH	M	M	VH	VH	H
DM_7	P	SH	H	H	SH	H	M	SH	H	SH	M	M	VH	H
DM_8	P	H	SH	SH	M	VH	H	H	VH	VH	H	H	H	VH
DM_9	P	M	H	SH	VL	VH	H	SH	SH	H	M	H	SH	VH
DM_{10}	P	SL	H	H	L	M	SL	H	P	SL	M	M	SH	H

Table 4. Linguistic variables, fuzzy numbers and relevant equivalent defuzzified values

جدول ۴- متغیرهای زبانی، اعداد فازی و مقادیر غیرفازی‌شده معادل آن‌ها

Linguistic variable	Equivalent triangular fuzzy number	Equivalent defuzzified value
N	(0.00, 0.00, 0.00, 0.01)	0.001
VL	(0.00, 0.00, 0.00, 0.10)	0.030
L	(0.20, 0.20, 0.10, 0.20)	0.233
SL	(0.35, 0.35, 0.20, 0.20)	0.350
M	(0.50, 0.50, 0.20, 0.20)	0.500
SH	(0.65, 0.65, 0.20, 0.20)	0.650
H	(0.80, 0.80, 0.20, 0.10)	0.767
VH	(1.00, 1.00, 0.10, 0.00)	0.970
P	(1.00, 1.00, 0.01, 0.00)	1.000

Table 5. DMs' weights in group decision-making process

جدول ۵- وزن تصمیم‌گیران در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی

DM's No.	DM_1	DM_2	DM_3	DM_4	DM_5	DM_6	DM_7	DM_8	DM_9	DM_{10}
DMs' weights	0.130	0.104	0.091	0.127	0.073	0.082	0.079	0.109	0.099	0.106

همچنین وزن هریک از تصمیم‌گیران $(\lambda_k, k = 1,2, \dots,10)$ با توجه به تأثیرگذاری آن‌ها در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی، توسط مدیرگروه مطابق جدول ۵ مشخص می‌شوند. اگرچه وزن‌دهی تصمیم‌گیران مربوط به گام ۵ است، اما به دلیل لزوم استفاده در این گام تعیین می‌گردد.

در این گام به عنوان رویکردی بدیع، ارزیابی ریسک تصمیم‌گیری در تعیین مقادیر وزن و درجه اجماع شاخص‌ها از دیدگاه گروه تصمیم‌گیران تحلیل می‌گردد که در نهایت منجر به انتخاب شاخص‌های نهایی می‌گردد. در مسائل تصمیم‌گیری گروهی، تصمیم‌گیران شاخص‌های نهایی را بر مبنای تمایلات مختلف ریسک تصمیم‌گیری، در محدوده دیدگاه ریسک‌گریزی کامل[۲۳] تا نگرش ریسک‌پذیری کامل[۲۴] انتخاب می‌نمایند (Mianabadi et al., 2014). از این رو، ارزیابی ریسک در قالب استفاده از عملگرهای تجمیع نظرات تصمیم‌گیران مطرح می‌شود.

یکی از پُرکاربردترین عملگرهای تجمیع، عملگر OWA است که نخستین بار در سال ۱۹۸۸ ارائه گردید (Yager, 1988). در این عملگر تمایلات مختلف ریسک با استفاده از عبارت‌های زبانی نظیر "اهمیت اجماع گروهی تمامی تصمیم‌گیران" یا "اهمیت اجماع گروهی بسیاری از تصمیم‌گیران" یا سایر عبارت‌های مشابه بیان می‌شود. عملگر OWA دارای مزایای بسیاری است، اما محدودیت این عملگر، آن است که فقط ریسک تصمیم‌گیری را درنظر می‌گیرد و وزن تصمیم‌گیران را در انتخاب شاخص‌های نهایی منظور نمی نماید. برای رفع این محدودیت، عملگر تجمیع IOWA معرفی گردید (Yager and Filev, 1999). در مطالعات پیشین، عملگر IOWA در تعیین امتیاز طرح‌ها بر اساس تأمین تعداد شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفته است و اهمیت اجماع تعداد تصمیم‌گیران منظور نگردیده است. در این پژوهش، این عملگر علاوه بر ارزیابی ریسک در تعیین امتیاز طرح‌ها، در تعیین وزن و درجه اجماع گروهی شاخص‌ها و درجه اجماع گروهی طرح‌ها نیز مورد استفاده می‌گیرد. بنابراین با استفاده از عملگر IOWA، وزن شاخص‌های اولیه از دیدگاه گروه تصمیم‌گیران مطابق رابطه (۱) تعیین می‌گردد:

$$w\,(C_i)^{(initial)(G)}\{(\lambda_1,w_1),(\lambda_2,w_2),\dots,(\lambda_p,w_p)\} = \sum_{k=1}^{p} u_k b_k \;,\; i = 1,2,\dots,n \qquad (۱)$$

در این رابطه، $w = \{w_1,w_2,\dots,w_p\}$ مجموعه مقادیر وزن‌های هر شاخص از دیدگاه تصمیم‌گیران است. همچنین $u = (u_1,u_2,\dots,u_p)$ بردار وزن عملگر IOWA و $u_k \geq 0$ و $\sum_{k=1}^{p} u_k = 1$ می‌باشد. $\lambda = (\lambda_1,\lambda_2,\dots,\lambda_p)$ بردار وزن تصمیم‌گیران و b_k، مقدار w_k از زوج (λ_k,w_k) می‌باشد که k اُمین مقدار بزرگ λ_k را داراست. $w\,(C_i)^{(initial)(G)}$ نیز وزن شاخص اولیه i اُم از دیدگاه گروه تصمیم‌گیران است.

تعیین وزن عملگر $(u_k, k = 1,2,\dots,p)$ از مراحل مهم ارزیابی ریسک است که به میزان ریسک‌پذیری وابسته است. میزان ریسک‌پذیری با درجه خوش‌بینی[۲۵] (θ) سنجیده می‌شود. در شرایط ریسک‌پذیری بالاتر وزن‌های بیشتری به ابتدای بردار وزن عملگر اختصاص داده می‌شود. در جدول ۶ دیدگاه‌های مختلف ریسک تصمیم‌گیری در تعیین وزن شاخص‌های اولیه به همراه درجه‌های خوش‌بینی متناظر ارائه شده است (Emrouznejad and Marra, 2014 ; Javidi Sabbaghian et al., 2016).

Table 6. Several decision-making risk cases in determining the initial criteria weights

جدول ۶: حالت‌های مختلف ریسک تصمیم‌گیری در تعیین وزن شاخص‌های اولیه (Zarghami and Szidarovszky, 2008)

Risk viewpoint for determining the initial criteria weights	Linguistic statement (Importance of group consensus among number of DMs)	Optimism degree (θ)
Completely risk-averse	All of DMs	0.001
Risk-averse	Most of DMs	0.091
Slightly risk-averse	Many of DMs	0.333
Neutral risk	Half of DMs	0.500
Slightly risk-prone	Some of DMs	0.667
Risk-prone	Few of DMs	0.909
Completely risk-prone	At least one of DMs	0.999

با توجه به اینکه در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی، باید اجماع گروهی حداقل نیمی از تصمیم‌گیران تأمین گردد، بنابراین برای بیان مفهوم ریسک در انتخاب شاخص‌های نهایی از دیدگاه‌های جدول ۶ چهار دیدگاه اول (اهمیت اجماع تمامی تصمیم‌گیران تا اهمیت اجماع نیمی از تصمیم‌گیران) در تحلیل حساسیت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

وزن‌های عملگر IOWA بر اساس دیدگاه ریسک درتعیین وزن شاخص‌های اولیه مطابق رابطه (۲) تعیین می‌شوند (Liu, 2011):

$$u_k = Q\left(\frac{k}{p}\right) - Q\left(\frac{k-1}{p}\right) \ , \ k = 1,2, \dots ,p \qquad (۲)$$

در این رابطه، Q تابع کمیت‌سنج زبانی فازی[۲۶] است (Zadeh, 1983). u_k وزن k اُمین رتبه و p بیان‌گر تعداد تصمیم‌گیران می‌باشد. یکی از رایج‌ترین توابع کمیت‌سنج زبانی، تابع یکنوای افزایشی است که به صورت رابطه $Q(r) = r^{\gamma} , \gamma > 0$ تعریف می‌شود. مقادیر مختلف پارامتر γ بر اساس تمایلات مختلف ریسک و بر حسب درجه‌های خوش‌بینی به صورت رابطه $\gamma = (1/\theta) - 1$ تعیین می‌گردد (Yager, 1996).

با جای‌گذاری رابطه (۲) در رابطه (۱)، وزن شاخص‌های اولیه در حالات مختلف ریسک از نظر گروه مطابق رابطه (۳) محاسبه می‌گردد:

$$w\,(C_i)^{(initial)(G)} = \sum_{k=1}^{p}\left\{\left(\frac{k}{p}\right)^{\left(\frac{1}{\theta}-1\right)} - \left(\frac{k-1}{p}\right)^{\left(\frac{1}{\theta}-1\right)}\right\} b_k \quad , \quad (۳)$$

$$i = 1,2, \dots ,n$$

همچنین در هر حالت از ریسک تصمیم‌گیری می‌توان درجه اجماع گروهی تصمیم‌گیران نسبت به هر شاخص را محاسبه نمود. در این پژوهش، با بهبود بخشیدن به روش‌های پیشین (Chiclana et al., 2013 ; Zarghami and Szidarovszky, 2010 ; Zeleny, 1973 ; Bouzarour-Amokrane et al., 2015) در محاسبه اجماع گروهی از روش فاصله‌محور وزن‌دار برنامه‌ریزی سازشی (CP) بر مبنای ارزیابی ریسک استفاده می‌گردد. بر این اساس، درجه اجماع گروهی با تجمیع وزنی توان‌دار اختلاف نظرات هریک از تصمیم‌گیران با نظر گروه تصمیم‌گیران در مورد میزان اهمیت هر شاخص مطابق رابطه (۴) تعیین می‌گردد:

$$Cons.\,(C_i)^{(initial)(G)} = 1 - \left\{\sum_{k=1}^{p} \lambda_k \left| w\,(C_i)^{(initial)(G)} - w\,(C_i)^{(initial)(k)} \right|^{q}\right\}^{\frac{1}{q}} \ , \ i = 1,2, \dots ,n \qquad (۴)$$

در این رابطه، $Cons.\,(C_i)^{(initial)(G)}$ درجه اجماع گروهی شاخص اولیه i اُم می‌باشد. q پارامتر اجماع گروهی است که با ریسک تصمیم‌گیری مرتبط است. نحوه ارتباط مقادیر q با حالت‌های مختلف ریسک تصمیم‌گیری در محاسبه اجماع گروهی مطابق جدول ۷ می‌باشد (Zarghami and Szidarovszky, 2010). در محاسبه اجماع گروهی تمایل به کاهش فاصله نظر تصمیم‌گیران با نظر گروه وجود دارد.

Table 7. Guideline to select fuzzy quantifiers and equivalent q values

جدول ۷- راهنمای انتخاب کمیت‌سنج‌های فازی و مقادیر q معادل

Risk viewpoint for determining the group consensus degree (Importance of group consensus among number of DMs)	Type of CP model	q
All of DMs	Minimization of distance between each DM's idea and the group of DMs'	10
Most of DMs		2
Many of DMs		1.5
Half of DMs		1

با ترکیب خطی وزن و درجه اجماع گروهی شاخص‌های اولیه توسط روابط (۳) و (۴)، امتیاز نهایی شاخص‌ها مطابق رابطه (۵) تعیین می‌گردد:

$$Score\,(C_i)^{(initial)(G)} = \alpha\, w\,(C_i)^{(initial)(G)} + \beta\, Cons.\,(C_i)^{(initial)(G)} \ , \ i = 1,2, \dots ,n \qquad (۵)$$

در این رابطه، $Score\,(C_i)^{(initial)(G)}$ امتیاز نهایی شاخص اولیه i اُم از دیدگاه گروه تصمیم‌گیران در هر حالت ریسک تصمیم‌گیری است. مقدار α مبیّن ارجحیت وزن گروهی نسبت به درجه اجماع گروهی شاخص‌ها، و مقدار $(\beta = 1 - \alpha)$ می‌باشد (Mianabadi et al., 2009). با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[۲۷] براساس سه حالت ارجحیت کامل وزن نسبت‌به درجه اجماع گروهی $(\alpha/\beta = ۹)$، ارجحیت یکسان وزن و درجه اجماع گروهی $(\alpha/\beta = ۱)$، و ارجحیت کامل درجه اجماع گروهی نسبت‌به وزن $(\beta/\alpha = ۹)$، به‌ترتیب سه مقدار ۰/۹۰۰، ۰/۵۰۰، و ۰/۱۰۰ برای α محاسبه می‌شود و امتیاز نهایی شاخص‌های اولیه بر اساس مقادیر مختلف α محاسبه می‌گردد.

درنهایت در بخش پایانی گام ۲، امتیاز نهایی شاخص‌های اولیه با یک حد آستانه قابل‌قبول (TLA)[۲۸] توسط گروه تصمیم‌گیران مقایسه می‌گردد. شاخص‌هایی که امتیاز نهایی آن‌ها از این حد بیشتر باشد، به عنوان شاخص نهایی و منتخب پذیرفته می‌شوند. در این مقاله، حد آستانه ۰/۷۶۷ معادل متغیر زبانی "زیاد" درنظر گرفته شده است که در مطالعات مشابه مورد استفاده قرار گرفته است (Ashton, 1992). بدیهی است که وابسته به ریسک حاکم بر فرآیند تصمیم‌گیری، مقادیر u_k در رابطه (۲) و نیز q در رابطه (۴)، و در نتیجه مقدار امتیاز نهایی شاخص‌های اولیه در رابطه (۵) تغییر می‌نماید. به بیانی دیگر،

با تغییر نگرش از دیدگاه ریسک‌گریزی (ضرورت اجماع بین تمامی تصمیم‌گیران) به دیدگاه ریسک‌پذیری (کفایت اجماع بین تعدادی از تصمیم‌گیران)، درجه اجماع گروهی تغییر نموده و شرایط حصول اجماع گروهی متفاوت خواهد نمود. بنابراین تعداد شاخص‌های نهایی منتخب برای ادامه فرآیند تصمیم‌گیری نیز وابسته به حالت ریسک تصمیم‌گیری، متفاوت خواهد بود. در بخش نتایج و تحلیل نتایج، تحلیل حساسیت درجه اجماع گروهی شاخص‌های اولیه نسبت به حالت‌های متعدد ریسک تصمیم‌گیری، و نیز تحلیل حساسیت امتیاز نهایی شاخص‌ها نسبت به مقادیر مختلف α بررسی می‌گردد. در این تحقیق، بنا به نظر مدیرگروه و تصمیم‌گیران حوضه‌ای، اهمیت یکسان وزن و درجه اجماع گروهی شاخص‌ها (α = ۰/۵۰۰) در محاسبه امتیاز نهایی شاخص‌ها مورد نظر قرار گرفته است. همچنین بر اساس نظر مدیرگروه، اجماع گروهی بسیاری از تصمیم‌گیران (q = ۱/۵ و θ = ۰/۳۳۳) برای انتخاب شاخص‌های نهایی در نظر گرفته شده است. بر این اساس ۱۴ شاخص نهایی از بین ۲۸ شاخص اولیه مطابق جدول ۸ انتخاب می‌گردند که در مراحل بعدی فرآیند تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در گام ۳ فرآیند تصمیم‌گیری، با توجه مطالعات جامع منابع آب، چهار طرح نهایی جامع و محتمل ($Sc._j, j = 1,2,3,4$) توسط مدیرگروه و تصمیم‌گیران حوضه‌ای به منظور ارزیابی در برابر شاخص‌های منتخب پیشنهاد گردیدند که در جدول ۹ تعریف شده‌اند.

Table 8. Final selected criteria in DMs' viewpoints for Mashhad plain

جدول ۸- شاخص‌های نهایی منتخب از دیدگاه تصمیم‌گیران در محدوده مطالعاتی مشهد

Objectives	Criteria	Attributes	Criterion No.
Water resources sustainability	Supply-demand balance	Rational water stress	C_1
		Groundwater dependency	C_2
	Improvement of efficiency	Irrigation efficiency	C_3
	Improvement of water allocation	Supply percentage of agricultural water demand	C_4
		Renewable water resources per capita	C_5
	Reliability	Water supply reliability	C_6
	Balancing	Groundwater unsustainability	C_7
Environmental sustainability	Environmental vulnerability	Purified wastewater ratio	C_8
		Effect on environmental requirements supply	C_9
Economic sustainability	Economic efficiency	Agricultural water productivity	C_{10}
	Costs covering	Benefit per cost ratio	C_{11}
Social sustainability	Equity	Social equity	C_{12}
Comprehensive sustainability	Comprehensive approach Management approach	Adaptation with integrated water resources management strategies	C_{13}
		Improvement in water management strategies	C_{14}

Table 9. Water supply scenarios for Mashhad plain by the 2041 vision

جدول ۹- طرح‌های پیشنهادی تأمین آب در محدوده مشهد در افق طرح

Scenario No.	Type of scenario	The existing water resources		The under-studying supply management scenarios	The under-studying demand management scenarios	
		The Dams: Doosti, Ardak, Kardeh, Toroque, Dolatabad, Chalidarreh and Esjil	Aquifer reservoir of Mashhad plain	Utilizing the purified wastewater in agricultural lands	Improving the agricultural efficiency	Implementing the properly modified plants
$Sc._1$	Supply management	✓	✓			
$Sc._2$	Supply management	✓	✓	✓		
$Sc._3$	Demand management	✓	✓		✓	✓
$Sc._4$	Combinational supply-demand management	✓	✓	✓	✓	✓

۲-۳-۲- مرحله وزن‌دهی

در مرحله وزن‌دهی، در گام ۴ از فرآیند تصمیم‌گیری، درجه اهمیت ۱۴ شاخص نهایی منتخب ($C_i^{(final)}, i = 1,2,\dots,14$) از دیدگاه هر تصمیم‌گیر با استفاده از متغیرهای زبانی مجموعه نُه عضوی تعریف شده در (بخش ۲-۳-۱) تعیین می‌گردد که پیش از این در ماتریس جدول ۳ مشخص گردید. در این بخش نیازی به فازی‌سازی و غیرفازی‌سازی درجه‌های اهمیت شاخص‌های منتخب نیست و این از مزایای استفاده از عملگر تجمیع IOWA می‌باشد. زیرا در استفاده از عملگر IOWA، مرتب‌سازی مقادیر ارزیابی طرح‌ها در برابر هر شاخص به‌صورت صعودی به نزولی بر اساس درجه اهمیت شاخص‌ها صورت می‌گیرد و بنابراین چون وزن‌های شاخص‌ها به‌صورت مستقیم وارد فرآیند تجمیع نمی‌شوند، می‌توان از درجه اهمیت زبانی شاخص‌ها استفاده نمود.

در گام ۵ از فرآیند تصمیم‌گیری گروهی نیز وزن تصمیم‌گیران با توجه به میزان تأثیرگذاری آن‌ها در تصمیم‌گیری توسط مدیرگروه با استفاده از متغیرهای زبانی تعیین می‌گردد. در ادامه نیز مطابق با گام ۶، وزن‌های زبانی تخصیص‌یافته به تصمیم‌گیران فازی‌سازی و غیرفازی‌سازی گردیده و به مقادیر عددی تبدیل می‌شوند و سپس نرمال‌سازی می‌گردند (Shih et al., 2007). وزن‌های نرمال‌سازی شده تصمیم‌گیران پیش از این در جدول ۵ مشخص گردید.

۳-۳-۲- مرحله ارزیابی

در مرحله ارزیابی، مطابق گام ۷، چهار طرح پیشنهادی بر اساس ۱۴ شاخص منتخب توسط هریک از تصمیم‌گیران ($DM_k, k = 1,2,\dots,10$) در ماتریس‌های تصمیم ارزیابی می‌گردند. در این مطالعات، با توجه به مدل مصوّب منابع و مصارف آب در حوضه آبریز (مدل MODSIM) و نیز گزارشات مرتبط و مصوّب طرح جامع منابع آب ایران تهیه‌شده توسط (Tooss Ab Consultant Co., 2012[b]; 2012[c]; 2013[c]; 2013[d]; 2013[e])، شاخص‌های $C_1, C_2, \dots, C_{12}$ با توجه به نتایج حاصل از رانش طرح‌ها به صورت مقادیر عددی تعیین می‌گردند و در قالب مقادیر ارزیابی در ماتریس تصمیم‌گیری وارد می‌شوند. شاخص‌های C_{13}, C_{14} نیز با توجه به پرسشنامه‌های تکمیل‌شده توسط هریک از تصمیم‌گیران، در قالب متغیرهای زبانی در ماتریس تصمیم‌گیری وارد می‌شوند. در بخش نتایج و تحلیل نتایج، پس از رتبه‌بندی طرح‌ها در شرایط ارزیابی ریسک بر اساس بررسی تمامی شاخص‌های تصمیم‌گیری، به منظور مقایسه نهایی طرح‌ها، تأمین مهم‌ترین شاخص‌های مربوط به اهدف پایداری منابع آب و محیط‌زیست، پایداری اقتصادی و پایداری اجتماعی، در تحلیلی مجزا در رتبه‌بندی طرح‌ها و انتخاب طرح برتر در شرایط ارزیابی ریسک مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در جدول ۱۰، به عنوان نمونه ماتریس ارزیابی‌های طرح‌ها بر اساس شاخص‌ها از دیدگاه تصمیم‌گیر ۱ مشخص گردیده است. مقادیر ارزیابی عددی در ماتریس‌های تصمیم‌گیری مشترک می‌باشند و مقادیر ارزیابی زبانی در هریک از ماتریس‌های تصمیم‌گیری، وابسته به نظر هر تصمیم‌گیر متفاوت می‌باشند.

در گام ۸، مقادیر ارزیابی زبانی جدول ۱۰، توسط تابع عضویت مثلثی فازی گردیده و مطابق روش مرکز جرم، به مقادیر عددی تبدیل می‌شوند. در گام ۹، برای یکسان‌سازی مقیاس‌ها، مقادیر ارزیابی شاخص‌های مثبت ($C_3, C_4, C_5, C_6, C_8, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}$) و شاخص‌های منفی ($C_1, C_2, C_7$)، به ترتیب با استفاده از روابط (۶) و (۷) نرمال‌سازی می‌شوند (Shih et al., 2007):

Table 10. Evaluation matrix of scenarios with respect to criteria by DM 1

جدول ۱۰- ماتریس ارزیابی طرح‌ها بر اساس شاخص‌ها برای گروه تصمیم‌گیر ۱

Evaluation values of scenarios with respect to criteria		Dimension of criterion	Sc.1	Sc.2	Sc.3	Sc.4
Numerical evaluation values (Common among DMs)	$C_1^{(-)}$	Non-dimensional	0.958	1.164	0.919	1.111
	$C_2^{(-)}$	Non-dimensional	0.753	0.709	0.728	0.686
	$C_3^{(+)}$	Non-dimensional	0.410	0.410	0.550	0.550
	$C_4^{(+)}$	Non-dimensional	0.798	0.890	0.828	0.918
	$C_5^{(+)}$	m^3 / Person	269.8	246.1	253.4	231.9
	$C_6^{(+)}$	Non-dimensional	0.943	0.966	0.950	0.973
	$C_7^{(-)}$	Non-dimensional	1.026	1.180	0.980	1.125
	$C_8^{(+)}$	Non-dimensional	0.248	0.844	0.241	0.822
	$C_9^{(+)}$	Non-dimensional	0.980	0.989	0.564	0.989
	$C_{10}^{(+)}$	Kg / m^3	1.277	1.145	1.539	1.385
	$C_{11}^{(+)}$	Non-dimensional	1.040	1.041	1.341	1.343
	$C_{12}^{(+)}$	Non-dimensional	0.915	0.944	0.925	0.953
Linguistic evaluation values in viewpoint of DM_1	$C_{13}^{(+)}$	Linguistic	SL	M	SH	SH
	$C_{14}^{(+)}$	Linguistic	M	M	SH	SH

$$\bar{a}_{ij}^{(k)} = \frac{a_{ij}^{(k)}}{a_i^{(k)*}} \text{ where } a_i^{(k)*} = \max_j \left\{a_{ij}^{(k)}\right\} \text{ for} \quad (۶)$$

$$i = 1,2,\dots,n \; ; \; j = 1,2,\dots,m \; ; \; k = 1,2,\dots,p$$

$$\bar{a}_{ij}^{(k)} = \frac{a_i^{(k)\sim}}{a_{ij}^{(k)}} \text{ where } a_i^{(k)\sim} = \min_j \left\{a_{ij}^{(k)}\right\} \text{ for} \quad (۷)$$

$$i = 1,2,\dots,n \; ; \; j = 1,2,\dots,m \; ; \; k = 1,2,\dots,p$$

در این روابط، $a_{ij}^{(k)}$ مقدار ارزیابی شاخص i اُم با توجه به شاخص j اُم از نظر تصمیم‌گیر k اُم می‌باشد. همچنین $\bar{a}_{ij}^{(k)}$ مقدار نرمال‌سازی‌شده $a_{ij}^{(k)}$ است. در این مقاله، تعداد شاخص‌های نهایی ($n = ۱۴$)، تعداد طرح‌های پیشنهادی ($m = ۴$) و تعداد تصمیم‌گیران ($k = ۱۰$) می‌باشد.

۴-۳-۲- مرحله تجمیع و ارزیابی ریسک

در تعیین امتیاز طرح‌ها از دیدگاه هریک از تصمیم‌گیران و نیز تعیین درجه اجماع گروهی طرح‌ها در مرحله بَعد، به ترتیب از دو نوع ارزیابی ریسک استفاده می‌شود. نوع اول مربوط به تأمین تعداد شاخص‌ها توسط طرح‌ها است که در تعیین امتیاز طرح‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع دوم ارزیابی ریسک نیز مربوط به اهمیت اجماع گروهی تعداد تصمیم‌گیران است که در تعیین درجه اجماع گروهی طرح‌ها استفاده می‌شود. در گام ۱۰، ابتدا درجه ریسک‌پذیری نوع اول مطابق جدول ۱۱، توسط مدیرگروه تعیین می‌شود (Emrouznejad and Marra, 2014).

مطابق گام ۱۱، پس از تعیین شرایط ریسک توسط مدیرگروه و اختصاص درجه ریسک‌پذیری متناظر بر اساس جدول ۱۱، وزن‌های عملگر IOWA توسط رابطه (۸) تعیین می‌گردد. در این رابطه، $(v_i \, , i = 1,2,\dots,n)$ وزن‌های عملگر می‌باشند و $v_i \geq 0$ و $\sum_{i=1}^{n} v_i = 1$ است.

$$v_i = \left(\frac{i}{n}\right)^{\left(\frac{1}{\theta}-1\right)} - \left(\frac{i-1}{n}\right)^{\left(\frac{1}{\theta}-1\right)} \; , \; i = 1,2,\dots,n \quad (۸)$$

اکنون، بر اساس حالت ریسک منتخب و وزن‌های عملگر IOWA، مقادیر ارزیابی‌های طرح‌ها با توجه شاخص‌ها در ماتریس‌های مربوط به هریک از تصمیم‌گیران تجمیع می‌گردد و امتیاز طرح‌ها از دیدگاه هر تصمیم‌گیر مطابق رابطه (۹) تعیین می‌شود:

$$F\,(Sc._j)^{(k)} \left\{\left(w_1^{(k)},\bar{a}_1^{(k)}\right),\left(w_2^{(k)},\bar{a}_2^{(k)}\right),\dots,\left(w_n^{(k)},\bar{a}_n^{(k)}\right)\right\} = \sum_{i=1}^{n} v_i c_i \; , \; j = 1,2,\dots,m \; ; \; k = 1,2,\dots,p \quad (۹)$$

$\bar{a}^{(k)} = \left\{\bar{a}_1^{(k)},\bar{a}_2^{(k)},\dots,\bar{a}_n^{(k)}\right\}$ مجموعه مقادیر ارزیابی‌های نرمال‌شده هر طرح از دیدگاه هر تصمیم‌گیر است. $w^{(k)} = \left(w_1^{(k)},w_2^{(k)},\dots,w_n^{(k)}\right)$ بردار درجه اهمیت شاخص‌های نهایی از دیدگاه هریک از تصمیم‌گیران است که به صورت متغیرهای زبانی است و در استفاده از عملگر IOWA نیازی به کمّی‌سازی ندارد. $v = (v_1,v_2,\dots,v_n)$ بردار وزن‌های عملگر IOWA می‌باشند. c_i، مقدار $\bar{a}_i^{(k)}$ از زوج $\left(w_i^{(k)},\bar{a}_i^{(k)}\right)$ می‌باشد که i اُمین مقدار بزرگ $w_i^{(k)}$ را داراست. $F\,(Sc._j)^{(k)}$ نیز امتیاز طرح j اُم از دیدگاه تصمیم‌گیر k اُم است.

مطابق گام ۱۳، امتیاز گروهی هر طرح، از تجمیع امتیاز طرح از دیدگاه تصمیم‌گیران توسط عملگر IOWA، مطابق رابطه (۱۰) تعیین می‌شود:

$$F\,(Sc._j)^{(G)} \left\{\left(\lambda_1,F\,(Sc._j)^{(1)}\right),\left(\lambda_2,F\,(Sc._j)^{(2)}\right),\dots,\left(\lambda_p,F\,(Sc._j)^{(p)}\right)\right\} = \sum_{k=1}^{p} u_k d_k \; , \; j = 1,2,\dots,m \quad (۱۰)$$

در این رابطه، $F_j = \left\{F_j^{(1)},F_j^{(2)},\dots,F_j^{(p)}\right\}$ مجموعه مقادیر امتیاز هر طرح از دیدگاه تصمیم‌گیران می‌باشد. $u = \left(u_1,u_2,\dots,u_p\right)$ بردار وزن عملگر IOWA است که مطابق رابطه (۲) در (بخش ۲-۳-۱) تعیین می‌گردد. $\lambda = \left(\lambda_1,\lambda_2,\dots,\lambda_p\right)$ بردار وزن تصمیم‌گیران و d_k، مقدار $F_j^{(k)}$ از زوج $\left(\lambda_k,F_j^{(k)}\right)$ است که k اُمین مقدار بزرگ λ_k را داراست. $F\,(Sc._j)^{(G)}$ امتیاز طرح j اُم ازدیدگاه گروه تصمیم‌گیران است.

Table 11. First Type several risk cases in scenario scoring

جدول ۱۱- حالت‌های مختلف ریسک تصمیم‌گیری نوع اول در تعیین امتیاز طرح‌ها

Risk viewpoint for determining the scores of scenarios	Linguistic statement (Satisfaction of number of criteria by scenarios)	Optimism (θ)degree
Completely risk-averse	All of criteria	0.001
Risk-averse	Most of criteria	0.091
Slightly risk-averse	Many of criteria	0.333
Neutral risk	Half of criteria	0.500
Slightly risk-prone	Some of criteria	0.667
Risk-prone	Few of criteria	0.909
Completely risk-prone	At least one of criteria	0.999

۵-۳-۲- مرحله اجماع گروهی

در گام ۱۴، در هر حالت ریسک تصمیم نوع دوم، درجه اجماع طرح‌ها توسط روش برنامه‌ریزی سازشی (CP) مطابق رابطه (۱۱) تعیین می‌شود:

$$\text{Cons.}\ (Sc_j)^{(G)} = 1 - \{\sum_{k=1}^{p} \lambda_k \left| F\ (Sc_j)^{(G)} - F\ (Sc_j)^{(k)} \right|^q\}^{\frac{1}{q}}\ ,\ j = 1,2,\dots,m \qquad (۱۱)$$

در این رابطه، λ_k وزن تصمیم‌گیران و $\text{Cons.}\ (Sc_j)^{(G)}$ درجه اجماع گروهی بر روی طرح jاُم می‌باشد. q نیز به عنوان پارامتر اجماع گروهی متناظر با حالت ریسک نوع دوم تصمیم‌گیری است که براساس جدول ۷ تعیین می‌گردد.

در این پژوهش، برای نوع اول ارزیابی ریسک، تمامی هفت حالت جدول ۱۱ در تحلیل حساسیت بررسی می‌گردد. برای نوع دوم ارزیابی ریسک نیز چهار دیدگاه جدول ۷ در تحلیل حساسیت استفاده می‌شود.

در مرحله بعد، با ترکیب امتیاز و درجه اجماع گروهی طرح‌ها توسط روابط (۱۰) و (۱۱)، امتیاز نهایی طرح‌ها مطابق رابطه (۱۲) تعیین می گردد:

$$\text{Score}\ (Sc_j)^{(G)} = \alpha\ F\ (Sc_j)^{(G)} + \beta\ \text{Cons.}\ (Sc_j)^{(G)}\ ,\quad j = 1,2,\dots,m \qquad (۱۲)$$

$\text{Score}\ (Sc_j)^{(G)}$ امتیاز نهایی طرح jاُم از دیدگاه گروه تصمیم‌گیران در هریک از حالت‌های ریسک تصمیم‌گیری است. مقدار α بیان‌گر ارجحیت امتیاز نسبت به درجه اجماع گروهی طرح‌ها می‌باشد. با استفاده از روش AHP براساس سه حالت ($\alpha/\beta = ۹$)، ($\alpha/\beta = ۱$)، و ($\beta/\alpha = ۹$)، به ترتیب سه مقدار ۰/۹۰۰، ۰/۵۰۰، و ۰/۱۰۰ برای α محاسبه می‌شود که امتیاز نهایی طرح‌ها بر اساس مقادیر مختلف α قابل‌محاسبه است. در نهایت وابسته به حالت ریسک تصمیم‌گیری، رتبه‌بندی طرح‌ها بر اساس امتیاز نهایی آن‌ها مشخص می‌شود.

۳- نتایج وتحلیل نتایج

۳-۱- نتایج انتخاب شاخص‌های نهایی تصمیم‌گیری مبتنی بر ارزیابی ریسک

مقادیر وزن‌های گروهی شاخص‌های اولیه بر اساس رابطه (۳) توسط روش IOWA محاسبه گردیده است، و مطابق نمودار شکل ۳ می‌باشد.

مطابق شکل ۳، شاخص‌هایی نظیر تنش آبی نسبی (C_1)، و ناپایداری آبخوان (C_{15}) بیشترین وزن‌ها را از دیدگاه گروه تصمیم‌گیران دارند. این امر بیان‌گر اهمیت ویژه نسبت برداشت‌ها به ذخایر آبی به خصوص برداشت‌ها از منابع آب زیرزمینی در محدوده مشهد می‌باشد. درجات اجماع گروهی شاخص‌ها با استفاده از روش CP بر اساس رابطه (۴) برای حالت‌های ریسک مطابق شکل ۴ محاسبه گردیده است.

با توجه به شکل (۴)، درجه اجماع هر شاخص در شرایط ریسک‌گریزی کامل کمترین مقدار را داراست. زیرا از یک سو دیدگاه کاملاً ریسک‌گریز (کاملاً بدبینانه) بر خصوصیات منفی تصمیم‌گیری تأکید دارد، بنابراین در این حالت درجه اجماع کمینه است.

از سویی دیگر، در اجماع بین تمامی تصمیم‌گیران، حصول اجماع گروهی دشوارتر و درجه اجماع کمتر خواهد بود. در شرایط ریسک خنثی، حصول اجماع گروهی تسهیل شده و درجه اجماع افزایش می‌یابد.

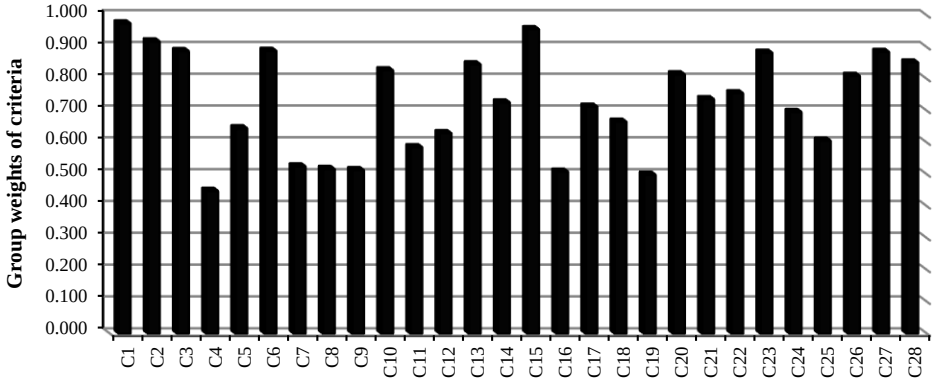

Fig. 3. Weights of initial criteria in DMs' viewpoints

شکل ۳- وزن شاخص‌های اولیه از دیدگاه گروه تصمیم‌گیران

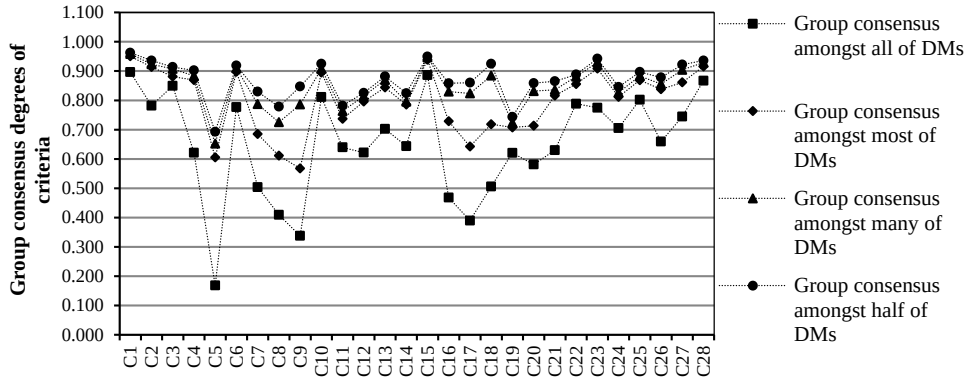

Fig. 4. Group consensus degrees of initial criteria in several risk cases
شکل ۴- درجه اجماع گروهی شاخص‌های اولیه در حالت‌های مختلف ریسک

امتیاز نهایی شاخص‌ها در هر حالت ریسک، با استفاده از روش IOWA-CP برای مقادیر مختلف α، مطابق رابطه (۵) محاسبه گردیده است. در شکل ۵ امتیاز نهایی شاخص‌های اولیه براساس حد ۰/۷۶۷، در حالت اجماع تمامی تصمیم‌گیران برای مقادیر α نشان داده شده است. مطابق نمودار شکل ۵، در مواردی که وزن شاخص از درجه اجماع آن بیشتر است، با افزایش مقدار α، مقدار امتیاز نهایی شاخص افزایش می‌یابد و بالعکس، در مواردی که درجه اجماع شاخص از وزن آن بیشتر است، با افزایش مقدار α، مقدار امتیاز نهایی شاخص کاهش می‌یابد. برای حالت ارجحیت یکسان وزن و درجه اجماع گروهی شاخص‌ها (α = ۰/۵۰۰)، با توجه به حد آستانه قابل‌قبول تعیین‌شده توسط مدیرگروه (۰/۷۶۷)، شاخص‌های نهایی منتخب توسط روش پیشنهادی IOWA-CP در چهار حالت ریسک تصمیم‌گیری، مطابق جدول ۱۲ می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهد که در حالت ریسک‌گریزی کامل، تعداد شـــاخص‌های کمتر و در حالت ریسک خنثی، نیز تـــعداد بیشتری از شاخص‌ها مورد پذیرش نهایی قرار می‌گیرند. در این پژوهش، براساس نظر مدیرگروه، حالت ۳ به‌عنوان حالت ریسک تصمیم‌گیری موردنظر قرار گرفت و ۱۴ شاخص نهایی انتخاب گردیدند. قابل‌توجه است که در بین شاخص‌های منتخب، شاخص‌هایی نظیر تنش آبی نسبی، پایداری آبخوان، و قابلیت اطمینان در تأمین آب وجود دارند که بیان‌گر اهمیت ویژه منابع آب زیرزمینی تجدیدپذیر و نیز نسبت برداشت‌ها به ذخایر آب در محدوده مشهد است. همچنین شاخص‌هایی نظیر پتانسیل قابل‌تنظیم منابع آب سطحی حذف گردیدند که این امر مبیّن عدم‌اتکا به منابع آب سطحی با توجه به شرایط اقلیمی نیمه‌خشک دشت مشهد می‌باشد.

۳-۲- نتایج رتبه‌بندی طرح‌ها و انتخاب طرح برتر مبتنی بر ارزیابی ریسک

امتیاز گروهی طرح‌ها توسط روش IOWA براساس رابطه (۱۰) محاسبه گردیده، و برای هفت حالت ریسک نوع اول مطابق شکل ۶ است.

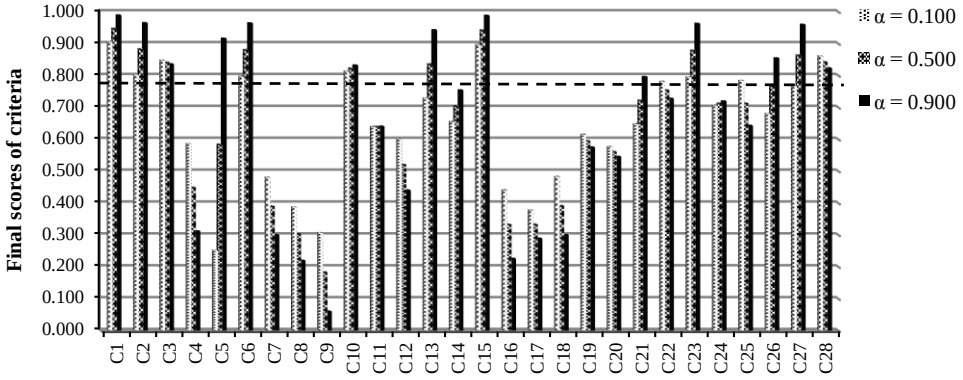

Fig. 5. Final scores of initial criteria in DMs' viewpoints
شکل ۵- امتیاز نهایی شاخص‌های اولیه بر اساس اجماع تمامی تصمیم‌گیران

Table 12. Final selected criteria in DMs' viewpoints in several risk cases
جدول ۱۲- شاخص‌های نهایی منتخب از دیدگاه تصمیم‌گیران در حالت‌های مختلف ریسک

Case 1: Importance of group consensus amongst all of DMs
The final criteria C_1, C_2, C_3, C_6, C_{10}, C_{13}, C_{15}, C_{23}, C_{26}, C_{27} and C_{28} have been selected. (11 criteria are selected).
Case 2: Importance of group consensus amongst all of DMs
The final criteria C_1, C_2, C_3, C_6, C_{10}, C_{13}, C_{15}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{26}, C_{27} and C_{28} have been selected. (13 criteria are selected).
Case 3: Importance of group consensus amongst all of DMs
The final criteria **C_1, C_2, C_3, C_6, C_{10}, C_{13}, C_{15}, C_{17} ,C_{18}, C_{20}, C_{21}, C_{22}, C_{23} ,C_{26}, C_{27} and C_{28} have been selected.** (14 criteria are selected).
Case 4: Importance of group consensus amongst all of DMs
The final criteria C_1, C_2, C_3, C_6, C_{10}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{17} ,C_{18}, C_{20}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}, C_{26}, C_{27} and C_{28} have been selected. (18 criteria are selected).

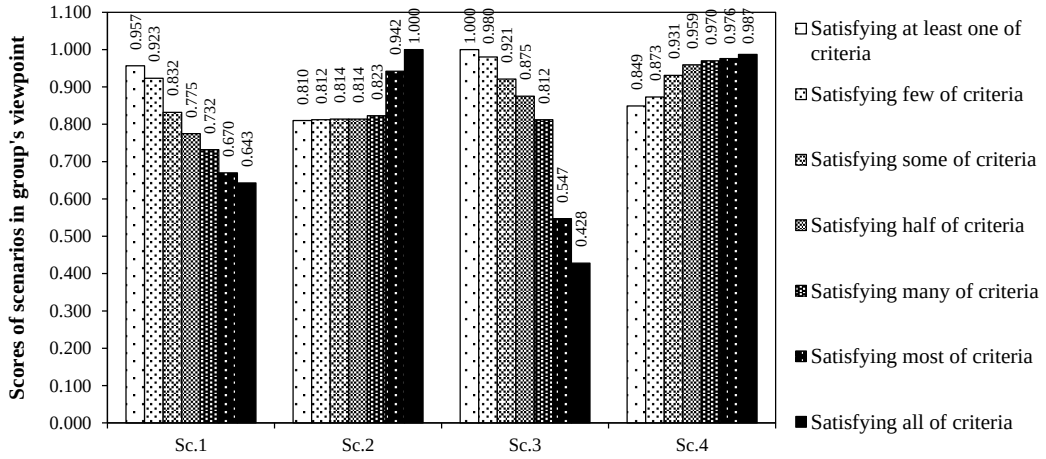

Fig. 6. Scores of scenarios in the first type several risk cases
شکل ۶- امتیاز طرح‌ها از دیدگاه تصمیم‌گیران در حالت‌های ریسک نوع اول

با توجه به نمودار شکل ۶ در حالت ریسک‌گریزی کامل (تأمین تمامی شاخص‌ها توسط طرح‌ها)، طرح‌های ۲ و ۴ به صورت رقابتی در اولویت هستند. درحالی‌که در نگرش ریسک‌پذیری کامل (تأمین حداقل شاخص تنش آبی نسبی توسط طرح‌ها)، طرح ۳ در اولویت است. درجه اجماع گروهی طرح‌ها توسط روش CP براساس رابطه (۱۱) برای حالات ریسک نوع دوم محاسبه گردیده، و مطابق شکل ۷ است.

با توجه به شکل ۷، درجه اجماع گروهی طرح‌ها، در شرایط ریسک‌گریزی کامل (اهمیت اجماع گروهی تمامی تصمیم‌گیران) کمترین مقادیر را دارا می‌باشند. نکته مهم در این نمودار، بالا بودن قابل‌توجه درجه اجماع طرح ۴ نسبت به سایر طرح‌ها در حالت اهمیت اجماع گروهی تمامی تصمیم‌گیران به منظور تأمین تمامی شاخص‌ها می‌باشد، که رویکردی مبتنی بر مدیریت تلفیقی تأمین و تقاضا در دیدگاه کاملاً ریسک‌گریز (محافظه‌کارانه) دارد.

امتیاز نهایی طرح‌ها در هر حالت ریسک، با استفاده از روش IOWA-CP برای مقادیر مختلف α، مطابق رابطه (۱۲) محاسبه گردیده است. در شکل ۸ امتیاز نهایی طرح‌ها، در حالت اهمیت اجماع تمامی تصمیم‌گیران و تأمین تمامی شاخص‌ها توسط طرح‌ها برای مقادیر α نشان داده شده است.

مطابق شکل ۸، مشاهده می‌شود که وابسته به مقادیر α امتیاز نهایی طرح‌ها متفاوت خواهد بود. در مواردی که امتیاز طرح‌ها نسبت به درجه اجماع ارجح است ($\alpha = ۰/۹۰۰$)، طرح‌های ۲ و ۴ در رقابت‌اند و حتی می‌توان از طرح ۲ (مدیریت تأمین) به عنوان جایگزین طرح ۴ (مدیریت تلفیقی تأمین و تقاضا) استفاده نمود. در مواردی که درجه اجماع ارجح است ($\alpha = ۰/۱۰۰$)، برتری مطلق مربوط به طرح ۴ است.

برای حالت ($\alpha = ۰/۵۰۰$)، رتبه طرح‌ها در هفت حالت ریسک نوع اول و چهار حالت ریسک نوع دوم تصمیم‌گیری، مطابق جدول ۱۳ می‌باشد.

از نتایج مشاهده می‌شود که وابسته به هریک از دو نوع ارزیابی ریسک تصمیم‌گیری، نتایج رتبه‌های طرح‌ها متفاوت خواهد بود. در دشت مشهد مدیرگروه ریسک‌پذیر برای تأمین حداقل شاخص تنش آبی نسبی، طرح ۳ را به عنوان طرح برتر انتخاب می‌نماید.

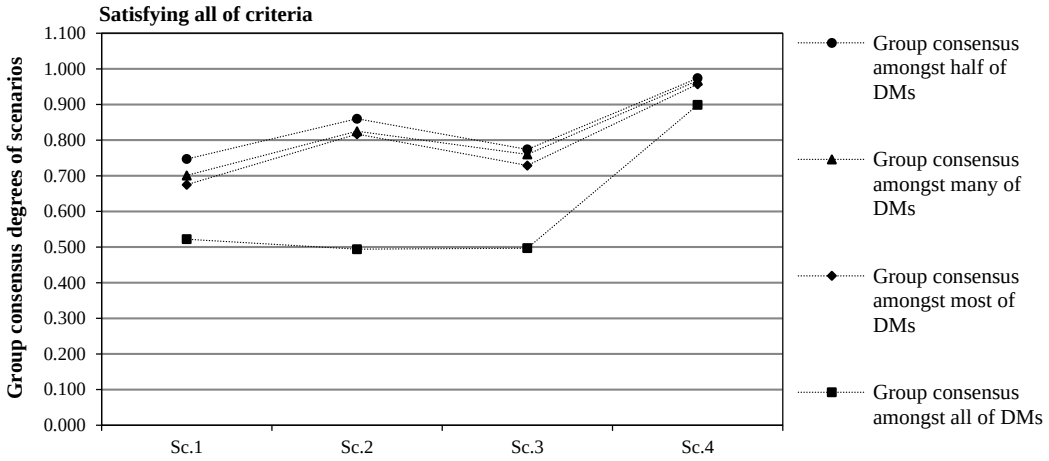

Fig. 7. Group consensus degrees of scenarios in the second type several risk cases
شکل ۷- درجه اجماع گروهی طرح‌ها در حالت‌های مختلف ریسک نوع دوم

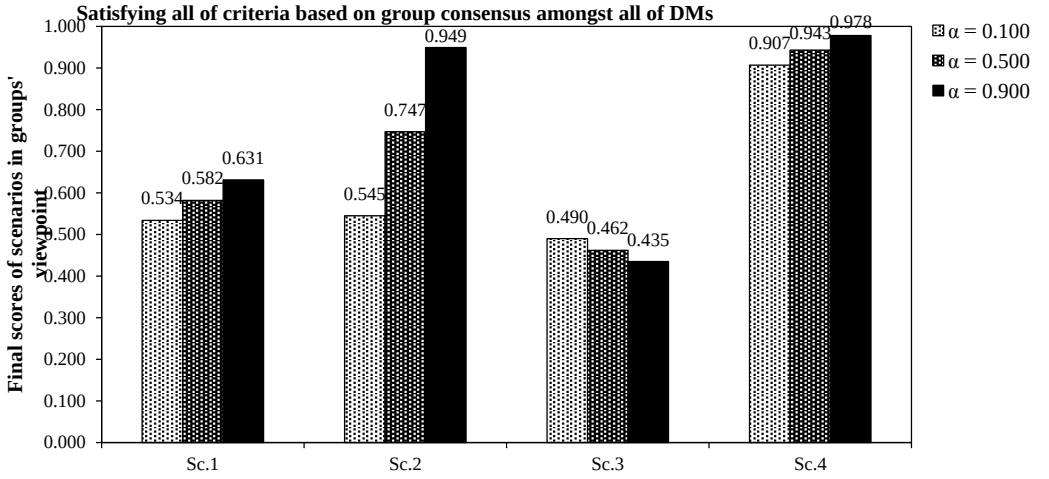

Fig. 8. Final scores of scenarios in completely risk-prone viewpoint
شکل ۸- امتیاز نهایی طرح‌ها در شرایط ریسک‌گریزی کامل

اما مدیرگروه ریسک‌گریز و محافظه‌کار که تمایل به تأمین تمامی شاخص‌ها را دارد، طرح ۴ را به عنوان طرح ارجح انتخاب می‌کند. به منظور مقایسه نهایی طرح‌ها، مطابق پیشنهاد تصمیم‌گیران حوضه‌ای، فرآیند تحلیل تصمیم‌گیری بر مبنای تأمین مهم‌ترین شاخص‌های مربوط به اهدف توسعه پایدار به صورت جداگانه انجام گردید.

۳-۳- نتیجه تحلیل تصمیم‌گیری بر مبنای مهم‌ترین شاخص‌های توسعه پایدار

به منظور مقایسه نهایی طرح‌ها، در تحلیلی مبتنی بر تأمین شاخص‌های اولویت‌دار در توسعه پایدار دشت مشهد، مهم‌ترین شاخص پایداری منابع آب و محیطزیست (تنش آبی نسبی)، مهم‌ترین شاخص‌های پایداری اقتصادی (بهره‌وری آب در تولید کشاورزی و نسبت درآمد به هزینه)، و نیز مهم‌ترین شاخص پایداری اجتماعی (میزان رفاه اجتماعی) مدنظر قرار گرفته و مقایسه بین طرح‌ها بر اساس فرآیند تصمیم‌گیری توسط روش IOWA-CP در شرایط اجماع تمامی تصمیم‌گیران به منظور تأمین شاخص‌های اولویت‌دار اهداف پایداری منابع آب و محیطزیست و پایداری اقتصادی و اجتماعی به صورت مجزا انجام شده است. نتایج رتبه‌های طرح‌ها در این تحلیل مطابق جدول ۱۴ می‌باشد.

مطابق نتایج جدول ۱۴ مشاهده می‌شود که از منظر هدف پایداری منابع آب و محیطزیست و تأمین شاخص تنش آبی نسبی، طرح ۳ (مدیریت تقاضا) نسبت به سایر طرح‌ها دارای اولویت می‌باشد. در حصول بهره‌وری مناسب آب در تولید کشاورزی، نیز طرح ۳ نسبت به سایر طرح‌ها در اولویت است. نسبت درآمد به هزینه نیز برای دو طرح ۳ و ۴ تقریباً یکسان می‌باشد و این امر مبین اولویت یکسان این دو طرح در تأمین این شاخص است. بنابراین از منظر هدف پایداری اقتصادی نیز، در دشت مشهد طرح مدیریت تقاضا نسبت به سایر طرح‌ها اولویت دارد. از منظر هدف پایداری اجتماعی نیز طرح ۴ (مدیریت تلفیقی تأمین و تقاضا) نسبت بـــه سایر طرح‌ها منتخب می‌باشد که دلیل آن تأمین درصد بیشتری از نیاز آبی کشاورزی و درنتیجه ایجاد شرایط رفاه بالاتر در معیشت کشاورزان است.

اولویت اهداف پایداری منابع آب و محیطزیست، پایداری اقتصادی، یا پایداری اجتماعی به منظور تعیین طرح برتر تأمین آب وابسته به نوع نگرش و نیز سیاست‌های تصمیم‌گیری در مدیریت حوضه آبریز است.

Table 13. Scenarios' ranking for several cases of first and second risk analysis

جدول ۱۳- رتبه‌بندی طرح‌ها در حالت‌های مختلف ریسک نوع اول و دوم

Case No. 1: Group consensus amongst all of DMs							
Satisfaction of criteria by scenarios	Satisfying at least one of criteria (the most important criteria)	Satisfying few of criteria	Satisfying some of criteria	Satisfying half of criteria	Satisfying many of criteria	Satisfying most of criteria	Satisfying all of criteria
$Sc._1$	2	**1**	3	4	4	3	3
$Sc._2$	3	4	4	3	3	2	2
$Sc._3$	**1**	2	2	2	2	4	4
$Sc._4$	4	3	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Case No. 2: Group consensus amongst most of DMs							
Satisfaction of criteria by scenarios	Satisfying at least one of criteria (the most important criteria)	Satisfying few of criteria	Satisfying some of criteria	Satisfying half of criteria	Satisfying many of criteria	Satisfying most of criteria	Satisfying all of criteria
$Sc._1$	2	**1**	3	4	4	3	4
$Sc._2$	4	4	4	3	3	2	2
$Sc._3$	**1**	2	2	2	2	4	3
$Sc._4$	3	3	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Case No. 3: Group consensus amongst many of DMs							
Satisfaction of criteria by scenarios	Satisfying at least one of criteria (the most important criteria)	Satisfying few of criteria	Satisfying some of criteria	Satisfying half of criteria	Satisfying many of criteria	Satisfying most of criteria	Satisfying all of criteria
$Sc._1$	3	**1**	4	4	4	4	4
$Sc._2$	4	4	3	3	2	2	2
$Sc._3$	**1**	2	2	2	3	3	3
$Sc._4$	2	3	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Case No. 4: Group consensus amongst half of DMs							
Satisfaction of criteria by scenarios	Satisfying at least one of criteria (the most important criteria)	Satisfying few of criteria	Satisfying some of criteria	Satisfying half of criteria	Satisfying many of criteria	Satisfying most of criteria	Satisfying all of criteria
$Sc._1$	3	**1**	4	4	4	4	4
$Sc._2$	4	4	3	3	2	2	2
$Sc._3$	**1**	2	2	2	3	3	3
$Sc._4$	2	3	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**

Table 14. Scenarios' ranking based on satisfying the most important sustainable criteria

جدول ۱۴- رتبه‌بندی طرح‌ها در تحلیل مبتنی بر تأمین مهم‌ترین شاخص‌های پایداری

Group consensus amongst all of DMs	**Satisfaction of criterion**	**$Sc._1$**	**$Sc._2$**	**$Sc._3$**	**$Sc._4$**
Water resources and environmental sustainability	Satisfying rational water stress	3	4	**1**	2
Economic sustainability	Satisfying agricultural water productivity	3	4	**1**	2
	Satisfying benefit per cost ratio	3	2	**1**	
Social sustainability	Satisfying social equity	4	2	3	**1**

۴- خلاصه و جمع‌بندی

در مقاله حاضر پس از معرفی فرآیند تصمیم‌گیری گروهی ریسک‌محور، ضرورت برپایی مدل تصمیم‌گیری برای مدیریت تأمین آب محدوده دشت مشهد در افق طرح بیان شد. سپس در فرآیند مهندسی ارزش مبتنی بر تحلیل ریاضی، با استفاده از عملگر تجمیع IOWA و نیز روش فاصله‌محور CP، به ترتیب مقادیر وزن شاخص‌ها از دیدگاه گروه تصمیم‌گیران و درجه اجماع گروهی شاخص‌های اولیه مشخص گردید. در ادامه با استفاده از ترکیب خطی وزن و درجه اجماع گروهی و مقایسه با حد آستانه قابل‌قبول، ۱۴ شاخص نهایی برای ارزیابی طرح‌های تأمین آب در دشت مشهد انتخاب شدند. در ادامه فرآیند تصمیم‌گیری، چهار طرح پیشنهادی با نگرش مدیریت تأمین، مدیریت تقاضا و مدیریت تلفیقی تأمین و تقاضا بر اساس شاخص‌های منتخب توسط تصمیم‌گیران مورد ارزیابی قرار گرفت و امتیاز طرح‌ها با استفاده از روش ترکیبی IOWA-CP در حالت‌های مختلف ریسک تعیین گردید. در نهایت، بر اساس امتیاز نهایی طرح‌ها، رتبه‌بندی در حالت‌های مختلف ریسک انجام شد و در هر حالت طرح برتر انتخاب گردید.

نتایج رتبه‌بندی طرح‌های تأمین آب در دشت مشهد مبیّن وابستگی به میزان ریسک تصمیم‌گیری شرکت آب منطقه‌ای به عنوان مدیرگروه تصمیم‌گیر براساس اهمیت دادن به اجماع تعداد گروه‌های تصمیم‌گیر و نیز تأمین تعداد شاخص‌های توسعه پایدار است. در دشت مشهد در حالت ریسک‌پذیری و در شرایط اجماع تمامی گروه های تصمیم‌گیر، برای تأمین حداقل شاخص تنش آبی نسبی، طرح مدیریت تقاضا به عنوان طرح برتر انتخاب گردید. اما در شرایط ریسک‌گریزی و محافظه‌کارانه، به منظور تأمین تمامی شاخص‌های منتخب در دشت مشهد، طرح مدیریت تلفیقی تأمین و تقاضا به عنوان طرح ارجح انتخاب گردید. به منظور مقایسه نهایی طرح‌های پیشنهادی در دشت مشهد، مهم‌ترین شاخص‌های مربوط به هریک از اهداف پایداری منابع آب و محیط‌زیست، پایداری اقتصادی و پایداری اجتماعی (مشتمل بر شاخص‌های تنش آبی نسبی، بهره‌وری آب در تولید کشاورزی، نسبت درآمد به هزینه و میزان رفاه اجتماعی) به صورت جداگانه مورد تحلیل فرآیند تصمیم‌گیری گروهی قرار گرفتند.

نتایج تحلیل نهایی بیان‌گر این است که از نظر پایداری منابع آب و محیط‌زیست، طرح مدیریت تقاضا نسبت به سایر طرح‌ها در اولویت می‌باشد و تنش آبی کمتری را در دشت مشهد ایجاد می‌نماید. از نظر پایداری اقتصادی نیز طرح مدیریت تقاضا نسبت به سایر طرح‌ها دارای اولویت است و بهره‌وری بیشتر و همچنین نسبت درآمد به هزینه بالاتری را در دشت مشهد برای تأمین آب به همراه دارد. اما از نظر پایداری اجتماعی، طرح مدیریت تلفیقی تأمین و تقاضا به دلیل تأمین درصد بیشتری از نیاز آبی کشاورزی و ایجاد رفاه اجتماعی بهتر برای ذی‌نفعان نسبت به سایر طرح‌ها در اولویت است. انتخاب طرح برتر از میان طرح‌های رقابتی مدیریت تقاضا و مدیریت تلفیقی تأمین و تقاضا در دشت مشهد به استراتژی شرکت آب منطقه‌ای در مدیریت این دشت و نیز نوع نگرش و سیاست‌های مدیرگروه و تصمیم‌گیران در اولویت‌دهی به شاخص‌های توسعه پایدار وابسته است.

برای مطالعات آینده دشت مشهد و نیز سایر دشت‌ها و حوضه‌های آبریز کشور، انجام یک فرآیند تصمیم‌گیری گروهی دقیق مبتنی بر مشارکت حداکثری از طیف گسترده‌ای از ذی‌نفعان، ذی‌مدخلان و صاحب‌نظران برای انتخاب شاخص‌های نهایی و اولویت‌دار مبتنی بر اهداف توسعه پایدار پیشنهاد می‌گردد. همچنین با توجه به پویایی سامانه‌های منابع آب و نیز تغییرات تقاضاها در گذر زمان، می‌توان طرح‌های متنوع‌تری از مدیریت تأمین و تقاضا را برای تأمین آب دشت براساس شاخص‌های پایداری ارزیابی نموده و با تحلیل حساسیت نسبت به حالت‌های مختلف ریسک تصمیم‌گیری، اولویت های طرح‌های تأمین آب را مشخص نمود و شرایط را برای ایجاد یک حکمرانی مشارکتی مؤثر در حوضه آبریز فراهم آورد.

۵- تشکر

نویسندگان از شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، شرکت مهندسی مشاور طوس‌آب، و سایر سازمان‌ها و نهادها بابت همکاری لازم در تأمین اطلاعات و امکانات مورد نیاز این پژوهش، نهایت تشکر و سپاس را دارند. همچنین نویسنده اول مقاله از وزارت محترم علوم، تحقیقات و فناوری بابت اهداء کمک‌هزینه فرصت تحقیقاتی در دانشگاه ایالتی میشیگان آمریکا، که در به نتیجه رسیدن این مطالعات مؤثر واقع گردید، کمال قدردانی را می‌نماید.

پی‌نوشت‌ها

1- Effective watershed management
2- Sustainable development objectives
3- Decision makers
4- Beneficiaries
5- Stakeholders
6- Scenarios
7- Multi-Criteria Decision-Making
8- Multi-Attribute Decision-Making
9- Criterion
10- Index

11- Multi-Attribute Group Decision-Making
12- Group consensus
13- Simple Additive Weighting
14- Ordered Weighted Averaging
15- Induced Ordered Weighted Averaging
16- Risk assessment
17- Aggregation operator
18- Compromise Programming
19- Linguistic variables
20- Fuzzy logic
21- Triangular fuzzy membership functions
22- Defuzzification
23- Fully risk-averse viewpoint
24- Fully risk-prone viewpoint
25- Optimistic degree
26- Fuzzy linguistic quantifier
27- Analytical Hierarchy Process
28- Threshold Level of Acceptance

۶- مراجع

Aravossis K, Vliamos S, Anagnostopoulos P, Kungolos A (2003) An innovative cost-benefit analysis as a decision support system for the evaluation of alternative scenarios of water resources management. Parlar Scientific Publications 12:1433–1443

Atashi M, Davari K, Sharifi MB (2014) Simulation of quantitative and qualitative allocation of the surface water and groundwater resources for supplying the urban demand of Mashhad. Journal of Water and Wastewater 5:23–34 (In Persian)

Ardakanian R, Zarghami M (2004) The criteria for assessment of water resources projects with regard to the sustainable development in Iran. In: Proc. of 1st National Conference on Water Resources Management (WRM-2004), 16-18 November, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, (In Persian)

Ashton RH (1992) Effects of justification and a mechanical aid on judgment performance. Organizational Behavior and Human Decision Processes 52(2):292–306

Bender MJ, Simonovic SP (2000) A fuzzy compromise approach to water resource systems planning under uncertainty. Fuzzy Sets and Systems 115:35–44.

Bouzarour-Amokrane Y, Tchangani A, Peres F (2015) A bipolar consensus approach for group decision making problems. Expert Systems with Applications 42(3):1759–1772

Chiclana F, Tapia García JM, del Moral MJ, Herrera-Viedma E (2013) A statistical comparative study of different similarity measures of consensus in group decision making. Information Sciences 221:110–123

Emrouznejad A, Marra M (2014) Ordered weighted averaging operators 1988–2014: A citation-based literature Survey. International Journal of Intelligent Systems 29(11):994–1014

Gazerani H (2011) Application of WEAP modelling in decision support systems: Case study of a part of Kashafroud river basin. Master Thesis of Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Giri S, Nejadhashemi AP (2014) Application of analytical hierarchy process for effective selection of agricultural best management practices. Journal of Environmental Management 132:165–177

Global Water Partnership (GWP) (2004) IWRM and Water Efficiency Plan, Why, What and How? GWP, TAC Background Papers No. 10, Stockholm, Sweden

Hajkowicz S, Collins K (2007) A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. Water Resources Management 21:1553–1566

Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL (1996) Direct approach processes in group decision making using linguistic OWA operators. Fuzzy Sets and Systems 79(2):175–190

Javidi Sabbaghian R, Zarghami M, Sharifi MB (2015) Determination of decision making indicators using risk assessment and group consensus: Case study of water crisis management of Mashhad plain. In: Proc. of 6th International Conference on Integrated Natural Disaster Management (INDM-2015), 15-16 February, Mashhad, Iran, (In Persian)

Javidi Sabbaghian R, Zarghami M, Nejadhashemi AP, Sharifi MB, Herman Rayan M, Daneshvar F (2016) Application of risk-based multiple criteria decision analysis for selection of the best agricultural scenario for effective watershed management. Journal of Environmental Management 168:260-272

Karamouz M, Ahmadi A, Asgarinejad V (2008) Evaluation of indicators of sustainability for water resources development scenarios using value engineering approach. In: Proc. of 3rd National Conference on Value Engineering (VE-2008), 26 February, Technical Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran, (In Persian)

Liu X (2011) A review of the OWA determination methods, classification and some extensions. In: Recent developments in the ordered weighted averaging operators: theory and practice. Yage RR, Kacprzyk J, Beliakov (eds), Springer, Berlin, 49–90

project, the eastern basins of Iran, report of modelling of the water resources and consumptions, Quaraqum watershed (In Persian)

Tooss Ab Consultant Co. (2013[d]) Updating of integrated water resources management of Iran project, the eastern basins of Iran, report of agricultural water, Quaraqum watershed (In Persian)

Tooss Ab Consultant Co. (2013[e]) Updating of integrated water resources management of Iran project, the eastern basins of Iran, report of non-consumption water, Quaraqum watershed (In Persian)

Yager RR (1988) On ordered weighted averaging aggregation operators in multi criteria decision making. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics 18(1):183–190

Yager RR (1996) Quantifier guided aggregation using OWA operators. International Journal of Intelligent Systems 11(1):49–73

Yager RR, Filev DP (1999) Induced ordered weighted averaging operators. IEEE Transaction on Systems Man and Cybernetics-Part B-Cybernetics 29(2):141–150

Yu L, Lai KK (2011) A distance-based group decision-making methodology for multi-person multi-criteria emergency decision support. Decision Support Systems 51:307–315

Zadeh LA (1983) A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. Computers and Mathematics with Application 9(1):149–184

Zarghami M, Szidarovszky F (2008) Fuzzy quantifiers in sensitivity analysis of OWA operator. Computational Industrial Engineering 54:1006–1018

Zarghami M, Szidarovszky F (2009) Revising the OWA operator for multi-criteria decision making problems under uncertainty. European Journal of Operational Research 198:259–265

Zarghami M, Szidarovszky F (2010) On the relation between compromise programming and ordered weighted averaging operator. Information Sciences 180(11):2239–2248

Zekâi S (2010) Fuzzy logic and hydrological modeling. Taylor & Francis Group, New York

Zeleny M (1973) Compromise programming. In: Cochrane JL, Zeleny M (Eds) Multiple criteria decision making. University of South Carolina Press, Columbia, USA, 263–301

Mianabadi H, Afshar A (2008) A new consensus-based fuzzy group decision-making algorithm case study: groundwater resources manage. Iran Water Resources Research 4(2):1–13

Mianabadi H, Afshar A, Khamooshi H (2009) Heterogeneous group decision making in integrated water resources management. In: Proc. of 2nd International Conference of Water, Ecosystems and Sustainable Development in Arid and Semi-Arid Zones (WATARID-2009), May, Tehran, Iran

Mianabadi H, Afshar A, Zarghami M (2011) Intelligent multi-stakeholder environmental management. Expert Systems with Applications 38:862–866

Mianabadi H, Sheikhmohammady M, Mostert E, Van de Giesen N (2014) Application of the ordered weighted averaging (OWA) method to the Caspian Sea conflict. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 28(6):1359–1372

Shih HS, Shyur HJ, Lee ES (2007) An extension of TOPSIS for group decision making. Mathematical and Computer Modeling 45(7-8):801–183

Tooss Ab Consultant Co. (2009) Integrated water resources management of Kashafroud river basin, report of agricultural water (In Persian)

Tooss Ab Consultant Co. (2012[a]) Updating of integrated water resources management of Iran project, the eastern basins of Iran, report of population, Quaraqum watershed (In Persian)

Tooss Ab Consultant Co. (2012[b]) Updating of integrated water resources management of Iran project, the eastern basins of Iran, report of urban and rural water, Quaraqum watershed (In Persian)

Tooss Ab Consultant Co. (2012[c]) Updating of integrated water resources management of Iran project, the eastern basins of Iran, report of industrial water, Quaraqum watershed (In Persian)

Tooss Ab Consultant Co. (2013[a]) Updating of integrated water resources management of Iran project, the eastern basins of Iran, report of codification of the criteria associated with water resources and consumptions, Quaraqum watershed (In Persian)

Tooss Ab Consultant Co. (2013[b]) Updating of integrated water resources management of Iran project, the eastern basins of Iran, report of balance of water resources and consumptions, Quaraqum watershed (In Persian)

Tooss Ab Consultant Co. (2013[c]) Updating of integrated water resources management of Iran