

Application of Compromise Programming Method and Fuzzy-Spatial Indicators for Assessment of Water Allocation Scenarios, (Case Study; Aras Basin)

EBRAHIM MOKALLAF SARBAND¹, SHAHAB ARAGHINEJAD², JALAL ATTARI³ AND KUMARS EBRAHIMI^{4*}

1. PhD student of Water Engineering, Department of Water Resources Engineering, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran

2. Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering University of Tehran Karaj, Iran.

3. Associate Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

4. Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: Sep. 30, 2018- Revised: Dec. 15, 2018- Accepted: Dec. 22, 2018)

ABSTRACT

In the context of integrated water resources management, assessment of water allocation scenarios is very important and complex. There are different and sometimes conflicting indicators in water resources management that have different values in different areas. Regarding this, evaluation of allocation scenarios involves performing the spatial multi-criteria analysis. The aim of this study was to evaluate water resources allocation scenarios using a spatial decision support system. Therefore, the compromise programming method with the economic, social and environmental indicators has been implemented in the Aras basin. In the first step, the indicators were considered as lumped and distributed form with equal weight. In the second step, the sensitivity of the compromise programming method was analyzed changing one of the indicators weight, while maintaining the other indicators constant. In step three, group and fuzzy decision making approach was used to determine the weight of the indicators. Then, scenarios 1 to 5 ranked fifth, third, second, first and fourth respectively. The results of this study showed implementing spatial distribution of indicators influence both scores and rankings of the water resources allocation scenarios. So that the Spearman correlation coefficient of the rankings, caused by application of lumped and distributed indicators, was calculated to be 0.6. Also, application of the compromise programming method, group-fuzzy weight and distributed indicators leads to a change in ranking and reduce correlation coefficient up to 0.2. Regarding the effect of two parameters, including the type of indicators and the group-fuzzy weight of indicators, on the scenarios ranking results, a significant uncertainty in the process of assessing scenarios could be occurred if the proposed parameters would not be considered. Therefore, it is essential to consider the spatial distribution of the values and the group-fuzzy decision-making should be used to determine the weight of evaluation indices.

Keywords: Integrated water resources management, Decision support system, Lumped and distributed indicators

کاربرد برنامه‌ریزی سازشی و شاخص‌های فازی - مکانی در ارزیابی سناریوهای تخصیص آب، (مطالعه موردی):

حوضه ارس)

۱. ابراهیم مکلف سریند، شهاب عراقی نژاد^۲، جلال عطاری^۳ و کیومرث ابراهیمی^{۴*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید بهشتی

۲. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی،

دانشگاه تهران، کرج

۳. دانشیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید بهشتی

۴. استاد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۹/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۱)

چکیده

در مدیریت به هم پیوسته منابع آب، ارزیابی سناریوهای تخصیص آب پیچیده و از اهمیت بالایی برخوردار است. شاخص‌های متفاوت و بعضاً متناقضی در مدیریت منابع آب مطرح‌اند و این شاخص‌ها مقادیر متفاوت در مکان‌های مختلف حوضه دارند. لذا ارزیابی سناریوهای تخصیص آب مستلزم انجام تحلیل‌های چندمعیاره مکانی می‌باشد. هدف مقاله حاضر، ارزیابی سناریوهای تخصیص منابع آب با استفاده از یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی بود. لذا برنامه‌ریزی سازشی با شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در حوضه ارس بکار برده شد. در گام اول، شاخص‌ها به دو صورت توده‌ای و توزیعی با وزن یکسان و در گام دوم به طور نمونه حساسیت روش برنامه‌ریزی سازشی به تغییر وزن یکی از شاخص‌ها با حفظ وزن مساوی برای سایر شاخص‌ها تحلیل شد. در گام سوم تصمیم‌گیری گروهی و فازی برای تعیین وزن شاخص‌ها اعمال و سپس سناریوهای یک تا پنج به ترتیب، حائز رتبه‌های پنجم، سوم، دوم، یکم و چهارم شدند. نتایج نشان داد که اعمال توزیع مکانی شاخص‌ها هم بر امتیاز و هم بر رتبه سناریوهای تخصیص منابع آب تأثیر قابل ملاحظه دارد. به طوری که ضریب همبستگی اسپیرمن رتبه‌بندی ناشی از به‌کارگیری دو شاخص توزیعی و توده‌ای معادل ۰/۶ به دست آمد. همچنین استفاده از روش برنامه‌ریزی سازشی، وزن گروهی-فازی و شاخص توزیعی، منجر به تغییر رتبه‌بندی و کاهش ضریب همبستگی تا میزان ۰/۲ می‌شود. نظر به تأثیرگذاری پارامترهای نوع شاخص‌ها و وزن گروهی-فازی آن‌ها بر نتایج رتبه‌بندی سناریوها، عدم لحاظ دو پارامتر مذکور می‌تواند منجر به عدم قطعیت قابل توجه در فرآیند ارزیابی سناریوها شود. لذا ضروری است توزیع مکانی مقادیر لحاظ شود و تصمیم‌گیری گروهی-فازی در تعیین وزن شاخص‌های ارزیابی به کار برده شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت به هم پیوسته منابع آب، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری، شاخص توده‌ای و مکانی

مقدمه

زیست‌محیطی و اقتصادی را در کنار ارزیابی منابع آب به عنوان بخش مهمی از ارزیابی چند معیاره به خود اختصاص می‌دهد. ارزیابی چند معیاره (MCDM^۱) در زمینه‌های محیط‌زیست، مدیریت، منابع آب، مالی و تجاری، حمل و نقل، ساخت و مونتاژ، مدیریت کشاورزی و جنگل، مدیریت انرژی، برنامه‌ریزی استراتژیک، مدیریت و ارزیابی پروژه بکار برده می‌شود برای نمونه رجوع شود به Malczewski (2004); Hajkovicz and Collins (2007); Sánchez-Lozano and Fernández-Martínez (2016). همچنین تصمیم‌گیری چند معیاره در اولویت‌بندی طرح‌های حوضه آبریز Krishna در هند توسط Raju et al.,

آب یکی از عناصر اصلی توسعه پایدار است که اقتصاد، صنعت، اجتماع، محیط‌زیست و توسعه کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و به همین دلیل، مدیریت به هم پیوسته منابع آب ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. مدیریت یکپارچه منابع آب همواره بر چند اصل مهم تکیه داشته که مهم‌ترین آن‌ها تأکید بر حوضه آبی به عنوان محدوده بررسی‌ها و توجه به اصل ارزیابی پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی در کنار ارزیابی منابع آب بوده است. براین اساس، تحقق اصول مدیریت یکپارچه منابع آب مستلزم ارزیابی چندین معیار بوده و سه جنبه اجتماعی،

اثرات کلیه سناریوهای ممکن در استفاده از پساب بر منابع آب و خاک (Sohrabi et al., 2014)، ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی (Bakhtiari et al., 2016) و در ارزیابی و انتخاب مناسب ترین راهکار استفاده از پساب (Rahimi et al., 2017)، از روش فوق استفاده شده است.

در ادامه تحقیقاتی منسجم به منظور توسعه چارچوب و ابزار عمومی برای تحلیل چندمعیاره سناریوها و گزینه های منابع آب به نحوی که هم سناریوها و هم گزینه ها به صورت منطقه ای و در سطح حوضه آبریز در نظر گرفته شوند و تحلیل پیامدها بر اساس تغییرات مکانی مقادیر و ارزش گذاری معیارها و شاخص های گوناگون در سطح حوضه امکان پذیر شوند، انجام شده است. در این راستا می توان به ارزیابی راهکارهای سازه ای و غیرسازه ای در کاهش اثرات و تعدیل خسارت تغییرات اقلیمی بر رواناب ورودی (Hafezparast, 2013) اولویت بندی حوضه زاینده رود به لحاظ آسیب پذیری از خشک سالی (Babaei et al., 2012)، مدیریت بهینه رواناب شهری (Radmehr and Araghinejad, 2014)، تصمیم گیری چندهدفه برای بررسی سه هدف مختلف شامل: تعادل عرضه و تقاضا، تعدیل خشک سالی و کارایی اقتصادی طرح های توسعه منابع آب در حوضه گرگانرود اشاره کرد (Rousta and Araghinejad, 2015). همچنین یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری چندمعیاره مکانی برای ارزیابی پیامدهای توسعه منابع آب توسعه داده شده است که در آن از شاخص های نقطه ای برای بررسی پیامدها استفاده شده است.

در اکثر تحقیقات انجام شده بالا، علیرغم استفاده از رویکرد چندمعیاره، مقادیر سناریوها از دید شاخص ها به صورت یک مقدار متوسط در کل حوضه (توده ای یا به عبارت بهتر غیر توزیعی) در نظر گرفته شده اند و وزن شاخص ها به صورت یک عدد قطعی در فرآیند ارزیابی اعمال شده اند و منجر به عدم قطعیت در نتایج ارزیابی ها شده است. نظر به تأثیر توزیع مکانی شاخص ها در رتبه بندی سناریوهای مدیریت منابع آب و کارایی مناسب تر روش برنامه ریزی سازشی در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب (Prodanovic and Simonovic, 2002)، در مقاله حاضر، سناریوهای تخصیص منابع آب با شاخص های توده ای و توزیعی^۲ و با به کارگیری روش برنامه ریزی سازشی رتبه بندی شده است و حساسیت روش فوق نسبت به تغییر وزن شاخص ها انجام شده است. در ادامه روش کار، اطلاعات مورد استفاده و نتایج مربوط به این مطالعه ارائه گردیده است.

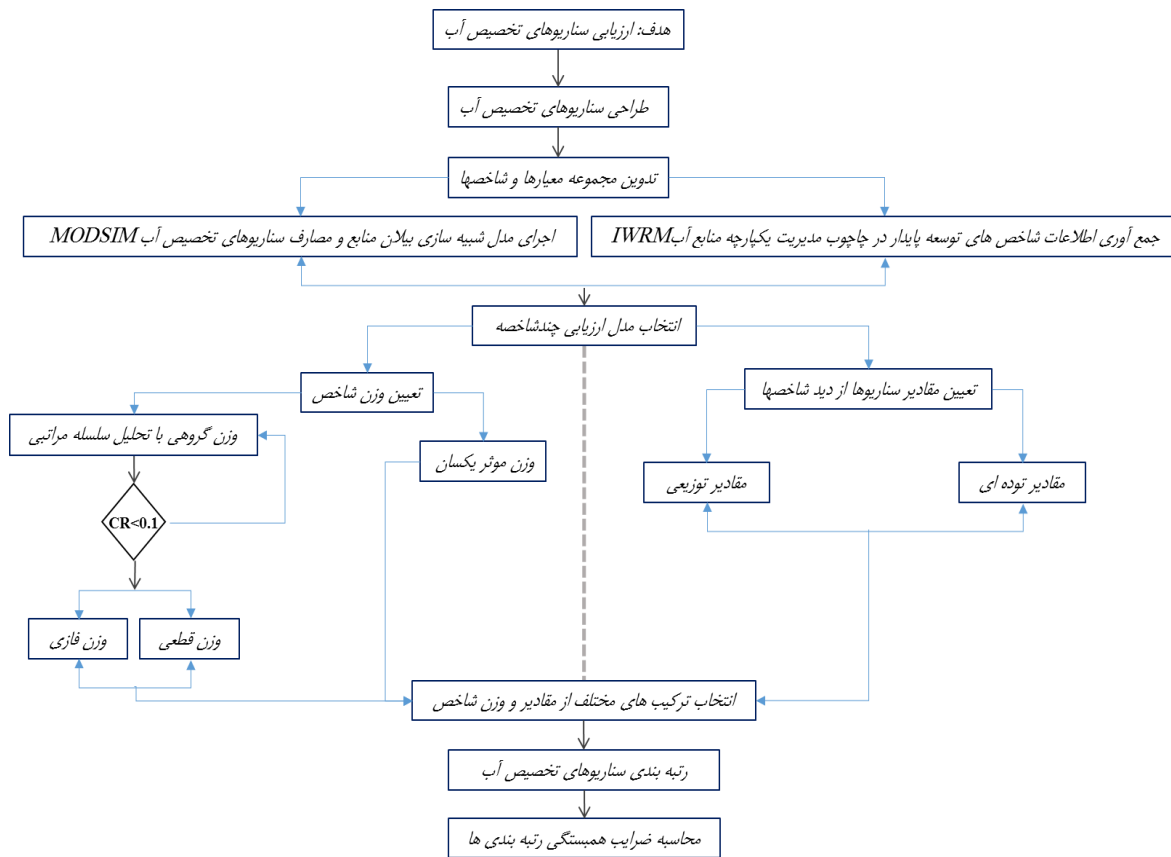
مواد و روش ها

(2000، شیوه های توسعه پایدار منابع آب توسط Connell et al., 2000) اولویت بندی پروژه ها توسط Prodanovic and Simonovic, 2002) ارزیابی طرح های مدیریت منابع آب در بخشی از حوضه Paraguacu در کشور برزیل (Srdjevic and Medeiros, 2008)، رتبه بندی پروژه های منابع آب در اسپانیا (Srdjevic et al., 2004)، تصمیم گیری طرح های آبی در شمال چین (Cai et al., 2004)، مدیریت منابع آب (Abrishamchi et al., 2005) اولویت بندی حوضه های ملانا (Yacob and Shamsudin, 2007)، رتبه بندی طرح های تأمین آب شهری (Mianabadi and Afshar, 2008) طرح های انتقال آب (Toosi and Samani, 2010)، تخصیص منابع آب برای آبیاری (Yilmaz and Harmancioglu, 2010)، برنامه ریزی منابع آب رودخانه ملاوا (Opricovic, 2011)، ارزیابی سناریوهای مدیریتی منابع آب بر اساس معیارهای اقتصادی، اجتماعی، اکولوژیکی، زیست محیطی، سیاسی و حقوقی در سد مخزنی کارون (Afshar et al., 2011)، تخصیص بهینه منابع آب سطحی حوضه دریاچه ارومیه به استان های ذینفع (Saffari and Zarghami, 2013)، ارزیابی اثرات شهرسازی و تغییر اقلیم بر برنامه ریزی و مدیریت حوضه آبریز (Yang et al., 2012) و همچنین ارزیابی معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در مدیریت حوضه دریاچه پوپو بولیوی توسط Calizaya et al. (2010) بکار گرفته شد.

با فراگیر شدن کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی، محققان این سیستم را به منظور لحاظ توزیع مکانی معیارها با تصمیم گیری چندمعیاره تلفیق نمودند. در این زمینه، تغییرات مکانی معیارها با تلفیق تصمیم گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی (SMCDM¹) برای ارزیابی گزینه ها بکار برده شد (Simonovic, 2002). به طور مثال در زمینه شیلات، مدل پشتیبان تصمیم گیری مکانی برای ارزیابی توسعه داده شد (Carrick and Ostendorf, 2007). پس از آن این روش کاربرد فراوانی برای حل مسائل منابع آب و محیط زیست داشته است. برای مکان یابی احداث سدهای زیرزمینی در پاکستان (Jamali et al., 2008)، در ارزیابی اراضی مختلف برای کشت آب (Chen et al., 2010)، در ارزیابی پتانسیل نشت نیتروژن در سطح حوضه (Zhang and Huang, 2011)، برای شناسایی مکان مناسب کشت گیاهان دریایی (de Sousa et al., 2012)، رتبه بندی حوضه به لحاظ ذخیره آب زیرزمینی (Adiat et al., 2012)، برای ارزیابی شاخص تأمین آب پایدار (به منظور مقایسه آب در دسترس و مقدار تقاضای آب) (Coulibaly et al., 2013)، و برای ارزیابی

و وزن گروهی/فازی در ارزیابی سناریوها لحاظ می‌کند که این بخش در قسمت چپ خطچین قائم نشان داده شده است. ترکیب‌های مختلف از مقادیر و وزن شاخص‌ها انتخاب و فرآیند ارزیابی برای آن انجام شده است و عدم قطعیت رتبه‌بندی‌ها براساس ضریب همبستگی بین نتایج رتبه‌بندی بررسی شده است. مدل مفهومی تحقیق حاضر در ذیل آورده شده است (شکل ۱).

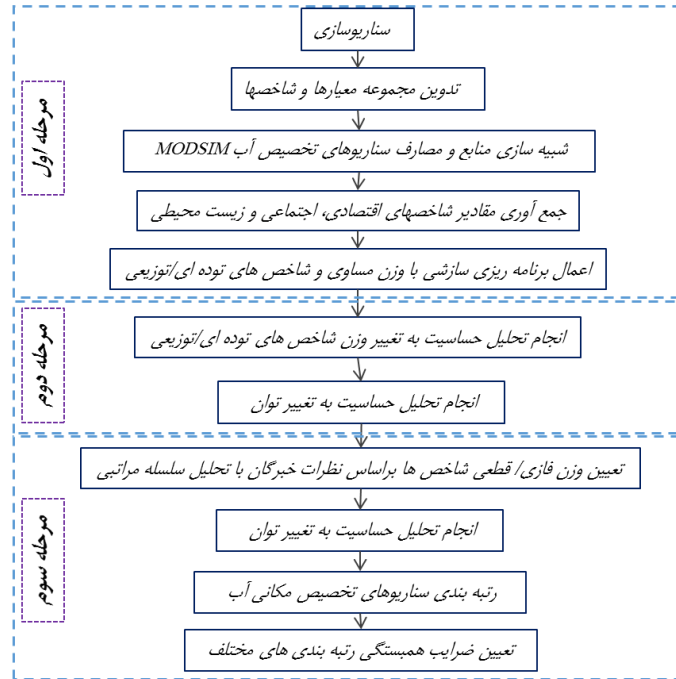
در تحقیق حاضر، مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره با استفاده از روش برنامه‌ریزی سازشی مبتنی بر خروجی مدل شبیه‌سازی بیلان منابع و مصارف آب توسعه داده شده است (شکل ۱). در این مدل، بررسی تأثیر نوع شاخص بر فرآیند ارزیابی مدنظر قرار گرفته و در شکل (۱) در قسمت راست خطچین نشان داده شده است. این مدل همچنین اثر وزن شاخص‌ها را به دو صورت وزن مؤثر یکسان



شکل ۱. مدل مفهومی ارزیابی سناریوهای تخصیص آب

(غیر توزیعی) و توزیعی استخراج شده است. در این گام، با استفاده از متدولوژی تحقیقات پیشین، ابتدا وزن مؤثر یکسان برای شاخص‌ها انتخاب شد تا بررسی سهم مقادیر سناریوها از دیدگاه شاخص‌ها تسهیل شود (Wolfslehner et al., 2005). در گام دوم، حساسیت روش برنامه‌ریزی سازشی به‌طور نمونه به تغییر وزن یکی از شاخص‌ها (به‌صورت توده‌ای و توزیعی) با حفظ وزن مشابه برای چهارده شاخص دیگر با استفاده از متدولوژی تحقیقات پیشین تحلیل شد (Li et al., 2013). در گام سوم، تصمیم‌گیری گروهی به منظور کاهش عدم قطعیت‌ها در تعیین وزن شاخص‌ها با استفاده از پرسش‌نامه و مقایسه‌های زوجی اعمال شد (شکل ۲).

در این تحقیق، روش برنامه‌ریزی سازشی با لحاظ شاخص‌های توده‌ای و توزیعی مکانی در نظر گرفته شده است. نظر به اینکه بررسی توأم تأثیر عدم قطعیت‌های مرتبط با وزن شاخص‌ها و توده‌ای یا توزیعی بودن شاخص‌ها بر امتیاز و رتبه سناریوهای تخصیص آب با سهولت همراه نمی‌باشد لذا بررسی‌ها در سه گام به شرح شکل (۲) انجام شد. در گام اول، برای منابع و مصارف حوضه ارس براساس حالات محتمل پنج سناریو طراحی شده است. شبیه‌سازی بیلان منابع و مصارف برای هر پنج سناریو از طریق مدل شبیه‌ساز انجام شده است و با تعیین شاخص‌های ارزیابی، مقادیر سناریوها از دید شاخص‌ها به دو صورت توده‌ای



شکل ۲. مراحل سه گانه انجام تحقیق حاضر

$$F_i = \left(\sum_{j=1}^n \overline{a_{ij}}^p \cdot w_j^p \right)^{1/p} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

در روابط بالا، $\overline{a_{ij}}$ و $\overline{a_{ijk}}$ به ترتیب مقادیر توده ای و مکانی سناریوی i ام از دید معیار j ام به صورت نرمال شده و w_j وزن معیار j ام می باشد. p پارامتری است که حساسیت تصمیم گیر به فاصله از نقطه نامطلوب را بر حسب شاخص های مختلف بیان می کند (Zarghami and Szidarovszky, 2010). در مقاله حاضر، مقدار p معادل ۰/۵ انتخاب شد. همچنین m_j و M_j به ترتیب بیانگر کمترین و بیشترین مقادیر گزینه ها یا سناریوها می باشند. توزیع مکانی مقادیر شاخص ها نیز با استفاده از روابط (۱) تا (۳) لحاظ شد. در مقاله حاضر i از ۱ تا ۵ و مقدار $n = 5$ و مقدار K از ۱ تا ۱۳ لحاظ شد. برای تعیین وزن شاخص ها نظر خبرگان در قالب عدد فازی مثلثی اخذ شد. تابع عضویت عدد فازی در شکل (۳) ارائه شده است.

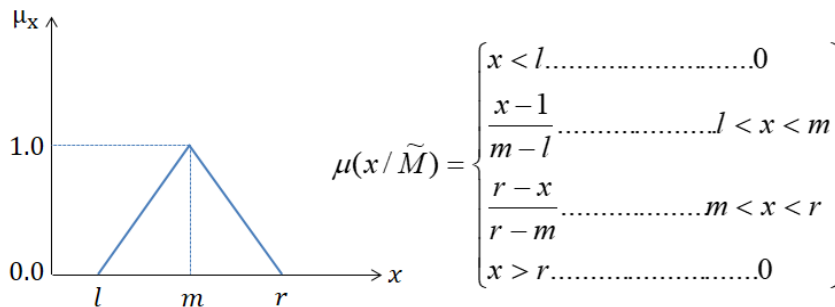
نتایج رتبه بندی ها با وزن های گروهی-فازی و شاخص های توده ای و توزیعی با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن مقایسه شده است. الگوریتم و مبانی انجام تحقیق حاضر به شرح زیر می باشد:

الف) روش برنامه ریزی سازشی CP

اولین بار روش برنامه ریزی سازشی توسط زلنی (۱۹۷۳) ارائه شد که روشی ساده و پرکاربرد می باشد. این روش در انتخاب گزینه برتر، وزن شاخص ها و فاصله از آرمان لحاظ می شود. نرمال سازی داده ها و امتیاز هر سناریو نیز از روابط زیر محاسبه می شوند (Zeleny, 1973):

$$\overline{a_{ij}} = \frac{a_{ij} - m_j}{M_j - m_j} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

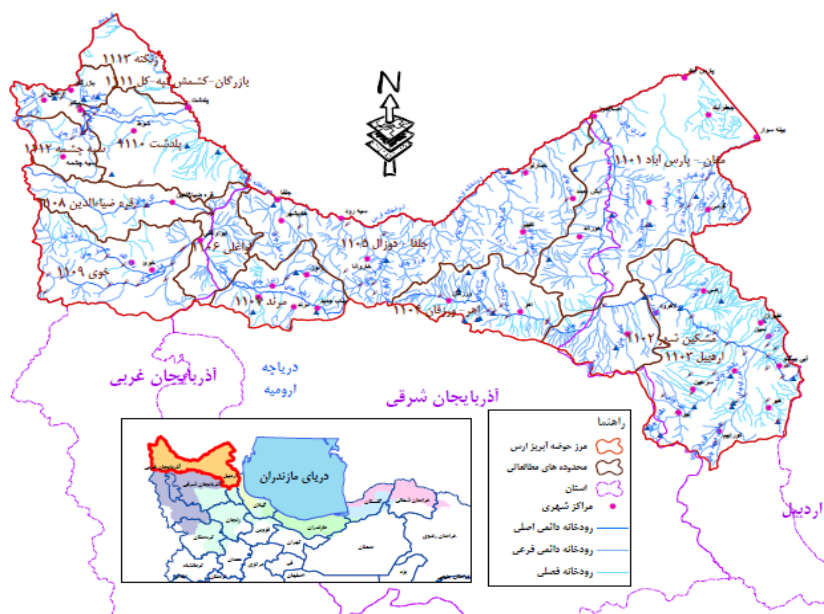
$$\overline{a_{ijk}} = \frac{a_{ijk} - m_j}{M_j - m_j} \quad \text{(رابطه ۲)}$$



شکل ۳. تابع عضویت عدد فازی مثلثی

ج- معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، حوضه ارس در شمال غربی ایران می‌باشد. مساحت این حوضه برابر ۳۹۵۳۴ کیلومترمربع بوده و از شمال به رودخانه مرزی ارس در مرز ایران با آذربایجان و ارمنستان، از غرب به ترکیه، از جنوب به حوضه آبریز دریاچه ارومیه و سفیدرود و از شرق به استان گیلان منتهی می‌شود. جمعیت این حوضه رشد مثبت داشته و نیازمند تأمین آب بیشتر در بخش‌های مختلف مصرف می‌باشند. برای تأمین نیازهای فوق، طرح‌های توسعه منابع آب متنوعی اجرا شده و برخی نیز در حال ساخت و مطالعه می‌باشد. سناریوهای مختلف تخصیص آب با توجه به ضرورت مهار آب در این حوضه مرزی و بهره‌برداری بهینه از منابع خاک غنی به منظور تأمین شغل، افزایش درآمد و تثبیت جمعیت مرزنشین و مشارکت عشایر مطرح است. موقعیت حوضه ارس در شکل (۴) ارائه شده است.



شکل ۴. موقعیت حوضه آبریز ارس

برای تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی از روش CFCZ استفاده شد (Opricovic and Tzeng, 2003).

ب) ضریب همبستگی اسپیرمن^۱
ضریب همبستگی اسپیرمن برای نشان دادن رابطه‌ی میان دو متغیر ترتیبی به شرح ذیل است (Dodge, 2008):

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D^2}{n(n^2 - 1)} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن، D تفاوت بین رتبه‌های اعضای متناظر دو روش تصمیم‌گیری چند شاخصه و n تعداد سناریوها است. برای محاسبه ضریب همبستگی اسپیرمن از نرم‌افزار آماری R استفاده شد (Team, 2013).

د- معیارها و شاخص‌های مکانی^۲ (C&SI)

محدوده مورد مطالعه به لحاظ پیکربندی منابع و مصارف از ۱۳ ناحیه با کدهای مطالعاتی ۱۱۰۱ تا ۱۱۱۳ تشکیل شده است (شکل ۴). چهار معیار اصلی و پانزده شاخص به همراه پنج سناریو از مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور که توسط شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس انجام شده (Mahabghoods, 2009)، استخراج شد. مشخصات مجموعه معیارها و شاخص‌ها (C&I) در جدول (۱) ارائه شده است.

معیار حسابداری منابع آب (WR): در این معیار، منابع و مصارف آب، میزان تأمین نیازها و همچنین میزان وابستگی به آب

سطحی در نظر گرفته شده است. پس از اجرای مدل MODSIM (Labadie, 2006)، خروجی‌های آن برای سه شاخص مکانی: آب خروجی از کشور (WR₁)، تنش نسبی آب (WR₂) و وابستگی به آب سطحی (WR₃) مورد استفاده قرار گرفتند. آب خروجی از کشور دارای یک مقدار برای کل حوضه می‌باشد. شاخص تنش نسبی آب و وابستگی به آب سطحی در سیزده محدوده مطالعاتی، دارای توزیع مکانی می‌باشد. در مقاله حاضر، شاخص اول و سوم از گزارش تلفیق بهنگام سازی آب کشور و شاخص دوم تنش نسبی آب از دانشگاه نیوهامشایر (UNH) مورد استفاده قرار گرفت.

2. Criteria & Spatial Indicator (C&SI)

1. Spearman's Rank Correlation Coefficient

جدول ۱. مشخصات مجموعه معیارها و شاخص های مکانی

| Criteria | Indicator | Name | Definition Area | Measure | Reference |
|----------------------|----------------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------------|
| Environmental (EV) | Quality of water | EV ₁ | Thirteen Regions | Cardinal | IME ¹ |
| | Development Limitation | EV ₂ | Thirteen Regions | Cardinal | IME |
| | Ecosystem | EV ₃ | Thirteen Regions | Cardinal | UNEP, UN ² |
| | Non consumption demand | EV ₄ | Thirteen Regions | m ³ | IME |
| Social (SC) | Nomadic People Cooperation | SC ₁ | Three Province | Person(p) | IME |
| | Water per capita | SC ₂ | Thirteen Regions | m ³ /p | Falken Mark |
| | Unemployment | SC ₃ | Thirteen Regions | % | IME |
| | Population | SC ₄ | Three Province | Person(p) | IME |
| Economical (EC) | Invested | EC ₁ | Thirteen Regions | #Rial | IME |
| | Economic efficiency | EC ₂ | Three Province | #Rial/m ³ | FAO ³ |
| | Agricultural land | EC ₃ | Three Province | ha | FAO ⁴ |
| | Agricultural Productivity | EC ₄ | Thirteen Regions | Kg/ha | IME |
| Water Resources (WR) | Outfolwing SW | WR ₁ | Basin | m ³ | IME |
| | Water stress ratio | WR ₂ | Thirteen Regions | % | UNH |
| | Dependency upon SW | WR ₃ | Thirteen Regions | % | IME |

دارند. در این مطالعه، شاخص سوم از حفاظت محیط زیست سازمان ملل و سه شاخص دیگر از گزارش تلفیق مطالعات بهنگام سازی وزارت نیرو (Mahabghoods, 2009) استفاده شد.

معیار اقتصادی (EC^۷): این معیار به منظور لحاظ سرمایه گذاری های انجام شده و تشویق برای افزایش بهره وری اقتصادی و ارتقای راندمان مصرف آب و همچنین بهره برداری از اراضی دیم که پتانسیل افزایش تولید قابل ملاحظه ای دارند و همچنین اراضی با سطوح بیشتر، یکپارچه و با کیفیت تر مدنظر قرار گرفت. این معیار شامل ۴ شاخص: سرمایه گذاری موجود (EC₁)، بهره وری اقتصادی (EC₂)، اراضی حاصلخیز (EC₃) و استعداد افزایش تولید (EC₄) می باشد. دو شاخص دوم و سوم از سازمان خواربار جهانی و شاخص اول و چهارم از مطالعات بهنگام-سازی وزارت نیرو (Mahabghoods, 2009) استفاده شد.

ه- سناریوهای تخصیص منابع آب (Se^۸)

به منظور تعیین تخصیص منابع آب، پیشامدهای محتمل در شرایط آتی به شرح ذیل سناریوسازی شد:

سناریوی اول (Se₁) برای ایجاد مبنای مشترک مقایسه ای برای سناریوهای محتمل در شرایط آتی و همچنین استفاده از اطلاعات موجود حوضه تعریف شد. جمعیت در این سناریو براساس آخرین سرشماری و منابع و مصارف آب حوضه شامل اطلاعات نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی وضع موجود و نیاز زیست محیطی با روش مونتانا لحاظ شد.

معیار اجتماعی (SC^۵):

جامعه عشایری با فرهنگ و سنن خاص خود از خصوصیات بارز اجتماعی حوضه ارس می باشد. با توجه به اهمیت تاریخی حضور جمعیت عشایری در مرزهای شمال غربی کشور، معیار اجتماعی در حوضه ارس شامل چهار شاخص مکانی: مشارکت عشایر (SC₁)، سرانه منابع آب (SC₂)، اشتغال (SC₃) و جمعیت (SC₄) در نظر گرفته شده است. مشارکت عشایر و جمعیت مرزی در سه استان واقع در حوضه دارای توزیع مکانی هستند و سرانه منابع آب و اشتغال در ۱۳ محدوده مطالعاتی از توزیع مکانی برخوردار می باشند. در این راستا، شاخص دوم، شاخص فالکن مارک و سه شاخص دیگر از مطالعات بهنگام سازی وزارت نیرو (Mahabghoods, 2009) استخراج شد.

معیار زیست محیطی (EV^۶):

این معیار با توجه به وجود اکوسیستم های مهم وابسته به آب و همچنین پایداری جریان آب ارس در طول مرز شمال غربی کشور و تا محل اتصال به رودخانه کورا و همچنین استفاده از حقایب مرزی و محدودیت های توسعه ای در نظر گرفته شده است. رودخانه های قره سو، زوزچای، قطورچای و زنگمارچای و همچنین حفظ تالاب های مهم و اثر طبیعی ملی سبلان و جنگل های ارسباران از عناصر کلیدی محسوب می شود. معیار زیست محیطی شامل چهار شاخص کیفیت آب (EV₁)، محدودیت توسعه (EV₂)، اکوسیستم های وابسته به آب (EV₃) و حقایب های زیست محیطی (EV₄) به منظور پایداری جریان می باشد. هر چهار شاخص در ۱۳ محدوده مطالعاتی توزیع مکانی

5. Social Aspects

6. Environmental Aspects

7. Economical Aspects

8. Scenario

1. IME: Iranian Ministry of Energy UN: United Nations

2. UNEP: UN Environmental protection of the United Nations

3. UNH: The University of New Hampshire

4. FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

زیرزمینی از طریق کاهش آبیاری در محدوده‌هایی که بیلان آبی آن منفی می‌باشد، تعریف شده است. با استناد به نتایج طرح جامع آب، عمده کسری مخزن آبخوان در محدوده مطالعاتی ۱۱۰۳ به میزان متوسط سالانه ۲۷ میلیون مترمکعب، در ۱۱۰۷ به میزان ۱۹ میلیون مترمکعب و در ۱۱۰۹ به میزان ۶ میلیون مترمکعب می‌باشد.

محدودیت منابع آب ناشی از تغییرات اقلیمی و سازگاری با آن، سناریوی پنجم (Se5) مطرح شده است. در این سناریو وضعیت منابع و مصارف حوضه در افق طرح و در شرایط خشک‌سالی مورد ارزیابی قرار گرفته است. بیلان منابع و مصارف حوضه ارس برای سناریوهای تخصیص در جدول (۲) ارائه شده است.

در سناریوی دوم (Se2)، بررسی اثرات اجرای طرح‌های توسعه منابع آب عمدتاً شامل احداث شبکه‌های مدرن آبیاری و زهکشی و توزیع مکانی این اثرات مطرح شد.

در سناریوی سوم (Se3)، مدیریت تقاضا مدنظر قرار گرفت چراکه از یک سو بیشترین مصرف در بخش کشاورزی است و از سوی دیگر، راندمان مصرف تقریباً نزدیک به راندمان آبیاری سطحی می‌باشد. با توجه به ظرفیت‌هایی که برای ارتقای راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی از طریق اجرای آبیاری تحت فشار متصور می‌باشد، این سناریو مطرح شده است.

سناریوی چهارم (Se4) با توجه به منفی بودن بیلان آب زیرزمینی در آبخوان‌های حوضه، تعادل بخشی منابع آب

جدول ۲. نتایج مکانی مدل شبیه‌ساز منابع و مصارف (Mahabghoods, 2009)

| تأمین نیازها (%) | تأمین از آب سطحی و | | نیازهای مختلف آبی (میلیون مترمکعب) سناریوها | | تأمین نیازها (%) | |
|------------------|--------------------|----------|---|----------|------------------|-----|
| | زیرزمینی (%) | زیرزمینی | آب سطحی | غیرمصرفی | | |
| کمبود غیرمصرفی | کشاورزی | صنعت | شرب | کشاورزی | صنعت | شرب |
| ۵۲ | ۱۰۰% | ۶۹% | ۱۰۰% | ۹۵% | ۲۸% | ۷۲% |
| ۹۸ | ۶۹% | ۹۳% | ۹۱% | ۹۱% | ۱۶% | ۸۴% |
| ۹۹ | ۶۶% | ۹۵% | ۹۱% | ۹۵% | ۲۰% | ۸۰% |
| ۰ | ۶۵% | ۹۵% | ۹۱% | ۹۵% | ۱۹% | ۸۱% |
| ۰ | ۵۸% | ۸۷% | ۸۸% | ۸۷% | ۲۲% | ۷۸% |

در ماتریس توده‌ای برای هر شاخص در سطح حوضه یک مقدار متوسط وجود دارد. ماتریس تصمیم توده‌ای دارای ابعاد ۱۵*۵ می‌باشد (جدول ۳).

شاخص‌های مورد نظر در این تحقیق توزیع‌های مکانی متفاوتی در حوضه آبریز ارس دارند. ده شاخص در سیزده محدوده مطالعاتی و چهار شاخص در سه محدوده مطالعاتی دارای توزیع مکانی و یک شاخص فاقد توزیع مکانی می‌باشد. بر این اساس، ماتریس تصمیم توزیعی (مکانی) به ابعاد ۱۴۳*۵ می‌باشد. حرف B با اندیس‌های ۱ تا ۱۵ شماره‌دهنده شاخص‌ها و حرف K با اندیس‌های ۱ تا ۱۳ شماره‌دهنده مکانی شاخص‌ها را نشان می‌دهد. در جدول (۴) بخشی از این ماتریس تصمیم مکانی ارائه شده است.

نتایج و بحث

رتبه‌بندی سناریوها بدون استفاده از تصمیم‌گیری گروهی (با وزن مؤثر یکسان شاخص‌ها)

امتیاز و رتبه سناریوهای مدیریت منابع آب با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی و با وزن مؤثر یکسان محاسبه شد. نتایج این محاسبات در جدول (۵) ارائه شده است. با شاخص‌های توده‌ای، بیشترین

نیازهای شرب و صنعت و محیط‌زیست (غیرمصرفی) با ضریب اطمینان‌پذیری بالای ۹۰٪ تأمین می‌شود ولیکن تأمین نیازهای کشاورزی با کمبود مواجه می‌باشد. بیشترین تأمین مربوط به سناریوی وضع موجود و در سناریوهای بعدی با افزایش نیازها و بروز خشک‌سالی و اثرات تغییر اقلیم است. در این سناریوها، بیشترین کاهش‌ها باز هم در بخش کشاورزی رخ می‌دهد. نیازها در وضعیت‌های محتمل آبی در سناریوهای دوم تا پنجم افزایشی است به طوری که حداکثر نیازها در سناریوی دوم و پس از اعمال مدیریت مصرف در سناریوهای بعدی اندکی کاهش دارند. بیش از ۷۰ درصد نیازهای آبی از طریق آب سطحی و مابقی از آب زیرزمینی تأمین می‌شود. در سناریوی اول (وضعیت فعلی) و سناریوهای دوم و سوم، کسری آب زیرزمینی به میزان ۵۲ میلیون مترمکعب وجود دارد. در سناریوهای چهارم و پنجم با انجام اقدامات تعادل بخشی، این کسری مرتفع شده است.

شاخص‌ها به دو صورت توده‌ای و توزیعی در ذیل چهار معیار بیلان منابع و مصارف (حسابداری منابع آب)، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جمع‌آوری شده و به همراه سناریوهای تخصیص آب، ماتریس‌های توده‌ای و توزیعی را تشکیل داده‌اند.

و رتبه‌ها دچار تغییر می‌شود. سناریوی چهارم، با حداکثر امتیاز به مقدار ۰/۲۲۵۸ و حداقل امتیاز به مقدار ۰/۱۱۶۵ متعلق به سناریوی اول است. رتبه سناریوها نیز به ترتیب ۵-۳-۴-۱-۲ می‌باشد (جدول ۵).

امتیاز به سناریوی دوم به مقدار ۰/۲۲۵۴ و کمترین امتیاز به مقدار ۰/۱۲۵۵ به سناریوی اول، تعلق دارد. سایر سناریوها امتیازی بین این دو مقدار دارند. رتبه سناریوها نیز به ترتیب ۵-۳-۴-۱ به دست آمد. با اعمال توزیع مکانی شاخص‌ها، امتیازها

جدول ۳. ماتریس تصمیم با شاخص‌های توده‌ای

| Non Spatial Indicator (Lumped) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|--|
| سناریوها | EC ₁ | EC ₂ | EC ₃ | EC ₄ | EV ₁ | EV ₂ | EV ₃ | EV ₄ | SC ₁ | SC ₂ | SC ₃ | SC ₄ | WR ₁ | WR ₂ | WR ₃ | |
| | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 0.083 | 0.083 | 0.083 | |
| | B ₁ *10 ¹³ | B ₂ | B ₃ | B ₄ *10 ⁵ | B ₅ | B ₆ *10 ⁵ | B ₇ | B ₈ | B ₉ | B ₁₀ | B ₁₁ | B ₁₂ | B ₁₃ *10 ⁹ | B ₁₄ | B ₁₅ | |
| سناریوی ۱ (Se1) | ۷ | ۱۲۶۰ | ۰/۸۳ | ۳ | ۱۳۹۸ | ۶ | ۱۰۰۰ | ۹/۸ | ۷/۳۹ | ۵/۱۳ | ۲/۱۲ | ۱۰۲۹ | ۴ | ۱/۰۵ | ۰/۷۲ | |
| سناریوی ۲ (Se2) | ۸ | ۱۲۶۰ | ۰/۸۳ | ۵ | ۱۱۰۰ | ۸ | ۲۱۰۰۲ | ۶/۸۷ | ۷/۳۹ | ۵/۱۳ | ۲/۱۲ | ۲۶۸۷ | ۲ | ۱/۸ | ۰/۸۴ | |
| سناریوی ۳ (Se3) | ۸ | ۱۲۶۰ | ۰/۸۳ | ۵ | ۱۱۰۰ | ۸ | ۲۱۰۰۲ | ۶/۸۷ | ۷/۳۹ | ۵/۱۳ | ۲/۱۲ | ۲۷۲۶ | ۳ | ۱/۴۶ | ۰/۸ | |
| سناریوی ۴ (Se4) | ۸ | ۱۲۶۰ | ۰/۸۳ | ۵ | ۱۰۸۳ | ۸ | ۲۱۰۰۲ | ۶/۸۷ | ۷/۳۹ | ۵/۱۳ | ۲/۱۲ | ۲۷۲۶ | ۳ | ۱/۴۷ | ۰/۸۱ | |
| سناریوی ۵ (Se5) | ۸ | ۱۳۰۰ | ۰/۹۲ | ۵ | ۷۴۶ | ۸ | ۱۷۰۵۰ | ۸/۳۴ | ۴/۱۹ | ۲/۹۱ | ۲/۴۳ | ۲۵۷۹ | ۱ | ۱/۸۹ | ۰/۷۸ | |

جدول ۴. ماتریس تصمیم با شاخص‌های توزیعی

| سناریوها | EC ₁ | EC ₂ | EC ₃ | EC ₄ | EV ₁ | EV ₂ | EV ₃ | EV ₄ | SC ₁ | SC ₂ | SC ₃ | SC ₄ | WR ₁ | WR ₂ | WR ₃ |
|-----------|----------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| | K:1-13 | K:1-3 | K:1-3 | K:1-13 | K:1-13 | K:1-13 | K:1-13 | K:1-13 | K:1-3 | K:1-13 | K:1-13 | K:1-3 | K=1 | K:1-13 | K:1-13 |
| | B ₁ *10 ¹³ | B ₂ | B ₃ | B ₄ *10 ⁵ | B ₅ | B ₆ *10 ⁵ | B ₇ | B ₈ | B ₉ | B ₁₀ | B ₁₁ | B ₁₂ | B ₁₃ *10 ⁹ | B ₁₄ | B ₁₅ |
| سناریوی ۱ | ۵ | ۱۱۴۸ | ۱/۰۱ | ۱ | ۱۹۱۶ | ۲ | ۱۸۰ | ۱۰/۴ | ۷/۰۷ | ۴/۵ | ۳/۰۴ | ۷۷/۱۳ | ۴ | ۱/۵۹ | ۰/۷۴ |
| سناریوی ۲ | ۱ | ۱۱۴۸ | ۱/۰۱ | ۲ | ۱۶۱۶ | ۳ | ۷۲۵۶ | ۶/۲۱ | ۷/۰۷ | ۷/۰۷ | ۳/۰۴ | ۳۵۳/۱ | ۲ | ۲/۶۷ | ۰/۷۵ |
| سناریوی ۳ | ۱ | ۱۱۴۸ | ۱/۰۱ | ۲ | ۱۶۱۹ | ۳ | ۷۲۵۶ | ۶/۲۱ | ۷/۰۷ | ۷/۰۷ | ۳/۰۴ | ۳۵۹/۳ | ۳ | ۲/۱۶ | ۰/۷۵ |
| سناریوی ۴ | ۱ | ۱۱۴۸ | ۱/۰۱ | ۲ | ۱۶۰۵ | ۳ | ۷۲۵۶ | ۶/۲۱ | ۷/۰۷ | ۷/۰۷ | ۳/۰۴ | ۳۵۹/۱ | ۳ | ۲/۱۶ | ۰/۷۶ |
| سناریوی ۵ | ۱ | ۱۵۸۳ | ۱/۱۱ | ۲ | ۱۰۷۱ | ۳ | ۵۹۱۶ | ۷/۷۷ | ۴/۰۱ | ۴/۰۱ | ۳/۵ | ۳۳۳/۵ | ۱ | ۳/۹۷ | ۰/۷۲ |

جدول ۵. امتیاز سناریوها با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی

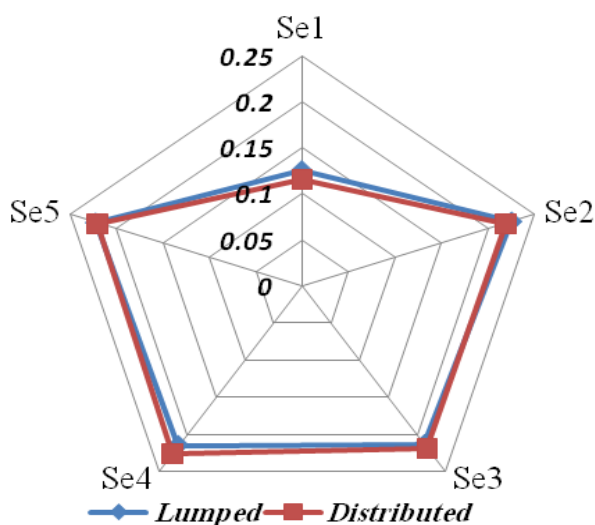
| MADMs | CP (غیر توزیعی) | SCP (توزیعی) |
|-----------|-----------------|--------------|
| سناریوها | امتیاز | رتبه |
| سناریوی ۱ | ۰/۱۲۵۵ | ۵ |
| سناریوی ۲ | <u>۰/۲۲۵۴</u> | <u>۱</u> |
| سناریوی ۳ | ۰/۲۱۳۲ | ۴ |
| سناریوی ۴ | ۰/۲۱۴۵ | ۳ |
| سناریوی ۵ | ۰/۲۲۳۱ | ۲ |

برای بررسی نحوه واکنش برنامه‌ریزی سازشی به تغییر وزن شاخص‌ها، امتیاز سناریوها به ازای مقادیر مختلف وزن شاخص‌ها به‌طور نمونه برای شاخص توده‌ای و توزیعی سیزدهم با حفظ وزن مؤثر یکسان برای چهارده شاخص دیگر محاسبه شد و در نمودار شکل (۶) ارائه شده است. در هر دو نوع شاخص، امتیاز چهار سناریو با افزایش وزن شاخص سیزدهم، کاهش و امتیاز یک سناریو افزایش می‌یابد. تفاوت امتیازی سناریوهای سوم و چهارم با شاخص‌های توزیعی بیشتر از شاخص توده‌ای است. با افزایش وزن

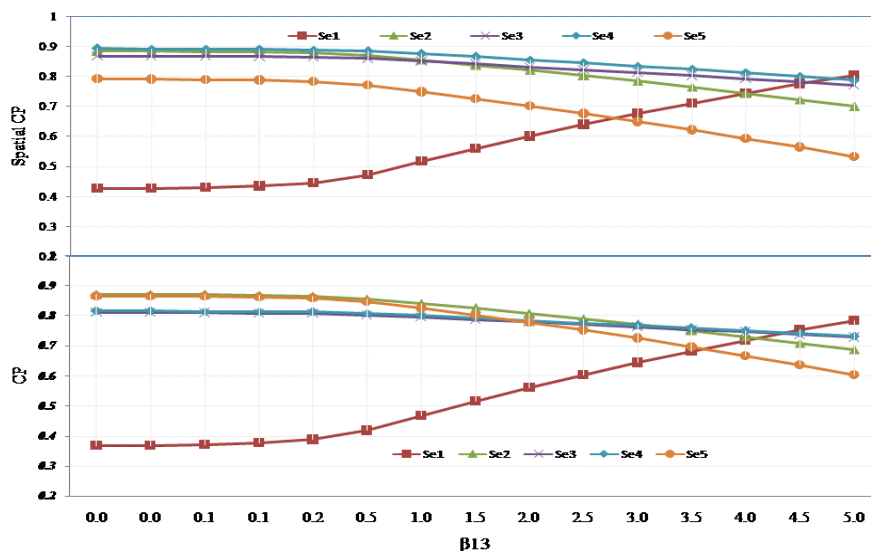
نمودار مقایسه‌ای امتیاز سناریوها برای شاخص‌های توده‌ای و توزیعی در شکل (۵) ارائه شده است. ضریب همبستگی رتبه-بندی با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی معادل ۰/۶ به دست آمد. این مقدار همبستگی، نشان داد که اعمال توزیع مکانی شاخص‌ها هم بر امتیاز و هم بر رتبه‌بندی سناریوها تأثیرگذار است و ساده-سازی و استفاده از مقادیر متوسط در حوضه به جای توزیع مکانی مقادیر، عدم قطعیت قابل ملاحظه‌ای بر امتیاز و رتبه سناریوها

توده‌ای (CP) در افزایش وزن حدود ۵/۳ و این رقم برای شاخص توزیعی (Spatial CP) بین ۲/۵ و ۳ می‌باشد (شکل ۶).

شاخص توده‌ای، شروع تغییر رتبه سناریوها نسبت به شاخص توده‌ای سریع‌تر رخ می‌دهد. برای مثال تغییر رتبه سناریوی دوم در شاخص



شکل ۵. نتایج رتبه‌بندی سناریوها با شاخص‌های توده‌ای (Lumped) و توزیعی (Distributed)



شکل ۶. آنالیز حساسیت روش برنامه‌ریزی سازشی به شاخص توده‌ای و توزیعی سیزدهم

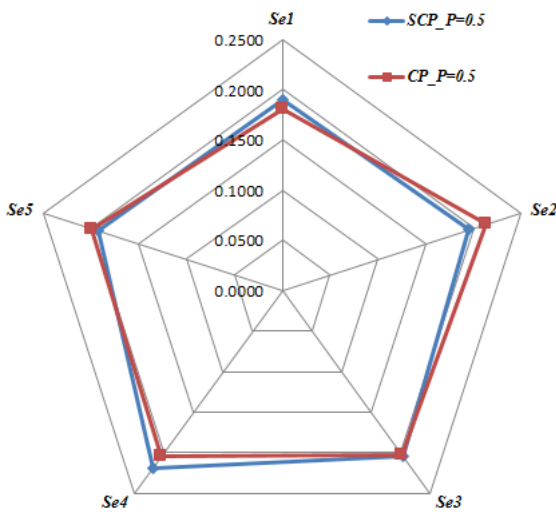
جدول ۶. امتیاز و رتبه سناریوها با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی و وزن قطعی

| سناریوها | امتیاز با وزن قطعی | | رتبه با وزن قطعی | |
|-----------|--------------------|--------|------------------|--------|
| | CP0.5 | SCP0.5 | CP0.5 | SCP0.5 |
| سناریوی ۱ | ۰/۱۸۰۶ | ۰/۱۸۹۵ | ۵ | ۵ |
| سناریوی ۲ | ۰/۲۱۳۸ | ۰/۱۹۵۳ | ۱ | ۳ |
| سناریوی ۳ | ۰/۲۰۲۱ | ۰/۲۰۴۶ | ۳ | ۲ |
| سناریوی ۴ | ۰/۲۰۴۶ | ۰/۲۱۸۳ | ۲ | ۱ |
| سناریوی ۵ | ۰/۱۹۸۹ | ۰/۱۹۲۳ | ۴ | ۴ |

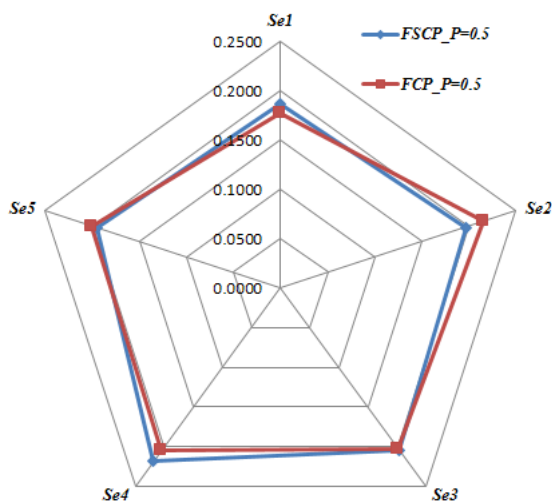
رتبه‌بندی سناریوها با استفاده از تصمیم‌گیری گروهی

در این بخش از تحقیق، وزن شاخص‌ها با به‌کارگیری تصمیم‌گیری گروهی و مقایسه‌های زوجی به دو صورت فازی و قطعی تعیین شدند. مقادیر نرخ سازگاری برای تمامی مقایسه‌ها کوچک‌تر از ۰/۱ به دست آمد و اعتبار نتایج مورد تأیید قرار گرفت. امتیاز سناریوها به تفکیک وزن و نوع شاخص محاسبه شدند. با وزن قطعی و شاخص از نوع توده‌ای، رتبه سناریوهای ۱ تا ۵، به ترتیب ۵-۳-۱-۲-۴ و با شاخص‌های مکانی (توزیعی) به ترتیب ۴-۱-۲-۳-۵ حاصل شد (جدول ۶).

وزن مؤثر یکسان افزایش و ضریب همبستگی کاهش نشان داد.



شکل ۷. تأثیر شاخص توزیعی و وزن گروهی بر نتایج رتبه بندی سناریوها



شکل ۷. تأثیر شاخص توزیعی و وزن گروهی بر نتایج رتبه بندی سناریوها

علاوه بر نقش وزن و نوع شاخصها در امتیاز و رتبه سناریوها، اثر پارمتر توان از رابطه (۳) در امتیاز و رتبه سناریوها تحلیل شده است. برای بررسی نحوه واکنش امتیاز و رتبه سناریوها به تغییر توان P، امتیاز و رتبه سناریوها به ازای توانهای مختلف P برای هر دو نوع شاخص (توده‌ای و مکانی) محاسبه شده است. امتیاز سناریوها با افزایش توان P دچار تغییر می‌شود. در بعضی موارد این تغییر منجر به تغییر در رتبه بندی می‌شود و در برخی دیگر نیز تغییرات به اندازه‌ای نبوده است که بتواند رتبه بندی را تغییر دهد (شکل ۸). همچنین رتبه سناریوها به تفکیک دو نوع شاخص توده‌ای (CP) و مکانی (SCP) در شکل (۹) ارائه شده است. با توجه به این شکل، رتبه بندی در دو نوع شاخص به طور متفاوت با افزایش توان P تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

با وزن‌های فازی، مقادیر امتیاز سناریوها هم برای شاخص‌های توده‌ای و هم برای شاخص‌های مکانی تغییر می‌یابد. این تغییرات به اندازه‌ای نیست که بتواند رتبه بندی را نسبت به وزن قطعی متأثر نماید (جدول ۷). تغییر نوع شاخص بر رتبه بندی اثر مشهودتری نسبت به تغییر وزن از قطعی به فازی دارند در صورتی که با شاخص مشابه، دو وزن قطعی و فازی رتبه بندی مشابهی ایجاد می‌کنند.

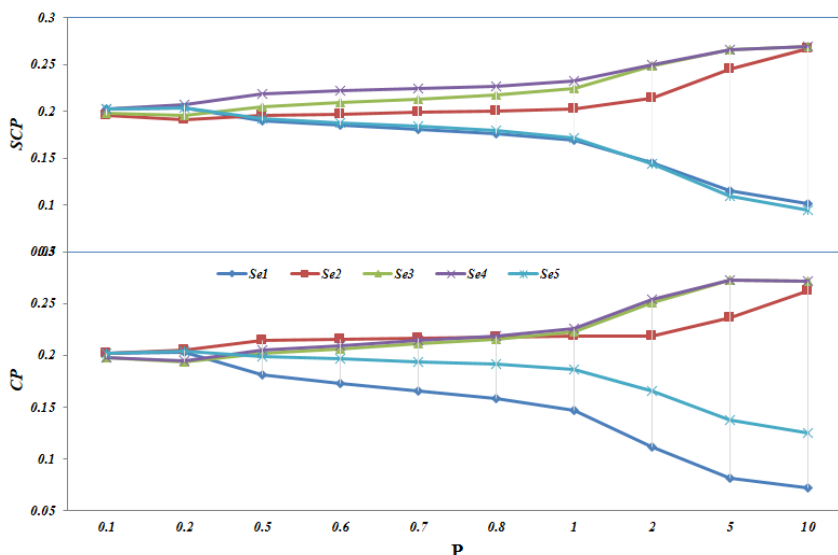
جدول ۷. امتیاز و رتبه سناریوها با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی و وزن فازی

| سناریوها | امتیاز با وزن فازی | | رتبه با وزن فازی | |
|-----------|--------------------|---------------|------------------|----------|
| | FCP0.5 | FSCP0.5 | FCP0.5 | FSCP0.5 |
| سناریوی ۱ | ۰/۱۷۶۸ | ۰/۱۸۵۸ | ۵ | ۵ |
| سناریوی ۲ | <u>۰/۲۱۵۳</u> | ۰/۱۹۶۴ | <u>۱</u> | ۳ |
| سناریوی ۳ | ۰/۲۰۲۰ | ۰/۲۰۴۵ | ۳ | ۲ |
| سناریوی ۴ | ۰/۲۰۴۶ | <u>۰/۲۱۵۸</u> | ۲ | <u>۱</u> |
| سناریوی ۵ | ۰/۲۰۱۳ | ۰/۱۹۴۹ | ۴ | ۴ |

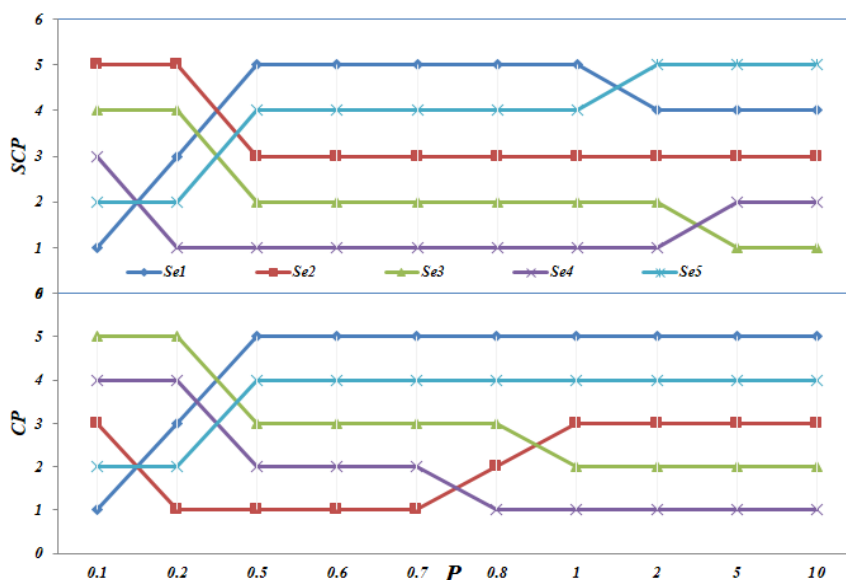
نمودار مقایسه‌ای تأثیر وزن قطعی و وزن فازی - گروهی شاخص‌ها برای دو نوع شاخص شامل شاخص توده‌ای به ترتیب SCP-CP و FSCP-FCP در شکل‌های (۷) و (۸) آورده شد. برای مقایسه نتایج رتبه بندی‌های مختلف ناشی از به کارگیری تصمیم‌گیری فردی و گروهی با دو نوع شاخص توده‌ای و مکانی و دو نوع وزن قطعی و فازی، ضرایب همبستگی مربوط به نتایج هر زوج روش محاسبه شد. بیشترین ضریب همبستگی برای برنامه ریزی سازشی با شاخص توده‌ای و وزن قطعی و فازی یعنی زوج روش FCP-CP و همچنین برای شاخص مکانی با وزن قطعی و فازی یعنی زوج روش FSCP-SCP و به میزان یک به دست آمد و نشان داد که بکار بردن وزن قطعی یا فازی با شاخص مشابه اعم از توده‌ای یا مکانی در برنامه ریزی سازشی منجر به رتبه بندی مشابه برای سناریوهای تخصیص آب می‌شود. در چهار زوج روش شامل: CP-SCP, CP-FSCP, FCP-SCP, FCP-FSCP: مشخصه مشترک آن‌ها، حضور توأم دو نوع شاخص توده‌ای و مکانی می‌باشد، اعمال هر دو نوع وزن (قطعی و فازی) منجر به تغییر رتبه بندی می‌شود و ضریب همبستگی نسبت به حالت قبل ۳۰٪ کاهش می‌یابد. عدم استفاده از تصمیم‌گیری گروهی و لحاظ وزن مؤثر یکسان، منجر به کاهش ۴۰ درصدی ضریب همبستگی شد. همچنین ضرایب همبستگی برای حالات به کارگیری و عدم به کارگیری تصمیم‌گیری گروهی محاسبه شد. کمترین ضریب همبستگی معادل ۰/۲ و بیشترین مقدار آن برابر ۰/۷ حاصل شد. با به کارگیری وزن فازی و شاخص توزیعی در تصمیم‌گیری گروهی میزان اختلاف رتبه بندی با تصمیم‌گیری گروهی نسبت به بکارگیری

توده‌ای دارد. متمایزتر بودن امتیاز سناریوها در مقدار P کمتر از یک، با نتایج به دست آمده از تحقیق صفاری و ضرغامی (۱۳۹۲) مطابقت دارد. در این تحقیق مقایسه‌ها و رتبه‌بندی‌ها با توان ۰/۵ برای P انجام شده است.

از مقدار ۰/۱ تا ۰/۵ برای رتبه‌بندی‌ها، هم در شاخص توده‌ای و هم در شاخص مکانی اتفاق مشابهی رخ می‌دهد. ولیکن برای مقادیر بالای P تغییرات در شاخص مکانی بیشتر از شاخص توده‌ای به وجود آمد و نشان داد که برنامه‌ریزی سازشی به شاخص‌های مکانی حساسیت بیشتری نسبت به شاخص‌های



شکل ۸. تغییرات امتیاز سناریوها با شاخص توده‌ای (CP) و شاخص مکانی (SCP) به ازای تغییر توان P



شکل ۹. حساسیت رتبه سناریوها به توان P با شاخص توده‌ای (CP) و شاخص مکانی (SCP)

نوع شاخص حساس بوده و واکنش متفاوتی نشان می‌دهد، به طوری که این روش به شاخص‌های توزیعی (مکانی) حساسیت بیشتری نسبت به شاخص‌های توده‌ای دارد. علاوه بر نوع شاخص، وزن شاخص‌ها نیز تأثیر قابل ملاحظه در فرآیند ارزیابی سناریوها داشت و نتایج متفاوتی برای سناریوها با وزن‌های قطعی و گروهی-

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، برنامه‌ریزی سازشی با شاخص‌های فازی-مکانی برای ارزیابی سناریوهای تخصیص منابع آب در حوضه ارس بکار برده شد. بررسی‌ها در سه گام انجام شد. نتایج نشان داد که لحاظ شاخص‌ها به صورت توزیعی، نتایج رتبه‌بندی متفاوت‌تری نسبت به شاخص‌های توده‌ای ارائه می‌کند. روش برنامه‌ریزی سازشی به

عدم قطعیت‌هایی وجود دارد که منابع آن ناشی از ۱- نحوه تعیین وزن شاخص‌ها، ۲- فازی یا قطعی بودن وزن شاخص‌ها ۳- استفاده از توزیع مکانی مقادیر یا مقدار متوسط شاخص‌ها (توده‌ای یا توزیعی بودن شاخص‌ها) و ۴- پارامتر توان در برنامه‌ریزی سازشی می‌باشد. در این میان عدم قطعیت ناشی از نوع شاخص قابل ملاحظه می‌باشد و استفاده از مقادیر متوسط به جای توزیع مکانی مقادیر شاخص‌ها عدم قطعیت قابل توجهی بر امتیاز و رتبه سناریوهای تخصیص آب برجای می‌گذارد. لذا ضروری است توزیع مکانی مقادیر لحاظ و در تعیین وزن شاخص‌های ارزیابی، تصمیم‌گیری گروهی-فازی بکاربرده شود.

سپاسگزاری

این تحقیق بخشی از یک رساله دکتری مهندسی عمران در گرایش مهندسی آب می‌باشد که انجام آن و تهیه مقالات مربوطه با حمایت دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه تهران ممکن شد که بدین‌وسیله از آنها تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

REFERENCES

- Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., Tajrishi, M. and Mariño, M. A. (2005). Case study: application of multicriteria decision making to urban water supply. *Journal of water resources planning and management*, 131(4), 326-335.
- Adiat, K. A. N., Nawawi, M. N. M. and Abdullah, K. (2012). Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool—a case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of Hydrology*, 440, 75-89.
- Afshar, A., Mariño, M. A., Saadatpour, M. and Afshar, A. (2011). Fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis applied to Karun reservoirs system. *Water resources management*, 25(2), 545-563.
- Babaei, H., Hoorfar, A. and Araghinejad, SH. (2012). Provision of a Novel and Integrated Model to Assess Regional Drought Risk. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 43(1), 123-128. (In Farsi)
- Bakhtiari, E.B., Malekian, A. and Salajeghe, A. (2016). Assessment of groundwater vulnerability using Modified DRASTIC, Logistic Regression and AHP-DRASTIC (Hashtgerd plain). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(1), 269-279. (In Farsi)
- Cai, X., Lasdon, L. and Michelsen, A. M. (2004). Group decision making in water resources planning using multiple objective analysis. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(1), 4-14.
- Calizaya, A., Meixner, O., Bengtsson, L. and Berndtsson, R. (2010). Multi-criteria decision analysis (MCDA) for integrated water resources management (IWRM) in the Lake Poopo Basin, Bolivia. *Water Resources Management*, 24(10), 2267-2289.
- Carrick, N. A. and Ostendorf, B. (2007). Development of a spatial Decision Support System (DSS) for the Spencer Gulf penaeid prawn fishery, South Australia. *Environmental Modelling & Software*, 22(2), 137-148.
- Chen, Y., Khan, S. and Paydar, Z. (2010). To retire or expand? A fuzzy GIS-based spatial multi-criteria evaluation framework for irrigated agriculture. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 59(2), 174-188.
- Connell, E. O., Bathurst, J., Kilsby, C., Parkin, G., Quinn, P., Younger, P., ... and Riley, M. (2000). Integrating mesoscale catchments experiments with modeling: The potential for sustainable water resources management, Fifth IHP/IAHS George Kovacs Colloquium, HELP. International Hydrological Programme, UNESCO, Paris.
- Coulibaly, N., Coulibaly, L., Sengupta, S., Savanna, I. and Umesh, B. (2013). Use of Multi-criteria Evaluation and Geographic Information Systems for Water Resources Management: case of Bâoulé Basin (North-West of Côte d'Ivoire). *Indian Journal of Science and Technology*, 6(2), 4035-4040.
- de Sousa, F. E., Moura, E. A. and Marinho-Soriano, E. (2012). Use of geographic information systems (GIS) to identify adequate sites for cultivation of

فازی حاصل شد. محاسبه و مقایسه ضرایب همبستگی رتبه‌بندی-ها با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی و وزن‌های قطعی و فازی/گروهی نشان داد که بیشترین ضریب همبستگی برای برنامه‌ریزی سازشی متعلق به شاخص توده‌ای و وزن قطعی و فازی یعنی زوج روش FCP-CP و شاخص مکانی با وزن قطعی و فازی یعنی زوج روش FSCP-SCP به میزان یک می‌باشد. در چهار زوج روش شامل: CP-SCP, CP-FSCP, FCP-SCP, FCP-FSCP که مشخصه مشترک آن‌ها، حضور توأم دو نوع شاخص توده‌ای و توزیعی بود با هر دو نوع وزن (قطعی و فازی) رتبه‌بندی دچار تغییر شد و ضریب همبستگی نسبت به حالت قبل ۳۰٪ کاهش نشان داد. همچنین عدم استفاده از تصمیم‌گیری گروهی و لحاظ وزن مؤثر یکسان، منجر به کاهش ۴۰ درصدی ضریب همبستگی شد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که روش برنامه‌ریزی سازشی از قابلیت مناسبی در اعمال شاخص‌های توزیعی در ارزیابی سناریوهای تخصیص آب برخوردار می‌باشد که با نتایج تحقیقات قبلی نیز همخوانی دارد. همچنین در به‌کارگیری روش برنامه‌ریزی سازشی به منظور ارزیابی سناریوهای تخصیص آب،

- the seaweed *Gracilaria birdiae* in Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 22(4), 868-873.
- Dodge, Y. (2008). The concise encyclopedia of statistics. Springer Science & Business Media.
- Hafezparast, M. (2013). Development of Decision Support System for Integrated Water Resources Management at Basin Scale. Ph. D. dissertation, University of Tehran.
- Hajkowicz, S. and Collins, K. (2007). A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water resources management*, 21(9), 1553-1566.
- Jamali, I. A., Mörtberg, U., Olofsson, B. and Shafique, M. (2014). A spatial multi-criteria analysis approach for locating suitable sites for construction of subsurface dams in Northern Pakistan. *Water resources management*, 28(14), 5157-5174.
- Labadie, J. W. (2006). MODSIM: decision support system for integrated river basin management.
- Li, P., Qian, H., Wu, J. and Chen, J. (2013). Sensitivity analysis of TOPSIS method in water quality assessment: I. Sensitivity to the parameter weights. *Environmental monitoring and assessment*, 185(3), 2453-2461.
- Mahab Ghodss Consulting Engineering Co (2009), Comprehensive Study Of Khazar Water Shed, Report No 2385070.2050.23352: 1-123. (in Farsi)
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, 62(1), 3-65.
- Mianabadi, H. and Afshar, A. (2008). Multi attribute decision making to rank urban water supply schemes. *J. of Water and Wastewater*, 66, 34-45. (In Farsi)
- Opricovic, S. (2011). Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12983-12990.
- Opricovic, S. and Tzeng, G.H. (2003) (2011), "Defuzzification with a Multi-Criteria Decision Model Fuzzy VIKOR with an Application to Water Resources Planning", *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, Volume 3811, Issue 1005, 15, Pages 12983635-65212990.
- Prodanovic, P. and Simonovic, S. P. (2002). Comparison of fuzzy set ranking methods for implementation in water resources decision-making. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 29(5), 692-701.
- Radmehr, A. and Araghinejad, S. (2014). Developing strategies for urban flood management of Tehran city using SMCDM and ANN. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 28(6), 05014006.
- Rahimi, M., Ebrahimi, K. and Araghinejad, Sh., (2017), "Presenting and evaluating a proposed method in determining the most appropriate wastewater applications", *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(5), 963-974. (In Farsi)
- Raju, K. S., Duckstein, L. and Arondel, C. (2000). Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: a case study in Spain. *Water Resources Management*, 14(6), 435-456.
- Rousta, B. A. and Araghinejad, S. (2015). Development of a multi criteria decision making tool for a water resources decision support system. *Water Resources Management*, 29(15), 5713-5727.
- Sánchez-Lozano, J. M. and Fernández-Martínez, M. (2016). Near-Earth object hazardous impact: A Multi-Criteria Decision Making approach. *Scientific reports*, 6, 37055.
- Simonovic, S. P. (2002). A spatial fuzzy compromise programming for management of natural disasters. Institute for Catastrophic Loss Reduction.
- Sohrabi, M.T., Liaghat, A., Alizadeh, H. and Nazari, B., (2014), " Modeling and simulation of long-term effects of Tehran sewage application on the water and soil resources of Varamin plain using dynamic systems", *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45(3), 267-281. (In Farsi)
- Srdjevic, B. and Medeiros, Y. D. P. (2008). Fuzzy AHP assessment of water management plans. *Water Resources Management*, 22(7), 877-894.
- Srdjevic, B., Medeiros, Y. D. P. and Faria, A. S. (2004). An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios. *Water resources management*, 18(1), 35-54.
- Team, R. C. (2013). R: A language and environment for statistical computing.
- Toosi, S. R. and Samani, J. M. (2010). Ranking water transfer projects using fuzzy methods. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 163(4), 189.
- Wolfslehner, B., Vacik, H. and Lexer, M. J. (2005). Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management. *Forest ecology and management*, 207(1-2), 157-170.
- Yacob, A. A. and Shamsudin, S. (2007). Management of Melana watershed using multicriteria decision making approaches (Doctoral dissertation, Universiti Teknologi Malaysia).
- Yang, J. S., Chung, E. S., Kim, S. U. and Kim, T. W. (2012). Prioritization of water management under climate change and urbanization using multi-criteria decision making methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(3), 801-814.
- Yilmaz, B. and Harmancioglu, N. (2010). Multi-criteria decision making for water resource management: a case study of the Gediz River Basin, Turkey. *Water SA*, 36(5).
- Zarghami, M. and Szidarovszky, F. (2010). On the relation between compromise programming and ordered weighted averaging operator. *Information Sciences*, 180(11), 2239-2248.
- Zeleny, M. (1973). Compromise programming. Multiple criteria decision making.
- Zhang, H. and Huang, G. H. (2011). Assessment of non-point source pollution using a spatial multicriteria analysis approach. *Ecological Modelling*, 222(2), 313-321.