تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۵، مهر ۱۳۹۸ (ص ۱۲۷۸-۱۲۶۵) DOI: 10.22059/ijswr.2018.262071.667970

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

EBRAHIM MOKALLAF SARBAND[1], SHAHAB ARAGHINEJAD[2], JALAL ATTARI[3] 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

* Corresponding Author's Email: EbrahimiK@ut.ac.ir

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

ابراهیم مکلف سربند[۱]، 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

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 اجتناب ناپذیر 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، 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[1]) 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); Hajkowicz and Collins (2007); و Sánchez-Lozano and Fernández-Martínez (2016). همچنین تصمیم‌گیری چند معیاره در اولویت‌بندی طرح‌های حوضه آبریز Krishna در هند توسط (Raju *et al.*,

* نویسنده مسئول: EbrahimiK@ut.ac.ir

1 . Multi Criteria Decision Making

(2000، شیوه‌های توسعه پایدار منابع آب توسط Connell *et al.*, 2000)، اولویت‌بندی پروژه‌ها توسط (Prodanovic and Simonovic, 2002)، ارزیابی طرح‌های مدیریت منابع آب در بخشی از حوضه Paraguacu در کشور برزیل (Srdjevic and Medeiros, 2008)، رتبه‌بندی پروژه‌های منابع آب در اسپانیا (Srdjevic *et al.*, 2004)، تصمیم‌گیری طرح‌های آبی در شمال چین (Cai *et al.*, 2004)، مدیریت منابع آب (Abrishamchi *et al.*, 2005) اولویت‌بندی حوضه‌های ملانا (Yaccob and Shamsudin, 2007)، رتبه‌بندی طرح‌های تأمین آب شهری (Mianabadi and afshar, 2008) طرح‌های انتقال آب (Toosi and Samani, 2010)، تخصیص منابع آب برای آبیاری (Yilmaz and Harmancioglu, 2010)، برنامه‌ریزی منابع آب رودخانه ملاوا (Opricovic, 2011)، ارزیابی سناریوهای مدیریتی منابع آب براساس معیارهای اقتصادی، اجتماعی، اکولوژیکی، زیست‌محیطی، سیاسی و حقوقی در سد مخزنی کارون (Afshar *et al.*, 2011)، تخصیص بهینه منابع آب سطحی حوضه دریاچه ارومیه به استان‌های ذینفع (Saffari and Zarghami, 2013)، ارزیابی اثرات شهرسازی و تغییر اقلیم بر برنامه‌ریزی و مدیریت حوضه آبریز (Yang *et al.*, 2012) و همچنین ارزیابی معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی 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 تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی(SMCDM[1]) برای ارزیابی گزینه‌ها بکار برده شد (Simonovic, 2002). به‌طور مثال در زمینه شیلات، مدل پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی برای ارزیابی توسعه داده شد (Carrick and Ostendorf, 2007). پس از آن این روش کاربرد فراوانی برای حل مسائل منابع آب و محیط‌زیست داشته است. برای مکان‌یابی 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)، رتبه‌بندی 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 اثرات کلیه سناریوهای ممکن در استفاده از پساب بر منابع آب و خاک(Sohrabi *et al.*, 2014)، ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی (Bakhtiari *et al.*, 2016) و در ارزیابی و انتخاب مناسب‌ترین راهکار استفاده از پساب (Rahimi *et al.*, 2017)، از روش فوق استفاده شده است.

در ادامه تحقیقاتی منسجم به‌منظور توسعه چارچوب و ابزار عمومی برای تحلیل چندمعیاره سناریوها و گزینه‌های منابع آب به نحوی که هم سناریوها و هم گزینه‌ها به‌صورت منطقه‌ای و در سطح حوضه آبریز در نظر گرفته شوند و تحلیل پیامدها بر اساس تغییرات مکانی مقادیر و ارزش‌گذاری معیارها و شاخص‌های گوناگون در سطح حوضه امکان‌پذیر شوند، انجام شده است. در این راستا می‌توان به ارزیابی راهکارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای در کاهش اثرات و تعدیل خسارت تغییرات اقلیمی بر رواناب ورودی (Hafezparast, 2013) اولویت‌بندی حوضه زاینده‌رود به لحاظ آسیب‌پذیری از خشک‌سالی (Babaei *et al.*, 2012)، مدیریت بهینه رواناب شهری(Radmehr and Araghinejad, 2014)، تصمیم‌گیری چندهدفه برای بررسی سه هدف مختلف شامل: تعادل عرضه و تقاضا، تعدیل خشک‌سالی و کارایی اقتصادی طرح‌های توسعه منابع آب در حوضه گرگانرود اشاره کرد (Rousta and Araghinejad, 2015). همچنین یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی برای ارزیابی پیامدهای توسعه منابع آب توسعه داده شده است که در آن از شاخص‌های نقطه‌ای برای بررسی پیامدها استفاده شده است.

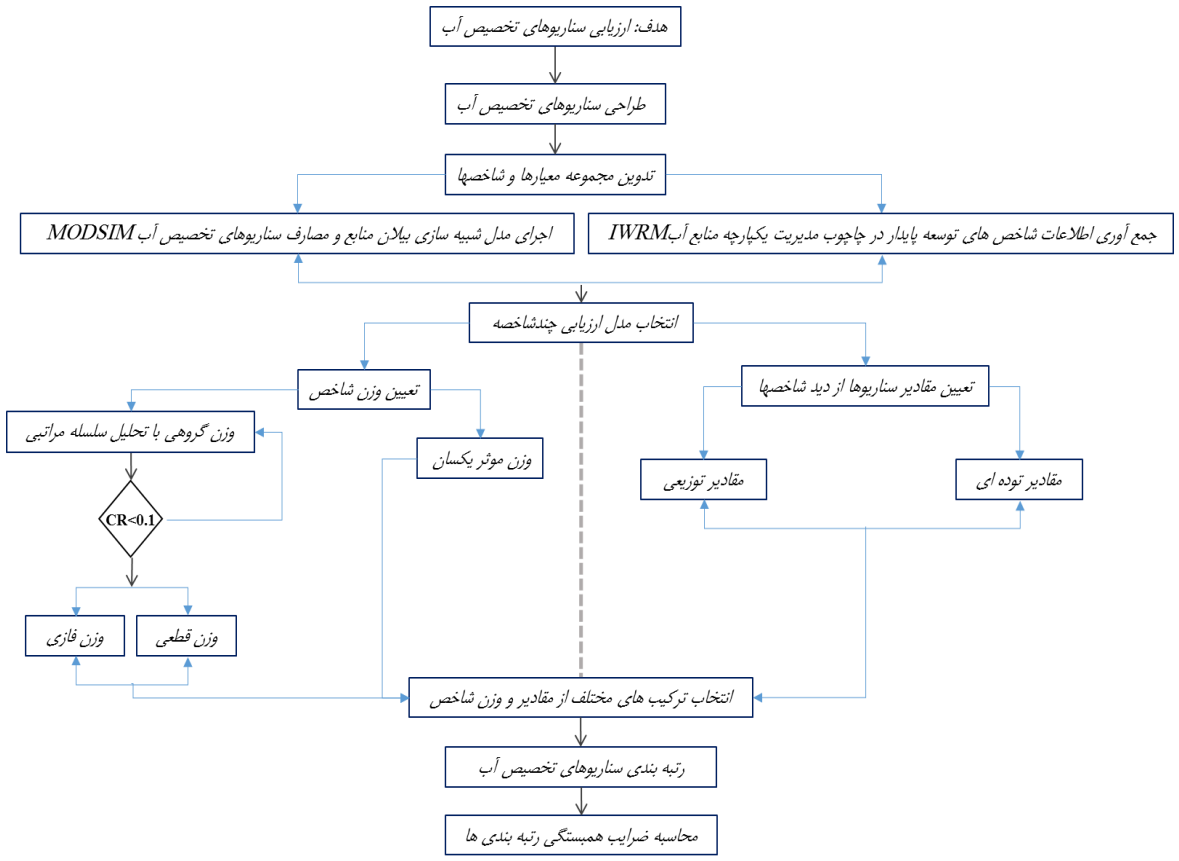
در اکثر تحقیقات انجام شده بالا، علیرغم استفاده از رویکرد چندمعیاره، مقادیر سناریوها از دید شاخص‌ها به صورت یک مقدار متوسط در کل حوضه (توده‌ای یا به عبارت بهتر غیر توزیعی) در نظر گرفته شده‌اند و وزن شاخص‌ها به صورت یک عدد قطعی در فرآیند ارزیابی اعمال شده‌اند و منجر به عدم قطعیت در نتایج ارزیابی‌ها شده است. نظر به تأثیر توزیع مکانی شاخص‌ها در رتبه-بندی سناریوهای مدیریت منابع آب و کارایی مناسب‌تر روش برنامه‌ریزی سازشی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب (Prodanovic and Simonovic, 2002)، در مقاله حاضر، سناریوهای تخصیص منابع آب با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی[2] و با به‌کارگیری روش برنامه‌ریزی سازشی رتبه‌بندی شده است و حساسیت روش فوق نسبت به تغییر وزن شاخص‌ها انجام شده است. در ادامه روش کار، اطلاعات مورد استفاده و نتایج مربوط به این مطالعه ارائه گردیده است.

مواد و روش‌ها

1. Spatial Multi Criteria Decision Making

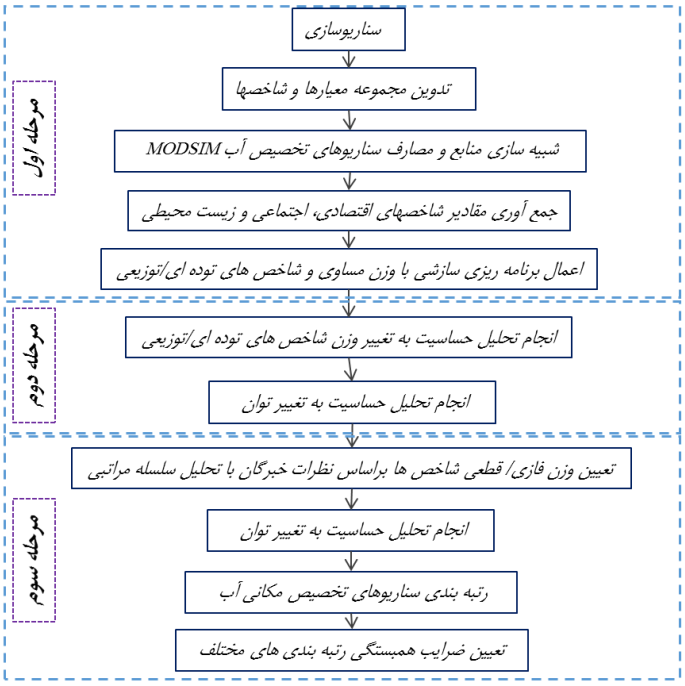
2. Distributted

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 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).



شکل۱. مدل مفهومی ارزیابی سناریوهای تخصیص آب

در این تحقیق، روش برنامه‌ریزی سازشی با لحاظ شاخص‌های توده‌ای و توزیع 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 (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).



شکل۲. مراحل سه گانه انجام تحقیق حاضر

نتایج رتبه‌بندی‌ها با وزن‌های گروهی-فازی و شاخص‌های توده‌ای و توزیعی با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن مقایسه شده است. الگوریتم و مبانی انجام تحقیق حاضر به شرح زیر می-باشد:

الف) روش برنامه‌ریزی سازشیCP

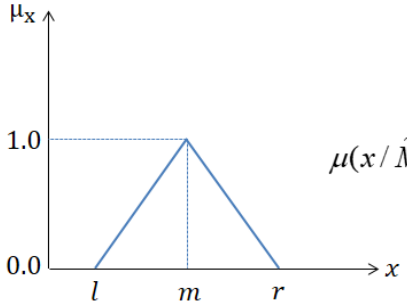
اولین بار روش برنامه‌ریزی سازشی توسط زلنی(۱۹۷۳) ارائه شد که روشی ساده و پرکاربرد می‌باشد. این روش در انتخاب گزینه برتر، وزن شاخص‌ها و فاصله از آرمان لحاظ می‌شود. نرمال‌سازی داده‌ها و امتیاز هر سناریو نیز از روابط زیر محاسبه می‌شوند (Zeleny, 1973):

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

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

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

در روابط بالا، $\overline{a_{ij}}$ و $\overline{a_{ijk}}$ به ترتیب مقادیر توده‌ای و مکانی سناریوی iام از دید معیار j ام به‌صورت نرمال شده و w_j وزن معیار j ام می‌باشد. p پارامتری است که حساسیت تصمیم‌گیر به فاصله از نقطه نامطلوب را بر حسب شاخص‌های مختلف بیان می-کند (Zarghami and Szidarovszky, 2010). در مقاله حاضر، مقدار p معادل۰/۵انتخاب شد. همچنین m_j و M_j به ترتیب بیانگر کمترین و بیشترین مقادیر گزینه‌ها یا سناریوها می‌باشند. توزیع مکانی مقادیر شاخص‌ها 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 شاخص‌ها نظر خبرگان در قالب عدد فازی مثلثی اخذ شد. تابع عضویت عدد فازی در شکل (۳) ارائه شده است.



$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} x < l \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \\ \dfrac{x-1}{m-l} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots l < x < m \\ \dfrac{r-x}{r-m} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots m < x < r \\ x > r \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 0 \end{cases}$$

شکل۳. تابع عضویت عدد فازی مثلثی

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

ب) ضریب همبستگی اسپیرمن[1]

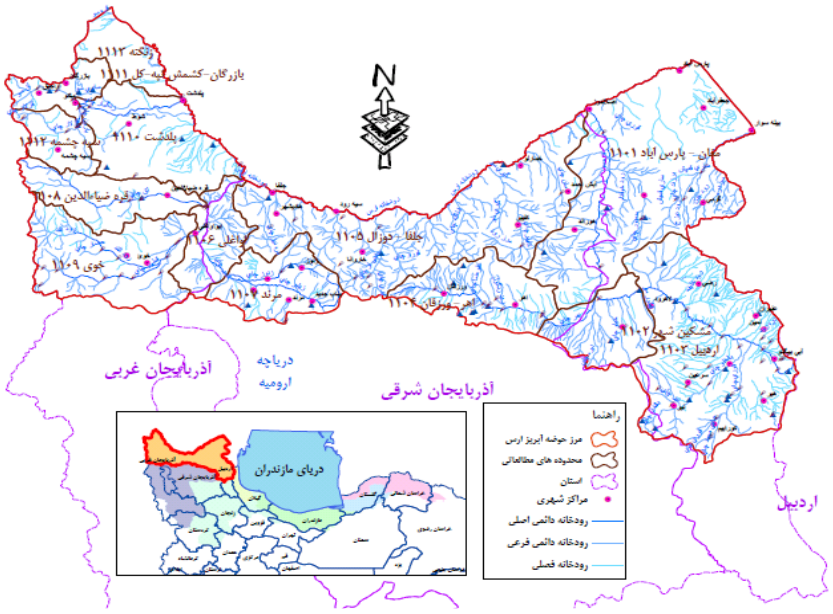
ضریب همبستگی اسپیرمن برای نشان دادن رابطه‌ی میان دو متغیر ترتیبی به شرح ذیل است (Dodge, 2008):

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

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).

ج- معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، حوضه ارس در شمال غربی ایران می‌باشد. مساحت این حوضه برابر۳۹۵۳۴ 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.



شکل۴. موقعیت حوضه آبریز ارس

د- معیارها و شاخص‌های مکانی[2] **(C&SI)**

محدوده مورد مطالعه به لحاظ پیکربندی منابع و مصارف از ۱۳ ناحیه با کدهای مطالعاتی۱۱۰۱ تا ۱۱۱۳ تشکیل شده است (شکل۴). چهار معیار اصلی و پانزده شاخص به همراه پنج سناریو از مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور که توسط شرکت مهندسی مشاور مهاب 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(WR_1)، تنش نسبی آب (WR_2) و وابستگی به آب سطحی (WR_3) 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 نیوهمشایر(UNH) مورد استفاده قرار گرفت.

1. Spearman's Rank Correlation Coefficient

2. Criteria & Spatial Indicator (C&SI)

جدول۱. مشخصات مجموعه معیارها و شاخص‌های 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

معیار اجتماعی (SC^5): جامعه عشایری با فرهنگ و سنن خاص خود از خصوصیات بارز اجتماعی حوضه ارس می‌باشد. با توجه به اهمیت تاریخی حضور جمعیت عشایری در مرزهای شمال غربی کشور، معیار اجتماعی در حوضه ارس شامل چهار شاخص مکانی: مشارکت عشایر (SC_1)، سرانه منابع آب (SC_2)، اشتغال (SC_3) و جمعیت (SC_4) 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 در۱۳محدوده مطالعاتی از توزیع مکانی برخوردار می‌باشند. در این راستا، شاخص دوم، شاخص فالکن مارک و سه شاخص دیگر از مطالعات بهنگام سازی وزارت نیرو (Mahabghoods, 2009) استخراج شد.

معیار زیست‌محیطی (EV^6): این معیار با توجه به وجود اکوسیستم‌های 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 حقابه مرزی و محدودیت‌های توسعه‌ای در نظر گرفته شده است. رودخانه‌های قره‌سو، زنوزچای، قطورچای و زنگمارچای و همچنین حفظ تالاب‌های مهم و اثر طبیعی ملی سبلان و جنگل‌های ارسباران از عناصر کلیدی محسوب می‌شود. معیار زیست‌محیطی شامل چهار شاخص کیفیت آب (EV_1)، محدودیت توسعه (EV_2)، اکوسیستم‌های وابسته به آب (EV_3) و حقابه‌های زیست‌محیطی (EV_4) به منظور پایدارسازی جریان می‌باشد. هر چهار شاخص در ۱۳ محدوده مطالعاتی توزیع مکانی دارند. در این مطالعه، شاخص سوم از حفاظت محیط‌زیست سازمان ملل و سه شاخص دیگر از گزارش تلفیق مطالعات بهنگام سازی وزارت نیرو (Mahabghoods, 2009) استفاده شد.

معیار اقتصادی (EC^7): این معیار به منظور لحاظ سرمایه‌گذاری‌های انجام شده و تشویق برای افزایش بهره‌وری اقتصادی و ارتقای راندمان مصرف آب و همچنین بهره‌برداری از اراضی دیم که پتانسیل افزایش تولید قابل ملاحظه‌ای دارند و همچنین اراضی با سطوح بیشتر، یکپارچه و با کیفیت‌تر مدنظر قرار گرفت. این معیار شامل۴ شاخص: سرمایه‌گذاری موجود (EC_1)، بهره‌وری اقتصادی (EC_2)، اراضی حاصلخیز (EC_3) و استعداد افزایش تولید (EC_4) می‌باشد. 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^8)

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

سناریوی اول (Se_1) برای ایجاد مبنای مشترک مقایسه‌ای 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 زیست‌محیطی با روش مونتانا لحاظ شد.

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
5. Social Aspects
6. Environmental Aspects
7. Economical Aspects
8. Scenario

در سناریوی دوم (Se_2)، 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 (Se_3)، مدیریت تقاضا مدنظر قرار گرفت چراکه از یک‌سو 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 تحت‌فشار متصور می‌باشد، این سناریو مطرح شده است.

سناریوی چهارم (Se_4) با توجه به منفی بودن بیلان آب زیرزمینی در آبخوان‌های حوضه، تعادل بخشی منابع آب 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 ۱۹میلیون مترمکعب و در ۱۱۰۹ به میزان ۶ میلیون مترمکعب می‌باشد.

محدودیت منابع آب ناشی از تغییرات اقلیمی و سازگاری با آن، سناریوی پنجم (Se_5) 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.

جدول۲. نتایج مکانی مدل شبیه‌ساز منابع و مصارف (Mahabghoods, 2009)

تأمین نیازها(%)				تأمین از آب سطحی و زیرزمینی(%)		نیازهای مختلف آبی (میلیون مترمکعب)				سناریوها
کمبود	غیرمصرفی	کشاورزی	صنعت	شرب	زیرزمینی	آب سطحی	غیرمصرفی	کشاورزی	صنعت	شرب	
۵۲	%۱۰۰	%۶۹	%۱۰۰	%۹۵	%۲۸	%۷۲	۱۰۳۱	۴۵۳۱	۱۴	۱۸۸	سناریوی۱(Se1)
۵۲	%۹۸	%۶۹	%۹۳	%۹۱	%۱۶	%۸۴	۲۷۵۱	۷۸۰۸	۵۶	۲۵۹	سناریوی۲(Se2)
۵۲	%۹۹	%۶۶	%۹۵	%۹۱	%۲۰	%۸۰	۲۷۵۱	۶۵۵۴	۵۶	۲۵۴	سناریوی۳(Se3)
۰	%۹۹	%۶۵	%۹۵	%۹۱	%۱۹	%۸۱	۲۷۵۱	۶۵۵۴	۵۶	۲۵۴	سناریوی۴(Se4)
۰	%۹۹	%۵۸	%۸۷	%۸۸	%۲۲	%۷۸	۲۷۵۱	۶۵۰۹	۵۵	۲۵۴	سناریوی۵(Se5)

نیازهای شرب و صنعت و محیط‌زیست (غیرمصرفی) با ضریب اطمینان‌پذیری بالای۹۰٪ 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 آتی 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 میزان۵۲ 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. در ماتریس توده‌ای برای هر شاخص در سطح حوضه یک مقدار متوسط وجود دارد. ماتریس تصمیم توده‌ای دارای ابعاد ۱۵*۵ می‌باشد (جدول۳).

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 Bبا اندیس‌های ۱تا ۱۵شمارنده شاخص‌ها و حرف K با اندیس‌های۱ تا ۱۳ شمارنده 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

امتیاز به سناریوی دوم به مقدار ۰/۲۲۵۴ و کمترین امتیاز به مقدار ۱۲۵۵/ ۰به سناریوی اول، تعلق دارد. سایر سناریوها امتیازی بین این دو مقدار دارند. رتبه سناریوها نیز به ترتیب ۵-۲-۳-۴-۱ به دست آمد. با اعمال توزیع مکانی شاخص‌ها، امتیازها 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 (جدول۵).

جدول۳. ماتریس تصمیم با شاخص‌های توده‌ای

سناریوها	Non Spatial Indicator (Lumped)														
	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}
سناریوی۱(Se1)	۷	۱۲۶۰	۰/۸۳	۳	۱۳۹۸	۶	۱۰۰۰	۹/۸	۷/۳۹	۵/۱۳	۲/۱۲	۱۰۲۹	۴	۱/۰۵	۰/۷۲
سناریوی۲(Se2)	۸	۱۲۶۰	۰/۸۳	۵	۱۱۰۰	۸	۲۱۰۰۲	۶/۸۷	۷/۳۹	۵/۱۳	۲/۱۲	۲۶۸۷	۲	۱/۸	۰/۸۴
سناریوی۳(Se3)	۸	۱۲۶۰	۰/۸۳	۵	۱۱۰۰	۸	۲۱۰۰۲	۶/۸۷	۷/۳۹	۵/۱۳	۲/۱۲	۲۷۲۶	۳	۱/۴۶	۰/۸
سناریوی۴(Se4)	۸	۱۲۶۰	۰/۸۳	۵	۱۰۸۳	۸	۲۱۰۰۲	۶/۸۷	۷/۳۹	۵/۱۳	۲/۱۲	۲۷۲۶	۳	۱/۴۷	۰/۸۱
سناریوی۵(Se5)	۸	۱۳۰۰	۰/۹۲	۵	۷۴۶	۸	۱۷۰۵۰	۸/۳۴	۴/۱۹	۲/۹۱	۲/۴۳	۲۵۷۹	۱	۱/۸۹	۰/۷۸

جدول۴. 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}
سناریوی۱	۵	۱۱۴۸	۱/۰۱	۱	۱۹۱۶	۲	۱۸۰	۱۰/۴	۷/۰۷	۴/۵	۳/۰۴	۷۷/۱۳	۴	۱/۵۹	۰/۷۴
سناریوی۲	۱	۱۱۴۸	۱/۰۱	۲	۱۶۱۶	۳	۷۲۵۶	۶/۲۱	۷/۰۷	۷/۰۷	۳/۰۴	۳۵۳/۱	۲	۲/۶۷	۰/۷۵
سناریوی۳	۱	۱۱۴۸	۱/۰۱	۲	۱۶۱۹	۳	۷۲۵۶	۶/۲۱	۷/۰۷	۷/۰۷	۳/۰۴	۳۵۹/۳	۳	۲/۱۶	۰/۷۵
سناریوی۴	۱	۱۱۴۸	۱/۰۱	۲	۱۶۰۵	۳	۷۲۵۶	۶/۲۱	۷/۰۷	۷/۰۷	۳/۰۴	۳۵۹/۱	۳	۲/۱۶	۰/۷۶
سناریوی۵	۱	۱۵۸۳	۱/۱۱	۲	۱۰۷۱	۳	۵۹۱۶	۷/۷۷	۴/۰۱	۴/۰۱	۳/۵	۳۳۳/۵	۱	۳/۹۷	۰/۷۲

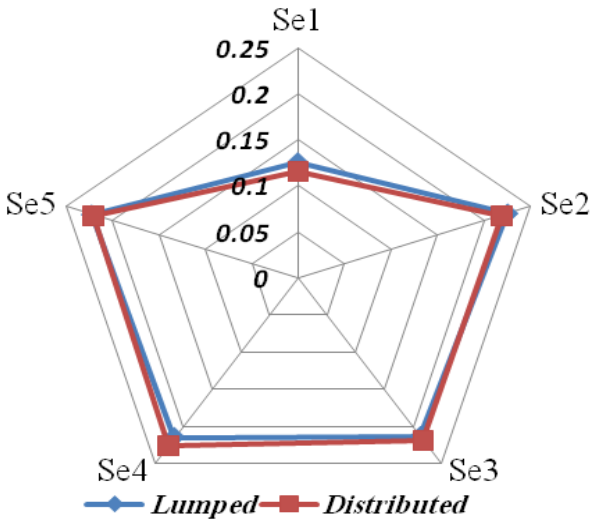
جدول۵. امتیاز سناریوها با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی

MADMs	CP(غیر توزیعی)		SCP(توزیعی)	
سناریوها	امتیاز	رتبه	امتیاز	رتبه
سناریوی۱	۰/۱۲۵۵	۵	۰/۱۱۶۵	۵
سناریوی۲	**۰/۲۲۵۴**	**۱**	۰/۲۱۹۳	۳
سناریوی۳	۰/۲۱۳۲	۴	۰/۲۱۸۱	۴
سناریوی۴	۰/۲۱۴۵	۳	**۰/۲۲۵۸**	**۱**
سناریوی۵	۰/۲۲۳۱	۲	۰/۲۲۰۳	۲

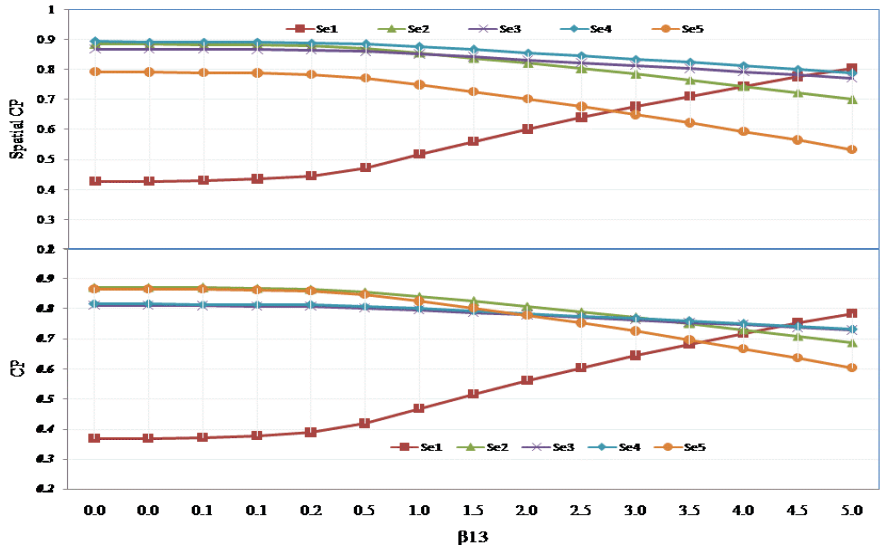
نمودار مقایسه‌ای امتیاز سناریوها برای شاخص‌های توده‌ای و توزیعی در شکل (۵) ارائه شده است. ضریب همبستگی رتبه‌بندی با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی معادل ۰/۶ به دست آمد. این مقدار همبستگی، نشان داد که اعمال توزیع مکانی شاخص‌ها هم بر امتیاز و هم بر رتبه‌بندی سناریوها تأثیرگذار است و ساده‌سازی و استفاده از مقادیر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

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

شاخص توده‌ای، شروع تغییر رتبه سناریوها نسبت به شاخص توده‌ای سریع‌تر رخ می‌دهد. برای مثال تغییر رتبه سناریوی دوم در شاخص توده‌ای (CP) در افزایش وزن حدود۵ /۳ و این رقم برای شاخص توزیعی (Spatial CP) بین ۲/۵ و ۳ می‌باشد (شکل ۶).



شکل۵. نتایج رتبه‌بندی سناریوها با شاخص‌های توده‌ای(**Lumped**) و توزیعی(**Distributed**)



شکل۶. آنالیز حساسیت روش برنامه‌ریزی سازشی به شاخص توده‌ای و توزیعی سیزدهم

رتبه‌بندی سناریوها با استفاده از تصمیم‌گیری گروهی

در این بخش از تحقیق، وزن شاخص‌ها با به‌کارگیری تصمیم-گیری 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 تائید 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 ۵-۱-۳-۲-۴ و با شاخص‌های مکانی (توزیعی) به ترتیب ۴-۱-۲-۳-۵ حاصل شد (جدول ۶).

جدول۶. امتیاز و رتبه سناریوها با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی و وزن قطعی

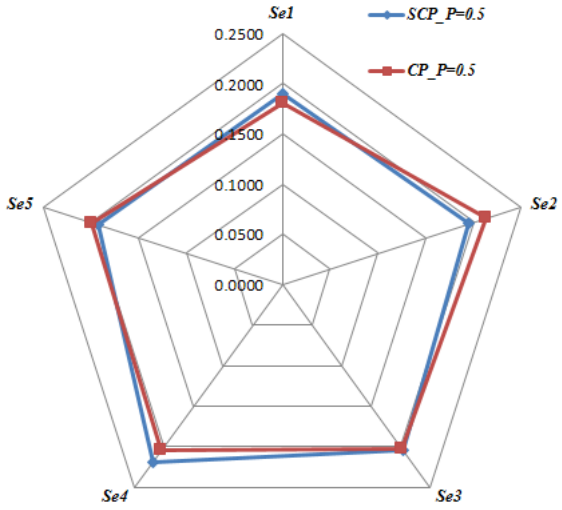
سناریوها	امتیاز با وزن قطعی		رتبه با وزن قطعی	
	CP0.5	*SCP0.5*	*CP0.5*	*SCP0.5*
سناریوی۱	۰/۱۸۰۶	۰/۱۸۹۵	۵	۵
سناریوی۲	**۰/۲۱۳۸**	۰/۱۹۵۳	**۱**	۳
سناریوی۳	۰/۲۰۲۱	۰/۲۰۴۶	۳	۲
سناریوی۴	۰/۲۰۴۶	**۰/۲۱۸۳**	۲	**۱**
سناریوی۵	۰/۱۹۸۹	۰/۱۹۲۳	۴	۴

با وزن‌های فازی، مقادیر امتیاز سناریوها هم برای شاخص-های توده‌ای و هم برای شاخص‌های مکانی تغییر می‌یابد. این تغییرات به اندازه‌ای نیست که بتواند رتبه‌بندی را نسبت به وزن قطعی متأثر نماید (جدول۷). تغییر نوع شاخص بر رتبه‌بندی اثر مشهودتری نسبت به تغییر وزن از قطعی به فازی دارند در صورتی که با شاخص مشابه، دو وزن قطعی و فازی رتبه‌بندی مشابهی ایجاد می‌کنند.

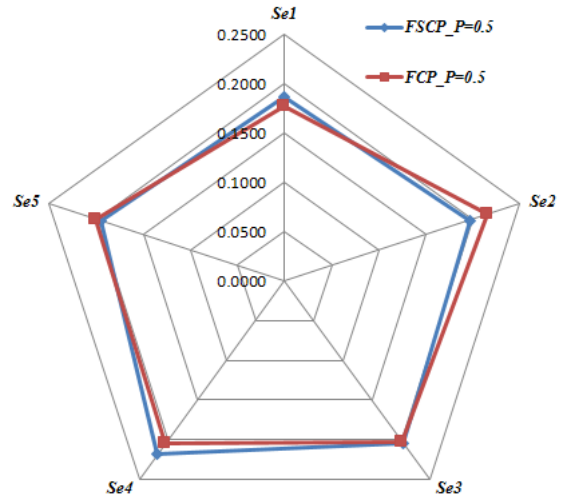
جدول۷. امتیاز و رتبه سناریوها با شاخص‌های توده‌ای و توزیعی و وزن فازی

سناریوها	امتیاز با وزن فازی		رتبه با وزن فازی	
	FCP0.5	***FSCP0.5***	***FCP0.5***	***FSCP0.5***
سناریوی۱	۰/۱۷۶۸	۰/۱۸۵۸	۵	۵
سناریوی۲	**۰/۲۱۵۳**	۰/۱۹۶۴	**۱**	۳
سناریوی۳	۰/۲۰۲۰	۰/۲۰۴۵	۳	۲
سناریوی۴	۰/۲۰۴۶	**۰/۲۱۵۸**	۲	**۱**
سناریوی۵	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 رتبه‌بندی‌های مختلف ناشی از به‌کارگیری تصمیم-گیری 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 برنامه‌ریزی 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 برنامه‌ریزی سازشی منجر به رتبه‌بندی مشابه برای سناریوهای تخصیص آب می‌شود. در چهار زوج روش شامل: CP-SCP, CP-FSCP, FCP-SCP, FCP-FSCP که مشخصه مشترک آن‌ها، حضور توأم دو نوع شاخص توده‌ای و مکانی می‌باشد، اعمال هر دو نوع وزن (قطعی و فازی) منجر به تغییر رتبه‌بندی 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 به‌کارگیری و عدم به‌کارگیری تصمیم‌گیری گروهی محاسبه شد. کمترین ضریب همبستگی معادل ۰/۲ و بیشترین مقدار آن برابر ۰/۷ حاصل شد. با به‌کارگیری وزن فازی و شاخص توزیعی در تصمیم‌گیری گروهی میزان اختلاف رتبه‌بندی با تصمیم‌گیری گروهی نسبت به بکارگیری وزن مؤثر یکسان افزایش و ضریب همبستگی کاهش نشان داد.



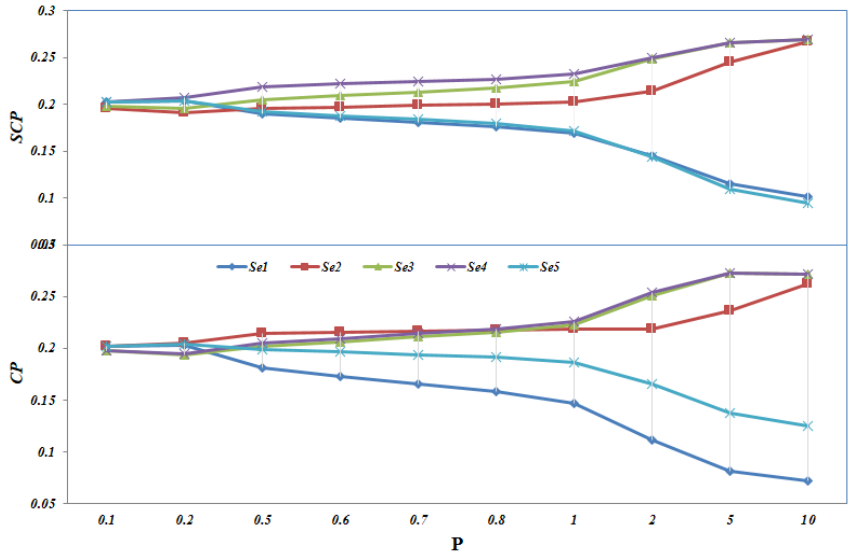
شکل۷. تأثیر شاخص توزیعی و وزن گروهی بر نتایج رتبه‌بندی سناریوها



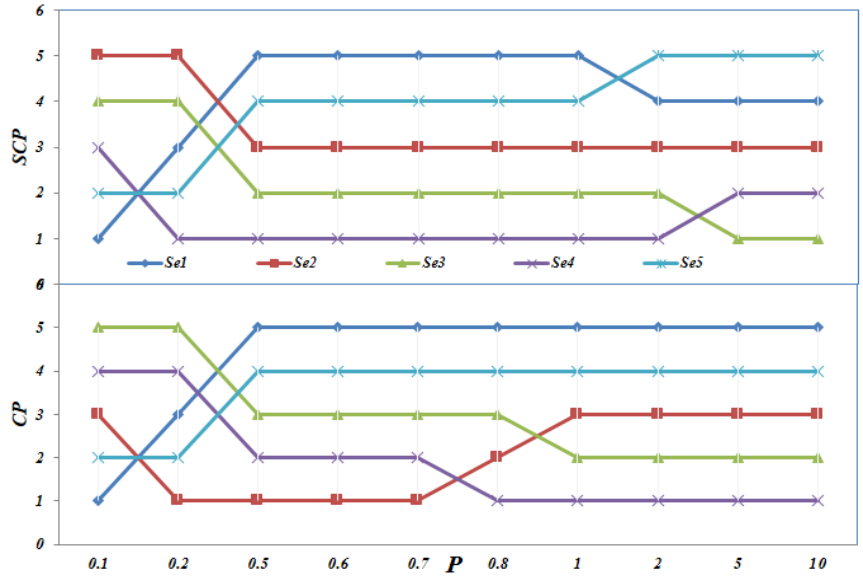
شکل۷. تأثیر شاخص توزیعی و وزن گروهی بر نتایج رتبه‌بندی سناریوها

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 رتبه‌بندی می‌شود و در برخی دیگر نیز تغییرات به اندازه‌ای نبوده است که بتواند رتبه‌بندی را تغییر دهد (شکل۸). همچنین رتبه سناریوها به تفکیک دو نوع شاخص توده‌ای (CP) و مکانی (SCP) در شکل (۹) ارائه شده است. با توجه به این شکل، رتبه‌بندی در دو نوع شاخص به‌طور متفاوت با افزایش توان P تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

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 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.



شکل۸. تغییرات امتیاز سناریوها با شاخص توده‌ای (CP) و شاخص مکانی (SCP) به ازای تغییر توانP



شکل۹. حساسیت رتبه سناریوها به توان P با شاخص توده‌ای (CP) و شاخص مکانی (SCP)

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 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-

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 برنامه-ریزی 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، 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 قابل‌توجهی بر امتیاز و رتبه سناریوهای تخصیص آب برجای می‌گذارد. لذا ضروری است توزیع مکانی مقادیر لحاظ و در تعیین وزن شاخص‌های ارزیابی، تصمیم-گیری 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

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 Mnagement 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 ModelFuzzy 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.

Yaccob, 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.