نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۱، ص. ۱۰۰۹-۹۹۹

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.4, Sept.-Oct. 2012, p. 999-1009

کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در تعیین گزینه بهینه نمک زدایی از آب های لب شور

سید علی قاسمی[۱]- شهناز دانش[۲*]

تاریخ دریافت۹۰/۹/۹
تاریخ پذیرش:۹۱/۳/۲۱

چکیده

در این کار تحقیقاتی یک مدل تصمیم گیری فازی برای ارزیابی و رتبه بندی روش های مختلف نمک زدایی و نهایتاً انتخاب گزینه برتر ارائه گردیده است. گزینه های نمک زدایی مورد بررسی در این تحقیق شامل اسمز معکوس، الکترودیالیز، تقطیر ناگهانی، تقطیر چند مرحله ای، تراکم بخار و تبادل یونی بوده است. مدل ارائه شده شامل مراحل تعریف مسئله، محاسبات فازی و رتبه بندی گزینه های نمک زدایی و ساختار سلسله مراتبی آن مشتمل بر ۵ سطح هدف، معیارها، زیرمعیارها، عوامل و گزینه های نمک زدایی بود. به منظور انتخاب معیارها، زیرمعیارها و عوامل و همچنین تعیین اهمیت نسبی هر یک از آن ها، از نقطه نظرات کارشناسان و محققین و نیز جمع بندی نتایج پرسشنامه ای و بررسی کتابخانه ای استفاده شد. در مرحله بعد با استفاده از تحلیل توسعه ای چانگ گزینه های مختلف نمک زدایی بر اساس معیارها، زیرمعیارها و عوامل انتخاب شده مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت تعیین دقت و قابلیت کاربرد، مدل توسعه یافته در یک مطالعه موردی در ارتباط با کیفیت آب تعدادی از چاه های شهر تربت حیدریه به کار گرفته شد. نتایج به دست آمده دلالت بر آن داشت که فرآیند الکترودیالیز وزن نهایی ۰/۲۵۵ مناسب ترین فرآیند نمک زدایی از آب های لب شور زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه است. تحلیل حساسیت فرآیند تصمیم گیری نیز نشان داد که مدل ارائه شده، در مقابل جا به جایی وزن معیارها از حساسیت پایینی برخوردار است. با توجه به نتایج به دست آمده می توان چنین بیان کرد که روش تحلیل سلسه مراتبی فازی ابزاری مناسب در سازماندهی فرآیند تصمیم گیری در مدیریت کیفی منابع آب است.

واژه های کلیدی: مدیریت منابع آب زیرزمینی، آب های شور و لب شور، روش های تحلیل چند معیاره، منطق فازی

مقدمه

در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان به دلیل رشد روزافزون جمعیت، افزایش نرخ مصرف سرانه آب و نیز کمبود منابع آب دردسترس، بحران کمی و کیفی منابع آب به وقوع پیوسته است (۴). لذا کاربرد روش های مدیریت منابع آب از قبیل اصلاح الگوی مصرف، به حداقل رساندن نشت در شبکه های توزیع و انتقال و نیز استفاده از منابع آب غیر متعارف بیش از پیش مورد توجه تصمیم گیران صنعت آب قرار گرفته است. در این میان، نمک زدایی از منابع آب شور و لب شور زیرزمینی، به یکی از متداول ترین راهکارهای تأمین آب آشامیدنی استاندارد تبدیل شده است (۱۹). در ایران نیز به دلیل برداشت بی رویه، علاوه بر کاهش سرانه آب تجدیدپذیر، کیفیت بسیاری از منابع آب زیرزمینی کاهش یافته است. از این رو در بسیاری از مناطق گرم و خشک کشور، تأمین آب آشامیدنی مناسب بدون استفاده از روش های تصفیه پیشرفته امکان پذیر نمی باشد. اسمز معکوس (۵)، الکترودیالیز (۵)، تقطیر ناگهانی (۱۵)، تقطیر چند مرحله‌ای (۱۵)، تراکم بخار (۱۵) و تبادل یونی (۵ و ۱۵) ازجمله متداول ترین فرآیندهای نمک زدایی از منابع آب شور به حساب می آیند. با توجه به تنوع روش های مختلف نمک زدایی و ویژگی های منحصر به فرد هر یک از آن ها و نیز متفاوت بودن شاخص های کمی و کیفی رتبه بندی، انتخاب بهترین روش نمک زدایی به مسئله ای پیچیده تبدیل شده است (۱۵). لذا استفاده از روش های تحلیل چند معیاره[۳] در این ارتباط می تواند راهگشای مؤثری جهت تصمیم گیری باشد. روش های تحلیل چند معیاره روش هایی هستند که به کمک آن ها می توان با مد نظر قرار دادن معیارهای کمی و کیفی

۱و۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*-نویسنده مسئول: Email: sdanesh@ferdowsi.um.ac.ir)

3- Multi Criteria Decision Making Methods

متعدد بهترین گزینه را از میان چندین گزینه انتخاب نمود (۱). از مهم ترین روش های تحلیل چند معیاره می توان به تخصیص خطی[1]، روش اولویت بندی بر اساس تشابه به راه حل ایده آل[2]، تئوری مطلوبیت چند معیاره[3] و تحلیل سلسله مراتبی[4] اشاره نمود (۱۳). روش های مذکور هر چند که در زمینه های مختلف اقتصادی، نظامی و صنعتی به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته است، ولی تحقیقات نسبتاً اندکی در ارتباط با کاربرد آن ها در مدیریت کیفی منابع آب صورت پذیرفته است (۸، ۹، ۱۰، ۱۸ و ۲۱). محسن و الجیوسی (۱۷) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی روش های مختلف نمک زدایی را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که فرآیندهای اسمز معکوس و الکترودیالیز برای کاهش میزان املاح موجود در منابع آب لب شور زیرزمینی مناسب تر از سایر روش های نمک زدایی هستند. هجیه و العثمان (۱۱) نیز با بررسی کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در انتخاب فرآیند بهینه نمک زدایی و تصفیه آب دریا نشان دادند که استفاده از فرآیند اسمز معکوس نسبت به سایر روش ها مقرون به صرفه تر است. نتیجه مطالعات هجیه (۱۲) نشان داد که معیارهای مقدار انرژی مصرفی، نرخ بازیافت آب، هزینه سرمایه گذاری و کیفیت آب تصفیه شده، مهم ترین شاخص ها در انتخاب گزینه برتر نمک زدایی می باشند.

اگر چه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از توانایی بالایی در ارزیابی چند معیاره گزینه های مختلف برخوردار است، اما قادر به اعمال عدم قطعیت های موجود در مقایسه های زوجی و بررسی تأثیر آن در فرآیند انتخاب نمی باشد (۲۲). به همین منظور در سال های اخیر استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره فازی بیش از پیش گسترش یافته است. روش های تصمیم گیری چند معیاره فازی تلفیقی از منطق فازی[5] و فرآیند های تصمیم گیری چند شاخصه می‌باشند (۷). در این روش ها عدم قطعیت های موجود در قضاوت ها با استفاده از یک عدد فازی در فرآیند تصمیم گیری دخالت داده می‌شود. در تحقیق حاضر کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در انتخاب بهترین فرآیند نمک زدایی از منابع آب لب شور زیرزمینی تربت حیدریه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش ها

منطقه مطالعاتی

تربت حیدریه یکی از شهرهای استان خراسان رضوی و مرکز شهرستان تربت حیدریه است. این شهر با جمعیتی بالغ بر ۱۲۰ هزار نفر در ۱۴۰ کیلومتری جنوب مشهد قرار گرفته است. مهمترین منابع تأمین آب آشامیدنی شهر تربت حیدریه چاه های عمیق و منابع آب زیرزمینی هستند. با توجه به خشکسالی های اخیر و برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی، کیفیت آب چاه های واقع در این منطقه به طور محسوسی کاهش یافته است، به گونه ای که بررسی استفاده از یک فرآیند نمک زدایی بهینه به منظور تأمین آب آشامیدنی استاندارد در برخی از نقاط این منطقه بیش از گذشته ضرورت یافته است (۲). پاره‌ای از خصوصیات کیفی برخی از چاه های مهم شهرستان تربت حیدریه و نیز مقادیر مجاز و مطلوب توصیه شده در استاندارد آب آشامیدنی ایران (۳) در جدول ۱ ارائه شده است. همان طور که از مقادیر ارائه شده در جدول مذکور بر می آید غلظت کل جامدات محلول در منابع آب زیرزمینی تربت حیدریه فراتر از مقدار مطلوب بوده و از نقطه نظر غلظت کلرور و سدیم نیز میانگین مقادیر اندازه گیری شده بیش از حداکثر مقدار مجاز توصیه شده در استاندارد آب آشامیدنی ایران است.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای اولین بار در مطالعات ون لارهوون و پدریز (۲۰) مورد توجه قرار گرفت. پس از آن برخی دیگر از محققین روش های تحلیل سلسله مراتبی فازی متعددی را در زمینه های مختلف ارائه نمودند. تحلیل توسعه ای یکی از ساده ترین و متداول ترین روش های تحلیل چند معیاره فازی است که مبتنی بر استفاده از اعداد فازی مثلثی و مقایسه های زوجی بوده و توسط چانگ (۷) توسعه یافته است. در این روش پس از تشکیل سلسله مراتب تصمیم گیری، با توجه به میزان اهمیت هر معیار یا گزینه یک عدد فازی مثلثی به آن اختصاص می یابد و ماتریس های مقایسه زوجی برای هر سطح از سلسله مراتب ایجاد می شود. عدد فازی مثلثی نوع خاصی از اعداد فازی است که با استفاده از سه تایی مرتب (l, m, u) و رابطه ۱ تعریف می گردد. در هر عدد فازی مثلثی l حد پایینی، u حد بالایی و m نیز مقدار میانه است (۲۳).

$$\mu_{\tilde{M}}(x)=\begin{cases}(x-l)/(m-l) & l\le x\le m\\ (u-x)/(u-m) & m\le x\le u\\ 0 & otherwise\end{cases} \qquad (۱)$$

مراحل مختلف روش تحلیل توسعه ای چانگ (۶ و ۷) به صورت ذیل است:

گام ۱: مقدار ترکیبی فازی $(\widetilde{S}_i)$ نسبت به معیار i ام با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می شود.

1 - Linear Assignment (LA)
2 - Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS)
3 - Multi-Attribute Utility Theory
4 - Analytic Hierarchy Process
5 - Fuzzy Logic

جدول ۱ - میانگین مقدار پارامترهای فیزیکوشیمیایی اندازه گیری شده در سال ۱۳۸۸

پارامتر	واحد	مقدار	استاندارد آب آشامیدنی ایران (۳)	
			مقدار مطلوب	حداکثر مقدار مجاز
هدایت الکتریکی	dS/m	۱/۹۷	–	–
کل جامدات محلول	mg/L	۱۳۰۵	۵۰۰	۱۵۰۰
pH	-	۸	۶/۵–۸/۵	۶/۵ –۹
بی کربنات	mg/L	۲۳۵	–	–
نیترات	mg/L	۱۲	۰	۵۰
کلرور	mg/L	۵۳۶	۲۰۰	۴۰۰
سولفات	mg/L	۳۶	۲۰۰	۴۰۰
کلسیم	mg/L	۴۰	۳۰۰	–
منیزیم	mg/L	۲۷	۳۰	–
سدیم	mg/L	۳۵۵	۲۰۰	۲۵۰
پتاسیم	mg/L	۲	–	–
سختی کل	mg/L as $CaCO_3$	۲۰۷	۱۵۰	۵۰۰
قلیائیت	mg/L as $CaCO_3$	۱۹۴	–	–

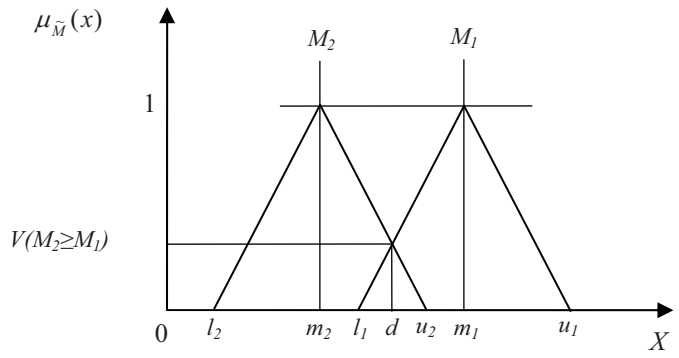
$$\widetilde{S}_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1}, \quad i = 1,2,...,n. \qquad (۲)$$

که در آن $\otimes$ به معنی ضرب گسترده دو عدد فازی است و هر یک از اعداد فازی به دست آمده، نشان دهنده وزن نسبی یک معیار (یا گزینه) نسبت به یک معیار دیگر می باشد.

گام ۲: چنانچه $\widetilde{M}_1$ و $\widetilde{M}_2$ دو عدد فازی مثلثی باشند درجه بزرگی $\widetilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq \widetilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ با استفاده از رابطه ۳ تعریف می شود.

$$\mu(d) = \begin{cases} 1 & m_2 \geq m_1 \\ \dfrac{u_1 - l_2}{(u_1 - m_1) - (m_2 - l_2)} & otherwise \\ 0 & l_1 \geq u_2 \end{cases} \qquad (۳)$$

در رابطه فوق، $\mu(d) = V(\widetilde{M}_2 \geq \widetilde{M}_1)$، $\widetilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ و $\widetilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ می باشد و همان طور که در شکل ۱ مشاهده می گردد، d مختصات بالاترین نقطه تقاطع بین $\mu_{\widetilde{M}_2}$ و $\mu_{\widetilde{M}_1}$ است.



شکل ۱ - درجه امکان $V(\widetilde{M}_2 \geq \widetilde{M}_1)$

گام ۳: درجه امکان[1] یک عدد فازی محدب از درجه امکان k عدد فازی محدب $\widetilde{M}_i (i=1,2,...,k)$ بیشتر است. این مفهوم به صورت ذیل قابل تعریف است.

$$V(\widetilde{M} \geq \widetilde{M}_1, \widetilde{M}_2, ..., \widetilde{M}_k) = V(\widetilde{M} \geq \widetilde{M}_1) \ and \ V(\widetilde{M} \geq \widetilde{M}_2) \ and \ ... \ and \ V(\widetilde{M} \geq \widetilde{M}_k) = \min \ V(\widetilde{M} \geq \widetilde{M}_k), \ i=1,2,...,k \quad (۴)$$

چنانچه رابطه ذیل مفروض گردد:

$$d'(A_i) = \min \ V(S_i \geq S_k). \quad (۵)$$

در این صورت برای $k=1,2,...,n; \ k \neq i$ بردار وزن با استفاده از رابطه ۶ به دست می آید.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), ..., d'(A_n))^T \quad (۶)$$

گام ۴: پس از نرمال سازی W'، بردار وزن نرمال شده مطابق رابطه ۷ محاسبه می گردد که در آن W یک عدد غیرفازی است.

$$W = (d(A_1), d(A_2), ..., d(A_n))^T \quad (۷)$$

لازم به یادآوری است که سازگاری ماتریس های مقایسه زوجی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از مهم ترین موضوعاتی است که بایستی همواره در فرآیند تصمیم گیری لحاظ شود. سازگاری قضاوت ها در فرآیند مذکور با محاسبه نسبت سازگاری[2] (CR) مورد ارزیابی قرار می گیرد.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۸)$$

در رابطه فوق (CI) شاخص سازگاری[3] و (RI) شاخص نسبت یک ماتریس تصادفی[4] است که با استفاده از اطلاعات ارائه شده در جدول ۲ به دست می آید.

در این مقاله برای بررسی سازگاری قضاوت ها، ابتدا از روش غیرفازی کردن مرکز ناحیه[5] و سپس از روابط مورد استفاده در تعیین میزان ناسازگاری در روش تحلیل سلسله مراتبی سنتی استفاده شده است. چنانچه نسبت سازگاری محاسبه شده (CR) کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسات زوجی و قضاوت های انجام گرفته مورد قبول می باشد. در غیر این صورت ناسازگاری قضاوت ها بیشتر از مقدار قابل قبول بوده و باید در مقایسه های انجام گرفته تجدید نظر شود.

مدل ارائه شده

مدل ارائه شده در این تحقیق، شامل ۳ مرحله اساسی است: ۱) تعریف مسئله، ۲) محاسبات فازی، ۳) رتبه بندی گزینه ها و معرفی گزینه برتر.

در مرحله اول روش های نمک زدایی رایج، معیارها، زیرمعیارها و نیز عوامل تعیین، و سلسله مراتب تصمیم گیری بر مبنای آن ایجاد گردید. در سلسله مراتب ارائه شده، هدف در سطح اول، معیارها در سطح دوم، زیرمعیارها در سطح سوم، عوامل در سطح چهارم و گزینه ها در سطح پنجم قرار می گیرند. در مرحله دوم معیارها، زیرمعیارها و عوامل به صورت دو به دو و با استفاده از مقیاس های زبانی[6] و فازی ارائه شده در جدول ۳، مورد مقایسه قرار گرفتند (۲۴). در ادامه فرآیندهای مختلف نمک زدایی نسبت به هر زیرمعیار یا عامل با یکدیگر مقایسه گردیده و میزان برتری هر یک بر دیگری با استفاده از اعداد مثلثی فازی ارائه شد. پس از تأیید سازگاری مقایسه های زوجی، وزن هر معیار، زیرمعیار، عامل و گزینه با استفاده از تحلیل توسعه ای چانگ و به کمک نرم افزار Excel مورد محاسبه قرار گرفت. لازم به توضیح است که در کلیه مراحل انتخاب معیارها، زیرمعیارها و عوامل و نیز مقایسه زوجی آن ها از نظرات کارشناسان، جمع بندی نتایج پرسشنامه ای و یافته های سایر محققین استفاده گردید (۵ و ۱۶).

در مرحله سوم رتبه بندی نهایی فرآیندهای مختلف نمک زدایی با توجه به وزن نهایی به دست آمده در مرحله دوم، ارائه و گزینه برتر تعیین شد. در نهایت برای ارزیابی تأثیر تغییر وزن معیارها بر رتبه بندی گزینه ها، حساسیت فرآیند تصمیم گیری مورد بررسی قرار گرفت. دیاگرام مدل ارائه شده برای انتخاب بهترین روش نمک زدایی در شکل ۲ ارائه شده است.

تعیین گزینه ها، معیارها، زیرمعیارها و عوامل

به منظور ارزیابی فرآیند های مختلف نمک زدایی و تعیین بهترین فرآیند تصفیه منابع آب زیرزمینی تربت حیدریه، از مدل ارائه شده در بخش قبل استفاده شد. لذا روش های رایج نمک زدایی شامل اسمز معکوس (RO)، الکترودیالیز (ED)، تقطیر ناگهانی (MSF)، تقطیر چند مرحله ای (MED)، تراکم بخار (VC) و تبادل یونی (IE)، به عنوان پایین ترین سطح سلسله مراتب تصمیم گیری، مورد توجه قرار گرفتند. با توجه به نظر متخصصین، جمع بندی نتایج پرسشنامه ای و نتایج ارائه شده در منابع کتابخانه ای (۵، ۱۱، ۱۲ و ۱۵)، ارزیابی روش‌های مذکور بر مبنای سه شاخص فنی (C1)، زیست محیطی (C2) و اقتصادی (C3) انجام پذیرفت.

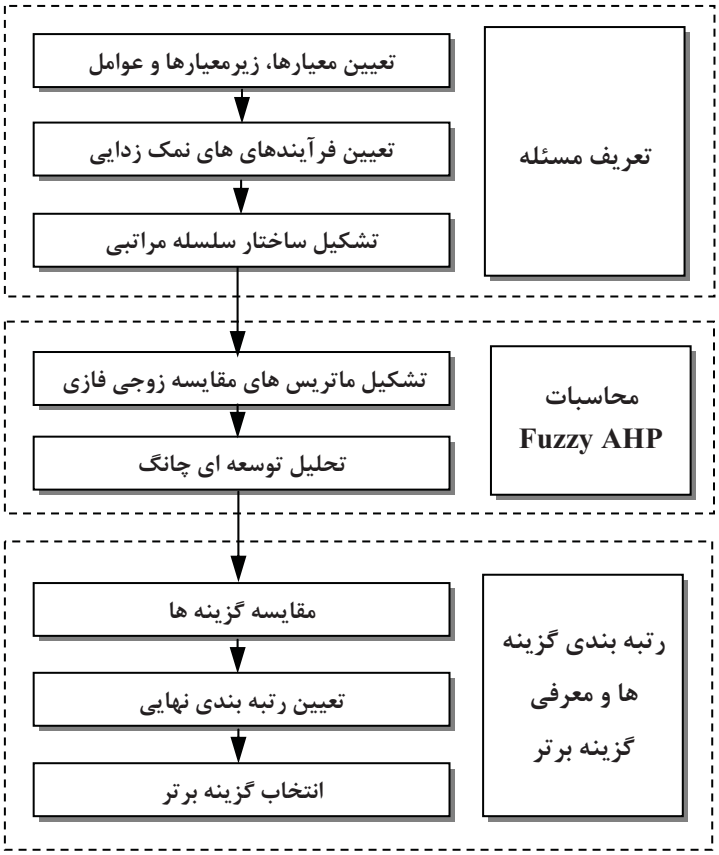
1- Degree of Possibility
2- Consistency Ratio
3- Consistency Index
4- Random Consistency Index
5- Center of area
6- Linguistic

جدول ۲ - شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی

N	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

جدول ۳ - مقیاس زبانی و فازی مورد استفاده در مقایسات زوجی (١٤)

مقیاس زبانی	عدد فازی مثلثی معادل	معکوس عدد فازی مثلثی معادل
اهمیت یکسان	(1 , 1 , 1)	(1 , 1 , 1)
برتری ضعیف	(1 , 3/2 , 2)	(1/2 , 2/3 , 1)
برتری متوسط	(3/2 , 2 , 5/2)	(2/5 , 1/2 , 2/3)
برتری قوی	(2 , 5/2 , 3)	(1/3 , 2/5 , 1/2)
برتری بسیار قوی	(5/2 , 3 , 7/2)	(2/7 , 1/3 , 2/5)
برتری مطلق	(3 , 7/2 , 4)	(1/4 , 2/7 , 1/3)



شکل ۲- دیاگرام مدل انتخاب بهترین روش نمک زدایی

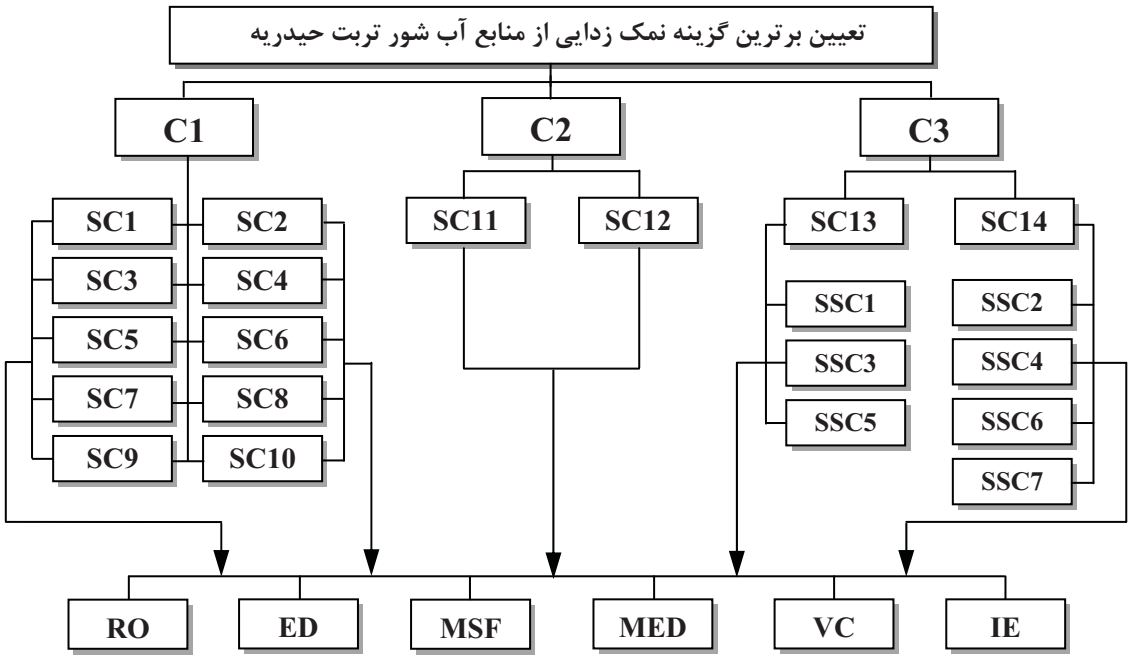
همچنین به منظور افزایش دقت در ارزیابی گزینه ها، برای هر یک از معیارهای فوق زیرمعیارهایی در نظر گرفته شد. به این ترتیب که برای معیار زیست محیطی، زیرمعیارهای دفع شوراب (SC11) و آلودگی هوا (SC12)، برای معیار اقتصادی، زیرمعیارهای هزینه های اجرایی (SC13) و هزینه های بهره برداری (SC14)، و سرانجام برای معیار فنی، زیرمعیارهای عدم نیاز به تخصص (SC1)، عدم وابستگی به کشورهای خارجی (SC2)، خدمات پس از فروش (SC3)، عدم پیچیدگی (SC4)، فضای مورد نیاز (SC5)، قابلیت توسعه (SC6)،

قابلیت اعتماد کارایی سیستم (SC7)، سازگاری با کمیت و کیفیت آب خام (SC8)، نرخ بازیافت آب (SC9) و کیفیت آب تصفیه شده (SC10) منظور گردید. لازم به ذکر است که به دلیل گستردگی معیارهای اقتصادی، هر یک از زیر معیارهای هزینه های اجرایی و هزینه های بهره برداری به زیرمعیارهای کوچکتری (عوامل) از قبیل هزینه انرژی (SSC2)، هزینه نگهداری (SSC4)، هزینه مواد شیمیایی (SSC6)، هزینه پرسنلی (SSC7)، هزینه ساخت (SSC1)، هزینه تجهیزات (SSC3) و قیمت زمین (SSC5) تفکیک گردید. پس از تعیین گزینه ها، معیارها، زیرمعیارها و عوامل، سلسله مراتب تصمیم گیری مطابق شکل ۳ ایجاد شد.

نتایج و بحث

ارزش نسبی معیارها، زیرمعیارها و عوامل

در جدول ۴، ماتریس مقایسه زوجی معیارهای فنی، اقتصادی و زیست محیطی نشان داده شده است. با توجه به این که تأمین آب آشامیدنی سالم (علی رغم جنبه های اقتصادی و زیست محیطی روش‌های نمک زدایی) مهم ترین نیاز کلیه جوامع انسانی است، لذا جنبه‌های فنی موضوع از قبیل سازگاری با کمیت و کیفیت آب خام، نرخ بازیافت آب، عدم پیچیدگی، خدمات پس از فروش، عدم وابستگی به کشورهای خارجی، قابلیت توسعه و قابلیت اعتماد کارایی سیستم از اهمیت ویژه ای برخوردار است. لذا بر مبنای نظر کارشناسان امر، شاخص فنی نسبت به سایر شاخص ها حائز وزن بیشتری شده است. از طرف دیگر مسائل زیست محیطی مرتبط با کاربرد روش های نمک زدایی گسترده نبوده و اکثر آن ها با اعمال روش های مدیریتی، قابل کنترل می باشند، لذا نسبت به معیارهای اقتصادی و فنی، وزن کمتری را دارا می باشد.



شکل ۳ - سلسله مراتب مسئله انتخاب بهترین فرآیند نمک زدایی

جدول ٤ - ماتریس مقایسه زوجی معیارهای انتخاب بهترین فرآیند نمک زدایی

معیار	C1	C2	C3
C1	(1 , 1 , 1)	(5/4 , 7/4 , 9/4)	(1 , 3/2 , 2)
C2	(4/9 , 4/7 , 4/5)	(1 , 1 , 1)	(2/3 , 1 , 2)
C3	(1/2 , 2/3 , 1)	(1/2 , 1 , 3/2)	(1 , 1 , 1)

جهت محاسبه وزن نسبی معیارها و نیز تعیین سهم هر یک از آن‌ها در انتخاب بهترین گزینه نمک زدایی از روابط ۱ تا ۷ به صورت ذیل استفاده گردید:

$$C1 = (3.25,4.25,5.25) \otimes (\frac{1}{12.55}, \frac{1}{9.49}, \frac{1}{7.36}) = (0.259,0.448,0.713)$$

$$C2 = (2.11,2.57,3.8) \otimes (\frac{1}{12.55}, \frac{1}{9.49}, \frac{1}{7.36}) = (0.168,0.271,0.516)$$

$$C3 = (2,2.67,3.5) \otimes (\frac{1}{12.55}, \frac{1}{9.49}, \frac{1}{7.36}) = (0.159,0.281,0.476)$$

$$V(C1 \geq C2) = 1 \qquad V(C1 \geq C3) = 1$$

$$V(C3 \geq C2) = 0.57 \qquad V(C3 \geq C1) = 1$$

$$V(C2 \geq C1) = 0.59 \qquad V(C2 \geq C3) = 0.97$$

با توجه به درجات امکان محاسبه شده برای هر معیار خواهیم داشت:

$$W' = (w'_{C1}, w'_{C2}, w'_{C3}) = (1,0.57,0.59)$$

پس از نرمال کردن W'، وزن معیارها به صورت ذیل بدست می آید.

$$W = (0.463,0.264,0.273)^T$$

بدین ترتیب، بر اساس مقایسات زوجی انجام شده، وزن معیارهای فنی، اقتصادی و زیست محیطی به ترتیب معادل ۰/۴۶۳، ۰/۲۶۴ و ۰/۲۷۳ به دست آمده است. به طور مشابه، وزن نسبی هر یک از زیرمعیارها و عوامل، پس از انجام مقایسات زوجی، با استفاده از روابط مذکور محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۵ خلاصه شده است.

جدول ۵ - وزن نسبی زیرمعیارها و عوامل مورد استفاده در فرآیند انتخاب بهترین روش نمک زدایی

زیر معیار	وزن نسبی	زیرمعیار	وزن نسبی	عامل	وزن نسبی
SC1	۰/۱۲	SC8	۰/۱۹	SSC1	۰/۱۲
SC2	۰/۰۲	SC9	۰/۱۶	SSC2	۰/۳۸
SC3	۰/۱۱	SC10	۰/۱۷	SSC3	۰/۸۸
SC4	۰/۰۸	SC11	۱/۰۰	SSC4	۰/۳۴
SC5	۰/۰۰	SC12	۰/۰۰	SSC5	۰/۰۰
SC6	۰/۰۴	SC13	۰/۵۰	SSC6	۰/۰۰
SC7	۰/۱۱	SC14	۰/۵۰	SSC7	۰/۲۸

جدول ٦ - وزن نسبی گزینه ها نسبت به زیرمعیارها و عوامل

معیار	زیرمعیار یا عامل	RO	ED	MSF	MED	VC	IE
C1	SC1	۰/۳۴۱	۰/۲۴۲	۰/۰۵۸	۰/۰۶۵	۰/۰۳۴	۰/۲۵۹
	SC2	۰/۲۶۵	۰/۱۴۶	۰/۱۳۳	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	۰/۱۶۴
	SC3	۰/۳۱۸	۰/۱۹۷	۰/۱۱۸	۰/۱۲۱	۰/۰۹۲	۰/۱۵۳
	SC4	۰/۲۱۸	۰/۱۱۲	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۲۰۱	۰/۳۴۰
	SC5	۰/۳۱۳	۰/۳۰۱	۰/۰۰۰	۰/۱۱۹	۰/۰۰۰	۰/۲۶۶
	SC6	۰/۲۳۱	۰/۱۴۵	۰/۱۵۵	۰/۱۴۵	۰/۱۵۷	۰/۱۶۶
	SC7	۰/۲۸۶	۰/۱۳۱	۰/۱۲۶	۰/۱۶۳	۰/۱۶۳	۰/۱۳۱
	SC8	۰/۳۳۵	۰/۵۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۶۵
	SC9	۰/۱۹۶	۰/۲۸۴	۰/۱۰۷	۰/۰۶۸	۰/۱۰۸	۰/۲۳۶
	SC10	۰/۱۲۹	۰/۰۰۰	۰/۲۹۳	۰/۲۸۴	۰/۲۹۳	۰/۰۰۰
C2	SC11	۰/۲۰۹	۰/۳۲۳	۰/۱۱۳	۰/۱۱۳	۰/۰۸۱	۰/۱۶۱
	SC12	۰/۲۲۴	۰/۱۹۷	۰/۰۹۶	۰/۱۵۹	۰/۱۲۶	۰/۱۹۷
C3	SSC1	۰/۴۲۴	۰/۲۱۶	۰/۰۴۲	۰/۱۰۲	۰/۰۴۲	۰/۱۷۴
	SSC2	۰/۲۲۳	۰/۲۶۶	۰/۰۸۸	۰/۰۵۸	۰/۰۰۰	۰/۳۶۵
	SSC3	۰/۳۰۴	۰/۱۹۵	۰/۰۴۹	۰/۱۵۲	۰/۱۳۱	۰/۱۷۰
	SSC4	۰/۰۶۵	۰/۰۰۰	۰/۳۵۰	۰/۱۸۳	۰/۳۸۰	۰/۰۲۲
	SSC5	۰/۳۳۱	۰/۳۰۵	۰/۰۷۳	۰/۰۲۶	۰/۰۲۸	۰/۲۳۵
	SSC6	۰/۳۳۹	۰/۱۸۰	۰/۱۲۲	۰/۱۲۲	۰/۱۲۲	۰/۱۱۵
	SSC7	۰/۲۰۵	۰/۲۳۹	۰/۱۶۲	۰/۰۹۸	۰/۰۸۸	۰/۲۰۸

بر اساس محاسبات انجام شده، پس از بازبینی ماتریس های مقایسه زوجی ناسازگار و وزن دهی مجدد، حداکثر نرخ ناسازگاری ماتریس های مقایسه زوجی معیارها، زیرمعیارها و عوامل معادل ۰/۰۶۵ (کمتر از ۰/۱) به دست آمده است لذا قضاوت های انجام گرفته سازگار بوده و استفاده از آن ها در ادامه فرآیند انتخاب بلامانع است. همان طور که از مقادیر ارائه شده در جدول ۵ بر می آید، وزن نسبی برخی از زیرمعیارها و عوامل معادل صفر به دست آمده است که این مسئله نشان دهنده اهمیت بسیار کم این زیرمعیارها و عوامل نسبت به سایر زیرمعیارهای و عوامل است.

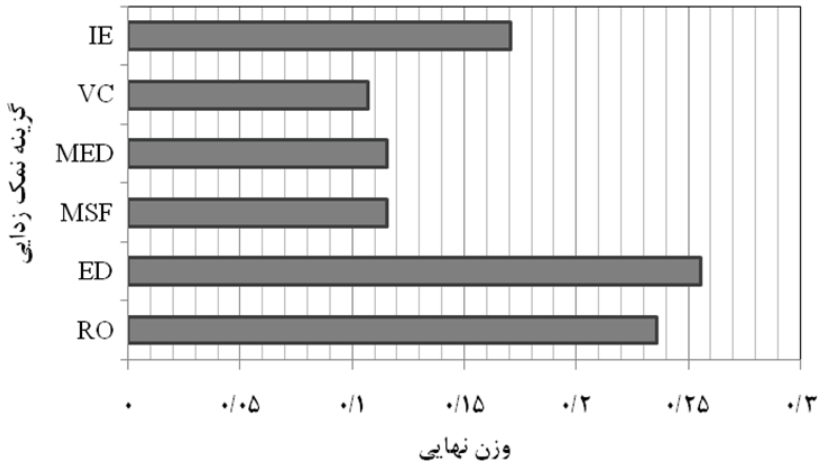
وزن نسبی گزینه ها

پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی گزینه ها، وزن نسبی هر یک از روش های نمک زدایی محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

در مقایسه زوجی گزینه ها نسبت به زیرمعیارها و عوامل، حداکثر نرخ سازگاری معادل ۰/۰۸۲ (کمتر از ۰/۱) به دست آمد. لذا می توان چنین نتیجه گرفت که مقایسه های زوجی انجام گرفته منطقی و قابل قبول هستند.

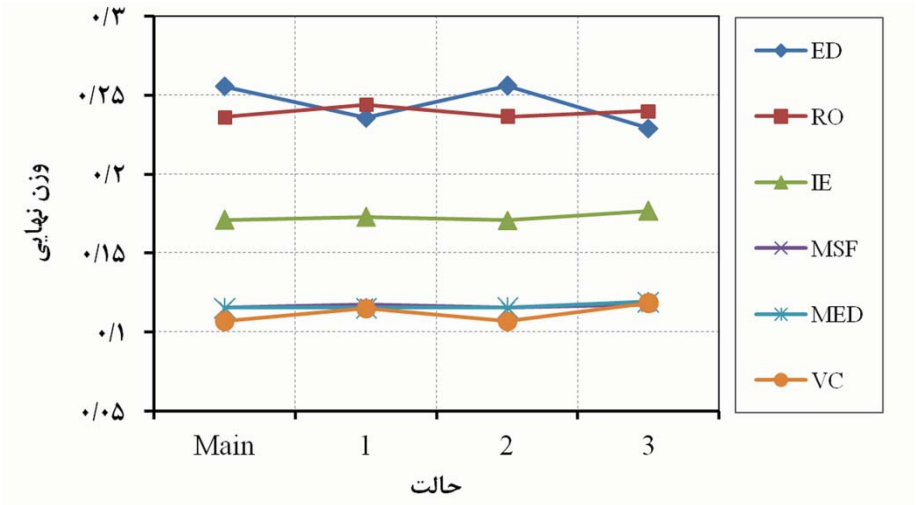
وزن نهایی و انتخاب گزینه برتر نمک زدایی

وزن نهایی به دست آمده برای هر گزینه که در واقع از ترکیب خطی وزن های نسبی گزینه ها، معیارها، زیرمعیارها و عوامل محاسبه می گردد، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ٤ - وزن نهایی گزینه ها نسبت به کلیه معیارها، زیرمعیارها و عوامل

(RO: اسمز معکوس، ED: الکترودیالیز، MSF: تقطیر ناگهانی، MED: تقطیر چند مرحله ای، VC: تراکم بخار، IE: تبادل یونی)



شکل ۵ - نتیجه تحلیل حساسیت مدل تصمیم گیری

همان طور که از نمودار مذکور بر می آید روش الکترودیالیز (ED) با وزن نهایی ۰/۲۵۵ به عنوان گزینه برتر معرفی می گردد. این در حالی است که سایر فرآیندهای نمک زدایی شامل اسمز معکوس، تبادل یونی، تقطیر چند مرحله، تقطیر ناگهانی و تراکم بخار، به ترتیب رتبه های دوم تا ششم را به خود اختصاص داده اند. لذا می توان چنین نتیجه گرفت که استفاده از فرآیندهای غشایی برای تصفیه آب‌های لب شور زیرزمینی در مقایسه با سایر فرآیند ها مناسب تر است. نتیجه به دست آمده در این تحقیق با نتیجه ارزیابی نمونه های اجرایی در نقاط مختلف کشور و جهان و یافته های سایر محققین نسبتاً مشابه است. هجیه (۱۲) با ارزیابی سیستم های مختلف نمک زدایی به کمک تحلیل سلسله مراتبی فازی نشان داد که روش غشایی اسمز معکوس نسبت به سایر روش های نمک زدایی برای تصفیه آب دریا مناسب تر است. نتیجه مطالعه محسن و الجیوسی (۱۷) نیز دلالت بر آن داشت که از نقطه نظر معیارهای فنی، اقتصادی و زیست محیطی سیستم های نمک زدایی غشایی گزینه ای مناسب تر در تصفیه آب های لب شور زیرمینی است.

تحلیل حساسیت

یکی از مهم ترین شاخص های قضاوت در ارتباط با صحت نتایج مدل ارائه شده، استفاده از تحلیل حساسیت است. در تحلیل حساسیت تأثیر جا به جایی وزن معیارها بر تغییر رتبه بندی گزینه ها مورد ارزیابی قرار می گیرد. برای این منظور وزن هر معیار با وزن سایر معیارها به صورت دو به دو جا به جا شده و با محاسبه وزن نهایی گزینه ها، تغییرات صورت گرفته در رتبه بندی نهایی آن ها مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل ارائه شده برای انتخاب بهترین فرآیند نمک زدایی در شکل ۵ آمده است.

همان طور که ملاحظه می گردد با جا به جایی وزن معیارهای فنی و زیست محیطی (حالت ۳) و نیز جا به جایی وزن شاخص های فنی و اقتصادی (حالت ۱)، فرآیند اسمز معکوس در مقایسه با فرآیند الکترودیالیز، با اختلافی معادل ۰/۰۱، در رتبه نخست قرار می گیرد.

با توجه به تحلیل حساسیت انجام گرفته می توان چنین نتیجه گیری کرد که مدل تصمیم گیری ارائه شده نسبت به جا به جایی وزن ها حساس نیست.

نتیجه گیری

در مقاله حاضر یک مدل تصمیم گیری مبتنی بر رویکرد فازی برای رتبه بندی گزینه های مختلف نمک زدایی ارائه شده است. برای این منظور، در ابتدا با استفاده از نظر کارشناسان و محققین و جمع بندی نتایج پرسشنامه ای، معیارها، زیرمعیارها و گزینه های مهم در فرآیند انتخاب بهترین روش نمک زدایی تعیین شد. در ادامه با استفاده از تحلیل توسعه ای چانگ گزینه های مختلف بر اساس معیارها، زیرمعیارها و عوامل مذکور مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل مذکور سپس در یک مطالعه مورد در ارتباط با برخی از منابع آب زیرزمینی شهر تربت حیدریه اعمال گردید. با توجه به نتایج محاسبات انجام شده وزن نسبی معیارهای فنی، اقتصادی و زیست محیطی در رتبه بندی گزینه ها به ترتیب معادل ۰/۴۶۳، ۰/۲۶۴ و ۰/۲۷۳ بوده است. نتایج به دست آمده همچنین دلالت بر این داشت که فرآیند الکترودیالیز با وزن نهایی ۰/۲۵۵، مناسب ترین روش نمک زدایی از آب های زیرزمینی شهر تربت حیدریه است. نتایج به دست آمده در این تحقیق با نتایج ارزیابی نمونه های اجرایی در نقاط مختلف کشور و جهان و یافته های سایر محققین مشابهت قابل توجهی را دارد. تحلیل حساسیت انجام شده نیز نشان داد که مدل تصمیم گیری ارائه شده نسبت به جا به جایی وزن ها حساس نیست. به همین جهت فرآیند تحلیل سلسه مراتبی فازی می تواند به عنوان ابزاری مناسب در نظام مند کردن تصمیم گیری های کلان در مدیریت کیفی منابع آب مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت مادی و معنوی شرکت آب و فاضلاب خراسان رضوی قدردانی می گردد.

منابع

۱- اصغر پور م. ج. ۱۳۸۵. تصمیم گیری چند معیاره. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۱۲ صفحه.
۲- دانش ش. ۱۳۸۸. بررسی راه های کاهش کلرور سدیم از منابع آب بهارستان تربت حیدریه. کمیته تحقیقات شرکت آب و فاضلاب خراسان رضوی، ۱۲۴ صفحه.
۳- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۱۳۸۸. ویژگی های آب آشامیدنی (استاندارد ۱۵۰۳). چاپ پنجم (با تجدید نظر).
4- Al Radif A. 1999. Integrated water resources management (IWRM): an approach to face the challenges of the next century and to avert future crises. Desalination, 124(1-3):145-153.
5- American Water Works Association (AWWA). 2004. Water Desalting: Planning Guide for Water Utilities. John

Wiely and Sons, New Jersey.
6- Chang D.Y. 1992. Extent analysis and synthetic decision. Optimization Techniques and Applications, 1:352.
7- Chang D.Y. 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3):649-655.
8- Chen Y.C., Lien H.P., and Tzeng G.H. 2010. Measures and evaluation for environment watershed plans using a novel hybrid MCDM model. Expert Systems with Applications, 37(2):926-938.
9- Chen V.Y.C., Lien H.P., Liu C.H., Liou J.J.H., Tzeng G.H., and Yang L.S. 2011. Fuzzy MCDM approach for selecting the best environment-watershed plan. Applied Soft Computing, 11(1):265-275.
10- Chung E.S., and Lee K.S. 2009. Prioritization of water management for sustainability using hydrologic simulation model and multicriteria decision making techniques. Journal of Environmental Management, 90(3):1502-1511.
11- Hajeeh M.A., and Al-Othman A. 2005. Application of the analytical hierarchy process in the selection of desalination plants. Desalination, 174:97-108.
12- Hajeeh M.A. 2010. Water desalination plants performance using fuzzy multi-criteria decision making. WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS, 9(4):422-431.
13- Hwang C.L., and Yoon K. 1981. Multiple Attribute Decision Making Methods and Application. Springer-Verlag, New York.
14- Kahraman C., Cebeci U., and Ruan D. 2004. Multi-attribute comparison ofcatering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. Int. J. Production Economics, 87:171-184.
15- Mezher T., Fath H., Abbas Z., and Khaled A. 2011. Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies. Desalination, 266:263-273.
16- Michelle K.W., Brian K.O., Chris B.C., and David L. 2008. Estimating the cost of desalination plants using a cost database. Desalination, 229:10-20.
17- Mohsen M.S., and A1-Jayyousi O.R. 1999. Brackish water desalination: an alternative for water supply enhancement in Jordan, Desalination, 124:163-174.
18- Ozelkan E.C., and Duckstein L. 1996. Analysing Water Resources Alternatives and Handling Criteria by Multi Criterion Decision Techniques. Journal of Environmental Management, 48(1):69-96.
19- Tsiourtis N.X. 2001. Desalination and the environment, Desalination, 141:223-236.
20- Van Laarhoven P.J.M., and Pedrycz W. 1983. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. Fuzzy Sets and Systems, 11:229-241.
21- Wang S.Q., Huang G.H., and Li Y.P. 2010. An integrated scenario-based multi-criteria decision support system for water resources management and planning - A case study in the Haihe River Basin. Expert Systems with Applications, 37(12):8242-8254.
22- Wang T.C., and Chen Y.H. 2007. Applying consistent fuzzy preference relations to partnership selection. International Journal of Management Science, 35:384-388.
23- Zadeh L.A. 1965. Fuzzy sets. Information and Control, 8:338-353.
24- Zadeh L.A. 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Information Sciences, 8:199-249(I), 301-357(II).

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.4, Sept.-Oct. 2012, p. 999-1009

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۱، ص. ۱۰۰۹-۹۹۹

Application of Fuzzy Analytical Hierarchy Process in Determining the Optimum Alternative of Brackish water Desalination

S.A. Ghassemi[1] **- Sh. Danesh**[2*]

Received: 30-11-2011
Accepted: 10-6-2012

Abstract

In this research a fuzzy decision making model was presented to assess and rank various water desalination methods and ultimately select the best alternative. The desalination alternatives which were investigated included Reverse Osmosis, Electrodialysis, Multi-Stage Flash Distillation, Multi-Effect Distillation, Vapor Compression and Ion Exchange. The model was carried out in three steps: problem definition, fuzzy computations and ranking of alternatives. The hierarchy structure used for problem definition included 5 levels of: goal, main criteria, sub-criteria, factors, and desalination alternatives. The criteria, sub-criteria and factors and the relative importance of each were determined based on the experts' opinions and the literature results. In the next step, by using Chang's extent analysis, various desalination alternatives were evaluated on the basis of the selected criteria, sub-criteria and factors. For assessment of accuracy and its practical application, the model was used in a case study concerning quality management of the brackish water from a number of wells located in the City of Torbat-e-Heydaryieh. The results of the research indicated that the Electrodialysis process, with the final weight of 0.255, was the best method of desalination for the investigated wells. The sensitivity analysis also showed that the fuzzy model has a low degree of sensitivity in regard to the changes in criteria weights, meaning that the results are adequately reliable. The results furthermore pointed out that the fuzzy analytical hierarchy process can be used as an efficient tool for systematic decision making in the area of qualitative water resource management.

Keywords: Groundwater Resource Management, Saline and Brackish Water, Multi Criteria Decision Making Methods, Fuzzy Logic

1,2- Former MSc Student and Associate Professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
(*-Corresponding Author Email: sdanesh@ferdowsi.um.ac.ir)