

رتبه بندی راهبرد های مدیریت مصرف آب در شبکه های توزیع آب شهری با استفاده از روش تصمیم گیری چند شاخصه فازی

Ranking of water consumption management strategies in urban water distribution networks using a fuzzy multi-indicator decision-making method (MADM)

علی نورمحمدی^{1*}، مهدی فضیلتی²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران alinormohamadi031@gmail.com

2- عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات توسعه پایدار در مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران Fazilti2001@yahoo.com

چکیده

آب یکی از چهار عنصر بنیادی حیات جامعه بشری از زمان های قدیم محسوب شده و گنجینه مشترک بین انسان ها است. همچنین یکی از چالش های قرن حاضر بشریت است که میتواند سر منشا بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان قرار گیرد. راهبردهای مدیریت مصرف آب شامل مجموعه ای از راهبردها که با هدف صرفه جویی در مصرف و برقراری تعادل منطقی و پایدار میان عرضه و تقاضای آب می باشد. مقاله به بررسی شهر تهران و روستاهای استان مرکزی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) پرداخته است، برای تشکیل ماتریس تصمیم گیری چهار راهبرد: استفاده از ابزارآلات کاهنده مصرف، کاهش مصارف مجاز آب بدون درآمد، افزایش آب به فرهنگ سازی در بین مصرف کنندگان و پنج شاخص: هزینه اجرای راهبرد، میزان رضایت مشترکین از اجرای راهبرد، میزان تأثیر اجرای راهبرد در کاهش آب بدون درآمد، میزان تأثیر اجرای راهبرد در کاهش مصرف، مدت زمان لازم برای اجرای راهبرد. در نتیجه بررسی ها و محاسبات در شهر تهران راهبرد کاهش آب بدون درآمد و در روستاهای استان مرکزی استفاده از ابزارآلات کاهنده مصرف به عنوان مناسب ترین راهبرد شناخته شده اند.

کلمات کلیدی: مدیریت مصرف آب، تحلیل سلسله مراتبی

فازی، ماتریس تصمیم گیری، تجهیزات کاهنده مصرف، کاهش

آب بدون درآمد

1-مقدمه

زندگی در مناطق خشک و کویری جهان تا حدود زیادی به وجود آب های زیر زمینی بستگی دارد که منبع اصلی تامین آب شرب است. سفره های آب زیر زمینی در ایران و بسیاری از کشورهای دارای اقلیم مشابه به عنوان مهم ترین منابع تامین کننده آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب می باشد. منابع آب زیر زمینی حدود 0/6 درصد از کل منابع آب و 60 درصد از منابع آب تجدید پذیر قابل دسترس را به خود اختصاص می دهند. به علت عوامل مختلفی از جمله افزایش جمعیت، افزایش شهرنشینی، تغییرات اقلیمی و عدم مدیریت مناسب منابع آب، گسترش بی رویه فعالیت های اقتصادی، اجتماعی، بالا رفتن استانداردهای زندگی و تغییر در الگوی مصرف باعث افزایش تقاضا در سطح جهانی گردیده است. مصرف جهانی آب در 40 سال گذشته دو برابر شده و پیش بینی می شود که تا سال 2025، پنجاه تا شصت درصد مردم جهان با تنش کم آبی و مشکلات ناشی از آن روبه رو شوند. بحران آب در ایران مانند بسیاری از کشورهای جهان به عنوان مسئله ای جدی مطرح است چرا که ایران با متوسط نزولات جوی 260 میلی متر در سال از کشورهای خشک و نیمه خشک محسوب می شود و در منطقه ای به نام مثلث تشنگی قرار گرفته است. در نتیجه دارای منابع آب محدود است که این مقدار کم توزیع مکانی ناهمگن دارد به طوری که فقط 1 درصد از مساحت ایران بارشی بیش از 1000 میلی متر دارد. در حالی که 28 درصد از سطح کشور بارش سالیانه کمتر از 100 میلی متر دارد. از 415

میلیارد متر مکعب نزولات سالانه در ایران حدود 70 درصد آن تبخیر می‌شود و همچنین میزان هدر رفت آب شرب 31 درصد است که این یعنی 4 برابر نرم جهانی هدر رفت آب به همین منظور در اکثر نقاط دنیا، تمرکز رویکرد مدیریتی به میزان قابل توجهی از مدیریت عرضه به مدیریت تقاضا تغییر نموده است.^[9] مجموعه‌ای از راهبردها که با هدف کاهش مصرف آب و برقراری یک تعادل منطقی و پایدار بین عرضه و تقاضای آب طراحی و اجرا می‌شوند، راهبردهای مدیریت مصرف آب نامیده می‌شوند. در این راهبردها، تلاش بر این است که با استفاده از تجهیزات کاهنده مصرف، افزایش آگاهی مصرف کنندگان، به کارگیری ابزارهای قانونی و تعرفه‌ای و همچنین رویکردهای مدیریتی بهینه، آب را از یک کالای مصرفی به یک کالای ارزشی تبدیل نمایند. روش‌های مختلفی برای مدیریت مصرف آب به صورت مجزا و یا ترکیبی از سوی مدیران شبکه‌های توزیع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، این روش‌ها عبارتند از: مدیریت و کاهش مصرف مجاز آب بدون درآمد، استفاده از لوازم و شیرآلات کاهنده مصرف، فرهنگ سازی (از طریق اجرای برنامه‌های آموزشی و تبلیغاتی) و افزایش بهای آب. آشکار است هر یک از روشهای فوق در صورتی که زمینه‌ساز به مناسبی انجام شده باشد، می‌تواند تا حدودی در کاهش مصرف مؤثر باشد. اما هزینه‌ها، زمان اجرا، میزان اثرگذاری و فرآیند تأثیر هر یک متفاوت خواهد بود اما هزینه‌ها، زمان اجرا، میزان اثرگذاری و فرآیند هر یک متفاوت خواهد بود.^[3]

2- ماتریس تصمیم‌گیری

برای اولویت بندی راهبردها، در ابتدا لازم است که ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل شود، لذا در گام اول راهبردها و شاخص‌های مورد نظر مشخص می‌شوند. در گام دوم به منظور مشخص کردن امتیاز هر راهبرد از هر شاخص، از تصمیم‌گیرندگان گروهی استفاده می‌شود. روشن است که در فرآیند اولویت‌بندی و تصمیم‌گیری، ممکن است تمامی شاخص‌ها به یک اندازه از اهمیت مستفیض نباشند.^[3]

3- انتخاب تصمیم‌گیرندگان

برای استفاده از تصمیم‌گیری گروهی در روش تحلیل سلسله مراتبی، استفاده از تصمیم‌گیرندگان مناسب از مهم‌ترین الزامات دستیابی به نتایج بهینه و قابل استناد است.^[8] به این منظور پرسشنامه‌ای طراحی و بین افراد دارای صلاحیت (جمعاً چهارده نفر، مدیران آب و فاضلاب) منطقه مربوطه توزیع می‌شود و طی سوال‌های امتیازاتی بین 1 تا 5 به هر راهبرد از حیث هر شاخص توسط آنها داده می‌شود. در نهایت میانگین امتیازات این 14 نفر محاسبه و در ماتریس تصمیم‌گیری لحاظ شده و بدین صورت ماتریس مذکور تشکیل می‌شود.^[3]

3-1- شاخص‌ها و معیارها

شاخص‌های اصلی عبارت‌اند از: هزینه اجرای راهبرد؛ مدت زمان لازم برای اجرای راهبرد؛ میزان رضایت مشترکین از اجرای راهبرد؛ میزان تأثیر اجرای راهبرد در کاهش مصرف؛ میزان تأثیر اجرای راهبرد در کاهش آب بدون درآمد و راهبردها عبارتند از: فرهنگ سازی؛ استفاده از ابزار آلات کاهنده مصرف؛ افزایش آب‌بها؛ کاهش مصارف مجاز آب بدون درآمد^[4-5].

4-1- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

در روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی با استفاده از مقیاس ارائه شده در جدول 1 مقایسه شده و وزن آنها محاسبه می‌شود. نتیجه این مقایسه‌ها تعدادی ماتریس است که به آنها ماتریس مقایسه زوجی گفته می‌شود.^[2]

(جدول 1- مقیاس مورد استفاده برای انجام مقایسات زوجی)^[2]

مقدار عددی	ترجیحات
9	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم تر و یا کاملاً مطلوب تر
7	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
5	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
3	کمی مرجح یا کمی مهم تر یا کمی مطلوب تر
1	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
2,4,6,8	ترجیحات بین فواصل فوق

با توجه به این که قضاوت‌های انسانی کاملاً سازگار نیست. برای اطلاع از میزان اعتبار قضاوت‌های صورت گرفته باید نرخ ناسازگاری نظرها محاسبه شوند تا در صورتی که میزان ناسازگاری از حد مجاز بیشتر باشد، در قضاوت‌ها تجدید نظر صورت گیرد.^[9]

برای محاسبه نرخ ناسازگاری هر ماتریس مقایسه زوجی باید مراحل زیر طی شود:^[9]

الف) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی

ب) محاسبه بردار وزن ماتریس

ج) تعیین بزرگترین مقدار ویژه ماتریس

د) محاسبه مقدار شاخص ناسازگاری

ه) محاسبه نرخ ناسازگاری

5-انجام محاسبات^[3-4]

(جدول 2-ماتریس تصمیم‌گیری)^[3-4]

	شاخص 1	شاخص 2		شاخص 5
راهبرد 1	x_{11}	x_{12}		x_{15}
راهبرد 2	x_{21}	x_{22}		x_{25}
....				
راهبرد 4	x_{41}	x_{42}		x_{45}
مجموع هر ستون	$\sum_{i=1}^4 x_{i1}$	$\sum_{i=1}^4 x_{i2}$		$\sum_{i=1}^4 x_{i5}$

(جدول 3- ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده)^[3-4]

	شاخص 1	شاخص 2	...	شاخص 5
راهبرد 1	$\frac{x_{11}}{\sum_{i=1}^4 x_{i1}} = p_{11}$	$\frac{x_{12}}{\sum_{i=1}^4 x_{i1}} = p_{12}$	...	$\frac{x_{15}}{\sum_{i=1}^4 x_{i1}} = p_{15}$
راهبرد 2	$\frac{x_{21}}{\sum_{i=1}^4 x_{i1}} = p_{21}$	$\frac{x_{22}}{\sum_{i=1}^4 x_{i1}} = p_{22}$	...	$\frac{x_{25}}{\sum_{i=1}^4 x_{i1}} = p_{25}$
...	...	...	...	...
راهبرد 4	$\frac{x_{41}}{\sum_{i=1}^4 x_{i1}} = p_{41}$	$\frac{x_{42}}{\sum_{i=1}^4 x_{i1}} = p_{42}$	...	$\frac{x_{45}}{\sum_{i=1}^4 x_{i1}} = p_{45}$

(جدول 4- میزان آنتروپی شاخص‌ها)^[3-4]

	شاخص 1	شاخص 2	...	شاخص 5
راهبرد 1	$p_{11} * \ln p_{11}$	$p_{12} * \ln p_{12}$	...	$p_{15} * \ln p_{15}$
راهبرد 2	$p_{21} * \ln p_{21}$	$p_{22} * \ln p_{22}$	...	$p_{25} * \ln p_{25}$
...	...	...	...	...
راهبرد 4	$p_{41} * \ln p_{41}$	$p_{42} * \ln p_{42}$	...	$p_{45} * \ln p_{45}$
مجموع هر ستون	$\sum_{i=1}^4 [P_{i1} * \ln p_{i1}]$	$\sum_{i=1}^4 [P_{i2} * \ln p_{i2}]$	...	$\sum_{i=1}^4 [P_{i5} * \ln p_{i5}]$
E _j	$-\frac{1}{\ln 4} \sum_{i=1}^4 [p_{i1} * \ln p_{i1}] = E_1$	$-\frac{1}{\ln 4} \sum_{i=1}^4 [p_{i2} * \ln p_{i2}] = E_2$	...	$-\frac{1}{\ln 4} \sum_{i=1}^4 [p_{i5} * \ln p_{i5}] = E_5$

(جدول 5-درجه انحراف از معیار)^[3-4]

مجموع انحراف شاخص‌ها	شاخص 5	...	شاخص 2	شاخص 1	
$\sum_{j=1}^5 d_j$	$1 - E_5 = d_5$	...	$1 - E_2 = d_2$	$1 - E_1 = d_1$	D_j

(جدول 6-وزن شاخص‌ها)^[3-4]

شاخص 5	...	شاخص 2	شاخص 1	
$\frac{d5}{\sum_{j=1}^5 d_j} = W5$	...	$\frac{d2}{\sum_{j=1}^5 d_j} = W2$	$\frac{d1}{\sum_{j=1}^5 d_j} = W1$	W_j

6-نتایج بدست آمده از ماتریس^[1-2-3]

6-1-جدول 1 ماتریس تصمیم‌گیری مسئله مربوط به مدیریت مصرف آب در روستاهای استان مرکزی را که بر اساس میانگین امتیازاتی که برحسب نظرات کارشناسان بدست آمده است را نشان می‌دهد.

(جدول 7-ماتریس تصمیم‌گیری مربوط به راهبردهای مدیریت مصرف آب شرب روستاهای استان مرکزی)^[3-4]

شاخص‌ها	راهبردها	هزینه اجرای راهبرد	مدت زمان لازم برای اجرای راهبرد	میزان رضایت مشترکین از اجرای راهبرد	تأثیر اجرای راهبرد در کاهش مصرف آب بدون درآمد	تأثیر اجرای راهبرد در کاهش مصرف آب بدون درآمد
فرهنگ‌سازی	3.71	3.71	3.64	3.54	3.50	
استفاده از ابزارآلات کاهنده مصرف	3.00	3.07	3.14	3.36	3.43	
افزایش آب‌بها	3.43	3.00	2.71	3.21	3.36	
کاهش مصارف مجاز آب بدون درآمد	3.00	3.18	2.91	3.09	3.36	

6-2-نمرات مجموع وزنی،محصول وزنی،امتیاز کلی و رتبه نهایی هر راهبرد^[3]

رتبه نهایی	Q_i	$Q_i^{(2)}$	$Q_i^{(1)}$	نمرات راهبرد ها
دوم	0.901	0.898	0.903	فرهنگ سازی
اول	0.934	0.933	0.935	استفاده از ابزارآلات کاهنده مصرف
چهارم	0.853	0.850	0.855	افزایش آب بها
سوم	0.893	0.891	0.895	کاهش مصارف مجاز آب بدون درآمد

در روستاهای استان مرکزی استفاده از ابزارآلات کاهنده مصرف رتبه اول است،باید آموزش هایی در این خصوص به ذی نفعان داده شود.

7-امتیاز طرح ها در حالت تغییر شکل اعداد فازی ذوزنقه شهر تهران^[10-2]

امتیاز	طرح
0.486	فرهنگ سازی
0.434	استفاده از ابزارآلات کاهنده مصرف
0.456	افزایش آب بها
0.491	کاهش مصارف مجاز آب بدون درآمد

7-1-اولویت بندی بدست آمده از روش پیشنهادی شهر تهران

اولویت	امتیاز	طرح
اولویت اول	34	کاهش آب بدون درآمد
اولویت دوم	27	فرهنگ سازی
اولویت سوم	23	افزایش آب بها
اولویت چهارم	15	استفاده از ابزارآلات کاهنده مصرف

8- نتیجه گیری

یکی از اصلی ترین مشکلات شرکت های آب و فاضلاب تأمین آب شرب با شاخص های قابل قبول کمی و کیفی در شرایطی است که بخش عمده ای از کشور ایران تحت شرایط بحرانی آب قرار دارد و بالا بودن سرانه مصرف موجب می شود تعادل تقاضا و آب در دسترس از بین برود. در این شرایط باید مدیریت مصرف را در دستور کار قرار داد. لذا سیاست ها و راهبردهای مدیریت مصرف آب همواره میتواند به عنوان یک ابزار مدرن و دقیق در جهت تأمین اهداف شرکت های آب و فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد.^[6-7]

در این مقاله، الگویی برای انتخاب مناسب ترین راهبرد مدیریت مصرف آب در شبکه های توزیع آب شهری با استفاده از روش های تصمیم گیری چند شاخصه ارائه شده است. همچنین با بهره گیری از نظرهای کارشناسان، اولویت برتر مدیریت مصرف آب برای شهر تهران معرفی شده است. با استفاده از روش های تحلیل حساسیت و تغییر در اوزان اهمیت کارشناسان، چند اولویت بندی مختلف بدست آمد. بکارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی با توجه به کمبود اطلاعات مناسب با توجه به نتایج بدست آمده، یکی از راه های مناسب تصمیم گیری برای انتخاب طرح های بهینه در راستای مدیریت مصرف است. امتیازهای داده شده به طرح ها تنها بر پایه وزن های داده شده توسط تصمیم گیرندگان به وسیله نظرسنجی است و این موضوع، می تواند در برگزیده همان ضعف های تصمیم گیری توسط کارشناسان بدون استفاده از روش های تصمیم گیری و صرفاً با استفاده از تجربیات باشد. اما با استفاده از نظر چند کارشناس به صورت تلفیقی، میتوان دقت تصمیم گیری را افزایش داد و از انتخاب های شخصی پرهیز نمود. برای افزایش دقت نتایج، پیشنهاد می شود تا از نظر کارشناسان بیشتری استفاده شود.

در شرایطی که اطلاعات کمی کافی در دسترس نیست و تصمیم گیرندگان نیز نمیتوانند ارجحیت های خود را بر مبنای قضاوت های کمی و صریح بیان نمایند (مانند مسئله مورد بررسی در تحقیق حاضر)، روش های فازی مانند روش تحلیل سلسله مراتبی فازی ضمن لحاظ کردن اثرهای عدم صراحت های موجود در نظرهای تصمیم گیرندگان، می توانند یک رتبه بندی اولیه از گزینه های موجود را ارائه دهند. این رویکرد در ابتدای امر برنامه ریزی برای اجرای برنامه های مدیریت مصرف آب (که هنوز میزان عدم قطعیت ها قابل توجه است)، میتواند مدیران بخش آب و فاضلاب را در کاهش ابعاد مسئله تصمیم گیری، حذف گزینه های غیر بهینه و دستیابی به مجموعه ای از گزینه های بهینه یاری دهد.^[9-2]

محاسبات نشان داد بهترین راهکار برای مدیریت مصرف آب در شبکه های توزیع آب با استفاده از روش های تصمیم گیری چند شاخصه در شهر تهران ابتدا کاهش آب بدون درآمد سپس فرهنگ سازی در اولویت های بالا قرار دارند، در روستاهای استان مرکز نیز به ترتیب استفاده از ابزار آلات کاهنده مصرف و فرهنگ سازی در رتبه اول و دوم قرار دارند. فرهنگ سازی در هر دو مطالعه از اهمیت بالایی برخوردار است اما لزوماً مهم ترین عامل نیست.^[3-2]

9- مراجع

- [1] احمدلو، ا. و کرمی، آ.، بررسی تاثیر فرهنگ سازی در جامعه بر اصلاح الگوی مصرف آب"، دومین همایش ملی آب، انسان و زمین، شرکت توسعه سازان گردشگری اصفهان. 1394، اصفهان
- [2] تابش، م.، علی باریانی، ا.، متولیان، س.س.، روزبهانی، ع.، و بیگی، س.، رتبه بندی راهبردهای مدیریت مصرف آب در شبکه های توزیع آب شهری با استفاده از روش تصمیم گیری چند شاخصه تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP): مطالعه موردی، شهر تهران، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر 1400، تهران

- [3] عباس جهانگیری، نشریه مهندسی آب و فاضلاب، رتبه بندی راهبردهای مدیریت مصرف در شبکه های توزیع آب شرب با استفاده از تصمیم گیری چند شاخصه، 1398، خمین
- [4] مجید شیخعلی، غلامرضا اسد الله فردی، سید شهاب امامزاده، نشریه مهندسی عمران مدرس، 1399، دانشگاه خوارزمی
- [5] <http://www.amar.org.ir/nofoos1385/default-2505.aspx>. Iranian Center of Statistics, 2006 census results for Tehran province. 2006. (In Persian)
- [6] <http://www.nww.co.ir>. News site of Water and Wastewater Company of Iran. 2010 (In Persian)
- [7] http://www.tpww.co.ir/abfa_content/media/image/2011/02/15069_orig.pdf. 2010. Water and Wastewater Company of Tehran Province, Tehran Water and Wastewater Company's Facilities Report. 2010. (In Persian)
- [8] A., Abrishamchi; A., Ebrahimian; M., Tajrishi; M. A., Marino; Case Study: Application of Multicriteria Decision Making to Urban Water Supply, Journal of Water Resources Planning and Management
- [9] M., Tabesh, E., Ali-Bariany, S. S., Motevallian, A., Roozbahani, S., Beygi, "Prioritization of Water Consumption Management Strategies in Water Distribution Networks Using Multiple Criteria Decision Making Method of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Case Study: Tehran)". Amirkabir J. Civil Eng., 49(1) (2017) 47-55. DOI: 10.22060/ceej.2015.379
- [10] J. J., Buckley; Fuzzy Hierarchical Analysis, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 17, No. 3, pp. 223-247, 1985.