

2nd Asian Conference on Water & Wastewater Management PROCEEDINGS

TEHRAN: I. R. IRAN 8 - 10 , MAY.2001



کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره در مدیریت مصرف آب شهری

علی ابراهیمیان^(۱)، احمد ابریشم‌چی^(۲) و مسعود تجربی^(۳)

چکیده

در این مقاله یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) برای انتخاب بهترین گزینه چگونگی توزیع آب در شهر زاهدان (پس از بهره‌برداری از طرح انتقال آب به این شهر) ارائه شده است. در این راستا، پس از در نظر گرفتن ۸ گزینه و ۱۳ معیار مختلف، مقایسه و رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از روش برنامه‌ریزی سازش (Compromise Programming) انجام شده است. در این روش، عدم قطعیت بطور صریح در نظر گرفته نمی‌شود ولی با انجام تحلیل حساسیت می‌توان این ضعف را تا حدودی جبران کرد. لذا در قسمت ارزیابی گزینه‌ها برای آن دسته از معیارها که بصورت ذهنی (Subjective) برآورد می‌شوند با در نظر گرفتن تغییراتی در سطوح ارزیابی شده معیارها، تحلیل حساسیت جامعی در این زمینه انجام شده است. همچنین به دلیل تعدد مراجع تصمیم‌گیری و امکان‌پذیر نبودن همکاری فشرده بین برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران در چنین مواردی و به منظور تحلیل حساسیت نتایج نسبت به مقدار وزن اهداف، جواب ایده‌آل انتخاب شده و پارامتر توان در برنامه‌ریزی سازش، تحلیل چند معیاره با در نظر گرفتن مقادیر مختلفی برای موارد یاد شده انجام شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که روش برنامه‌ریزی سازش می‌تواند برای انجام قسمتی از مطالعات جامع مدیریت تقاضای آب شهری، مورد استفاده مسئولان و تصمیم‌گیران مربوطه واقع شود. روش ارائه شده در این مقاله، با توجه به شرایط خاص هر منطقه و با در نظر گرفتن تغییراتی در بعضی قسمت‌ها می‌تواند در برنامه‌ریزی آب شهری نقاط دیگر کشور نیز بکار رود.

مقدمه

امروزه شهرها بعنوان کانون‌های اصلی تمرکز جمعیت و بعضاً فعالیتهای صنعتی و کشاورزی و با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی، سیاسی، اجتماعی، فرهنگی و زیست‌محیطی به شدت نیازمند مدیریت منابع آب می‌باشند. برنامه‌ریزی سیستمهای منابع آب مرحله مهمی در مدیریت جامع منابع آب است. عواملی همچون رشد روزافزون تقاضای آب که اغلب در رقابت با یکدیگرند، عدم قطعیت در بسیاری از پارامترها به ویژه منابع آب، اهداف و معیارهای متعدد و تعدد تصمیم‌گیران، برنامه‌ریزی

۱- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

منابع آب را مشکل و پیچیده کرده است. لذا در نیم قرن اخیر جهت مطالعات از تحلیل سنتی سود - هزینه و مدل‌های تک هدفه مربوطه به تحلیل‌های چند هدفه تغییر یافته است. مراجعه به پیشینه مطالعات برنامه ریزی منابع آب نشان می‌دهد که تاکنون قابلیت کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره در بخش‌های متعددی نظیر توسعه منابع آب در حوزه آبریز، طرح درازمدت سیستم‌های تأمین آب، مدیریت آب‌های زیرزمینی و غیره مورد بررسی قرار گرفته است. اما جنبه‌ای از موضوع که شاید تاکنون کمتر مورد بحث واقع شده است مدیریت تقاضای آب و در مقیاس کوچکتر "مدیریت مصرف آب شهری" می‌باشد. شهر زاهدان با مساحتی حدود ۶۰ کیلومتر مربع مرکز استان سیستان و بلوچستان بوده و در شمال این استان قرار دارد. این منطقه دارای آب و هوای بیابانی و نیمه بیابانی می‌باشد. به عبارت دیگر آب و هوای منطقه بطور کلی به صورت خشک و کویری با تابستان‌های بسیار طولانی، گرم و خشک و زمستان‌های کوتاه سرد و خشک، پتانسیل تبخیر بالا و نزولات جوی کم می‌باشد. در حال حاضر آب مورد نیاز شهر زاهدان از سفره آبرفتی داخل و خارج شهر توسط ۳۸ حلقه چاه عمیق تأمین می‌شود. این شهر دارای دو شبکه جداگانه برای توزیع آب بهداشتی (شور) و شرب (شیرین) می‌باشد. شبکه آب بهداشتی این شهر حدود ۳۵ سال قدمت دارد. عمر زیاد شبکه و شوری بیش از حد آب باعث فرسودگی و از بین رفتن شبکه شده است. از طرف دیگر تنها حدود ۶۵ درصد از منازل شهر تحت پوشش این شبکه قرار دارند. شبکه آب شرب نیز بسیار کوچک و محدود بوده و آب شرب این شبکه از طریق شیرهای برداشت عمومی واقع در سطح شهر در اختیار مردم قرار می‌گیرد. نارسائی‌های موجود در این شبکه و کمبود آب در سال‌های اخیر باعث شده تا در بسیاری از مواقع آب این شیرها قطع باشد. لذا اکثر مردم آب شرب مورد نیاز خود را از تانکرهای حامل آب شیرین خریداری می‌نمایند. این تانکرها آب شیرین را از چند حلقه چاه واقع در غرب شهر زاهدان (جاده چشمه زیارت) و جنوب شرقی این شهر (میرجاوه) برداشت و در شهر توزیع می‌کنند. علاوه بر مشکلات بهداشتی ناشی از این روش توزیع آب شرب، آلودگی چاه‌های مذکور نیز اخیراً به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. بنابراین به منظور تأمین آب مورد نیاز شهر زاهدان در سال‌های آتی، پروژه انتقال آب از مخازن چاه نیمه (واقع در ۲۰۰ کیلومتری شمال شرقی زاهدان) به این شهر در دست اجرا قرار گرفته است. با نزدیک شدن به زمان بهره‌برداری از این طرح، مواردی مانند چگونگی توزیع آب بین مصرف‌کنندگان، الگوی تخصیص و مصرف آب در شهر و مشکلاتی که بعد از رسیدن آب به شهر ممکن است رخ دهد (مثل افزایش ناگهانی جمعیت و یا مصرف سرانه) از جمله مسائلی هستند که بیش از پیش نمایان می‌شوند. برنامه‌ریزی برای مواجهه با چنین مسائلی نیازمند انجام مطالعات جامع مدیریت تقاضای آب شهری، قبل از بهره‌برداری از طرح انتقال آب، می‌باشد. در این مقاله چگونگی توزیع آب چاه نیمه‌ها و آب چاه‌های موجود بین مصرف‌کنندگان با استفاده از یک روش پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مراحل انجام کار

روش برنامه ریزی به کار رفته در این مطالعه، شامل شش مرحله به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- شناخت مسأله و تعریف اهداف یا معیارها
- ۲- شناخت و ارزیابی منابع آب موجود و منابعی که در آینده برای تأمین آب شهری مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند
- ۳- برآورد تقاضای آب شهری در طول دوره طرح
- ۴- تولید گزینه‌های فنی برای نحوه توزیع آب در شهر
- ۵- ارزیابی گزینه‌های موجود برحسب معیارهای مختلف (تشکیل ماتریس ارزیابی سیستم برحسب معیارهای مختلف)
- ۶- مقایسه و رده بندی گزینه‌ها در قالب یک تحلیل چندمعیاره و تحلیل حساسیت

نتایج حاصل از مراحل دوم و سوم به تفصیل در مرجع شماره ۱ آمده است. در این مقاله مراحل باقیمانده به طور خلاصه مورد بحث قرار می‌گیرد.

تعریف معیارها

اهداف یا معیارهایی که برای هر مسأله بایستی در نظر گرفته شود به شدت به نوع، ساختار خاص و میزان پیچیدگی آن مسأله بستگی دارد. در این مطالعه با توجه به نوع مسأله و پیچیدگی آن و همچنین شرایط خاص (و گاه منحصر به فرد) شهر زاهدان از نظر جغرافیایی، اجتماعی، سیاسی و پروژه در حال اجرای انتقال آب به این شهر، ۱۳ معیار مختلف برای ارزیابی گزینه‌ها در نظر گرفته شده است. این معیارها که شامل معیارهای اقتصادی، فنی، اجتماعی، سیاسی، بهداشتی و زیست محیطی می‌شوند به شرح زیر می‌باشند:

- ۱- هزینه، ۲- زمان وقوع کمبود آب، ۳- سرعت اجرای طرح، ۴- امکان توسعه طرح در آینده، ۵- کیفیت آب، ۶- حفظ محیط زیست، ۷- انعطاف پذیری طرح، ۸- اشتغالزایی، ۹- اثرات جمعیتی، ۱۰- سطح رضایت مردم (مقبولیت طرح بین عامه مردم)، ۱۱- کنترل تقاضای آب (پایین نگاه داشتن مصرف سرانه)، ۱۲- اثرات بهداشتی، ۱۳- اثرات تبلیغاتی و سیاسی

تولید گزینه‌ها

با توجه به شرایط و محدودیتهای موجود در منطقه و همچنین با در نظر گرفتن نظرات مدیران و مسؤولین بخش آب شهر زاهدان و پیروی از سیاستهای کلی وزارت نیرو در بخش آب شهری در این مرحله ۸ گزینه برای توزیع آب موجود و انتقال یافته در شهر زاهدان در نظر گرفته شده است. این گزینه‌ها به شرح زیر می‌باشند:

- گزینه ۱- احداث یک شبکه جدید توزیع آب (و توزیع آب شرب و بهداشتی از طریق این شبکه)
- گزینه ۲- احداث دو شبکه مجزای جدید برای آب شرب و بهداشتی
- گزینه ۳- احداث شبکه جدید آب شرب و توسعه شبکه موجود آب بهداشتی

گزینه ۴- احداث شبکه کوچک جدید آب شرب (شیرهای برداشت عمومی) و توسعه شبکه موجود آب بهداشتی

گزینه ۵- توسعه دو شبکه موجود

گزینه ۶- احداث شبکه کوچک جدید آب شرب، توسعه شبکه موجود آب بهداشتی و تحویل آب شرب به شهروندان از طریق بطری‌های بسته بندی شده

گزینه ۷- توسعه دو شبکه موجود و تحویل آب شرب به شهروندان از طریق بطری‌های بسته بندی شده

گزینه ۸- توسعه دو شبکه موجود و احداث انشعابات خصوصی آب شرب (انشعابات برتر)

ارزیابی گزینه‌ها

در بین معیارهای ارائه شده، معیارهای هزینه و زمان وقوع کمبود به صورت کمی و بقیه معیارها به صورت کیفی (ذهنی) برآورد می‌شوند. در این قسمت به منظور تحلیل حساسیت نتایج نسبت به مقادیر برآورد شده معیارها برای برخی از معیارهای کیفی (معیارهای ۳ تا ۱۳) با در نظر گرفتن فرضیات مختلف چند مقدار متفاوت برآورد شده است. واحد معیارهای هزینه و زمان وقوع کمبود، "میلیون ریال" و "سال" می‌باشد. برای ارزیابی گزینه‌ها برحسب معیارهای کیفی نیز از اعداد بین ۱ تا ۱۰ استفاده شده است. مقادیر برآورد شده برای معیار زمان وقوع کمبود، نشان دهنده فاصله زمانی وقوع کمبود نسبت به سال ۱۳۸۰ می‌باشد. ریز محاسبات انجام شده و فرضیات در نظر گرفته شده برای ارزیابی گزینه‌ها در مرجع شماره ۱ آمده است.

با توجه به وجود دو حالت مختلف در برآورد گزینه‌ها براساس هر یک از معیارهای شماره ۳ و ۴ و همچنین لحاظ شدن دو حالت اختصاص یا عدم اختصاص یارانه به گزینه‌های ۶ و ۷ (و تغییرات حاصله در مقادیر برآورد شده برخی از معیارها در اثر این امر)، هشت حالت مختلف ($2 \times 2 \times 2 = 8$) برای ارزیابی گزینه‌ها برحسب معیارها وجود دارد. این هشت حالت به صورت هشت ماتریس به اسامی ۱ تا ۸ TAB در نظر گرفته شده‌اند. سطر و ستونهای این ماتریس‌ها به ترتیب نماینده معیارها و گزینه‌های مختلف می‌باشند. لذا هریک از ماتریسهای TAB i ($i=1, \dots, 8$) دارای ابعاد 13×8 می‌باشد. به عنوان نمونه ماتریس ۵ TAB در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. واژه "جهت اولویت" در ستون سوم این جدول نشان دهنده گزینه‌هایی است که از نظر معیار مورد نظر، وضعیت بهتری دارند. به عنوان مثال در حالتی که جهت اولویت معیاری به صورت ">" باشد یعنی هر چه مقدار این معیار برای یک گزینه بزرگتر باشد، این گزینه از وضعیت بهتری نسبت به سایر گزینه‌ها برخوردار است. عکس این مطلب نیز برای نماد "<" صادق است.

جدول ۱ - یک حالت از ماتریس سیستم - معیار

معیارها	واحد	جهت اولویت	گزینه‌ها							
			۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱	میلیون ریال	<	۸۹۳۶۰	۱۷۸۷۲۰	۱۱۵۶۱۰	۳۱۰۲۰	۲۸۶۳۵	۱۳۱۳۹۵	۱۲۹۰۱۰	۲۸۶۳۵
۲	سال	>	۰	۰	۰	۱/۹۷	۱/۹۷	۳/۲۲	۳/۲۲	۰
۳	۱-۱۰	>	۴	۲	۳	۷	۸	۷	۸	۶
۴	۱-۱۰	>	۷	۸	۵	۳	۱	۴	۲	۹
۵	۱-۱۰	>	۴	۷	۶	۳	۲	۹	۸	۵
۶	۱-۱۰	>	۶	۴	۵	۷	۹	۳	۳	۸
۷	۱-۱۰	>	۷	۸	۶	۳	۱	۴	۲	۵
۸	۱-۱۰	>	۴	۶	۵	۲	۱	۷	۷	۳
۹	۱-۱۰	<	۹	۹	۹	۳	۳	۷	۷	۵
۱۰	۱-۱۰	>	۹	۱۰	۸	۴	۳	۶	۵	۱
۱۱	۱-۱۰	>	۳	۵	۵	۷	۷	۹	۹	۴
۱۲	۱-۱۰	>	۵	۷	۶	۳	۱	۹	۸	۲
۱۳	۱-۱۰	>	۱۰	۱۰	۱۰	۵	۵	۸	۸	۱

TABLE 5

مقایسه ورده‌بندی گزینه‌ها

در این مطالعه تحلیل چند معیاره برای بدست آوردن بهترین گزینه با استفاده از دو روش مختلف برنامه‌ریزی سازش انجام شده است. در روش برنامه‌ریزی سازش، با حداقل کردن فاصله مجموعه جوابهای غیرمغلوب از نقطه ایده‌آل، نزدیکترین جواب غیرمغلوب به نقطه ایده‌آل (بر حسب یک معیار فاصله) شناسایی و به عنوان بهترین جواب سازشی پیشنهاد می‌شود. در زیر اصول و فرضیات هر روش مورد اشاره قرار می‌گیرد.

● روش اول

معیار فاصله از ایده‌آل در این روش به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$L_p^j = \left[\sum_{i=1}^I \omega_i^p \left(\left| \frac{f_{i,b} - f_{ij}}{f_{i,b} - f_{i,\omega}} \right| \right)^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad j = 1, \dots, J \quad (1)$$

که در آن:

L_p^j = فاصله گزینه j تا جواب ایده‌آل ($j \in J$)

ω_i = وزن معیار شماره i ($i = 1, \dots, I$)

f_{ij} = مقدار معیار شماره i در گزینه j

$P =$ پارامتر توان که نظر تصمیم‌گیر را منعکس می‌کند ($1 \leq P \leq \infty$)

$f_{i,b} =$ مقدار ایده‌آل جایگزین برای معیار شماره i

$f_{i,w} =$ مقدار ضدایده‌آل جایگزین برای معیار شماره i

از آنجائیکه در اکثر مسائل واقعی (مثل مسأله مورد نظر در این مطالعه) بدلیل پیچیدگی مسأله، تعیین مقادیر ایده‌آل و ضدایده‌آل کار ساده‌ای نیست، لذا بجای این دو مقدار از مقادیر ایده‌آل و ضدایده‌آل جایگزین استفاده می‌شود. این مقادیر از روابط زیر بدست می‌آید:

$$f_{i,b} = f_{ij} \text{ بهترین مقدار } (i=1, \dots, I) \quad (2)$$

$$j \in J$$

$$f_{i,w} = f_{ij} \text{ بدترین مقدار } (i=1, \dots, I) \quad (3)$$

$$j \in J$$

حال، بهترین جواب سازشی از حل مسأله بهینه‌سازی زیر بدست می‌آید:

$$\text{Min } L_p \quad (4)$$

$$j \in J$$

روش برنامه ریزی سازش شامل دو نوع وزن می‌باشد. نخست پارامتر P که نشان دهنده اهمیت انحراف حداکثر از ایده‌آل و دوم وزن w_i که منعکس کننده اهمیت نسبی معیار i - ام می‌باشد. مقادیر این دو پارامتر در هر مسئله بایستی توسط تصمیم‌گیر (یا تصمیم‌گیران) مشخص شود. در مسائل واقعی مدیریت بخش آب شهری (مثل مسأله مورد نظر در این مطالعه) به دلیل تعدد مراجع تصمیم‌گیری در اکثر اوقات امکان همکاری نزدیک بین تحلیل‌گر و تصمیم‌گیر وجود ندارد. در این مطالعه، به دلیل فوق و همچنین به منظور تحلیل حساسیت نتایج نسبت به مقادیر مختلف P و w_i ، تحلیل چند معیاره با در نظر گرفتن سه مقدار ۱، ۲ و ∞ برای P و شش مجموعه مختلف برای وزن معیارها ($W_k, k=1, \dots, 6$) انجام شده است. این مجموعه وزنها به گونه‌ای در نظر گرفته شده‌اند که دامنه وسیعی از سلیقه‌ها و اولویت‌های مورد نظر تصمیم‌گیران مختلف را تحت پوشش قرار دهند. به عبارت دیگر سعی شده است که با نزدیکی هر چه بیشتر این مجموعه‌ها به وزنه‌های مورد نظر هر یک از مراجع واقعی تصمیم‌گیری، حالت "چند تصمیم‌گیرنده" نیز در مسأله لحاظ شود. مجموعه وزنه‌های W_k در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. در این جدول مشاهده می‌شود که مجموع وزنه‌های هر مجموعه برابر ۱۳ یعنی تعداد معیارها می‌باشد. لذا دیگر نیازی به نرمال‌سازی مقادیر این جدول نیست.

جدول ۲ - مجموعه وزنه‌های در نظر گرفته شده (W_k) برای معیارهای مختلف

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	معیارها
۱/۳	۱	۱/۷	۱/۴	۱	۱	۱
۰/۴	۰/۴	۰/۴	۱/۶	۱/۴	۱	۲
۰/۴	۰/۴	۰/۵	۱/۱	۱/۵	۱	۳
۰/۷	۰/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۶	۱	۴
۰/۹	۱/۶	۱/۱	۰/۹	۱/۴	۱	۵
۰/۵	۱/۷	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۱	۶
۰/۵	۰/۵	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱	۷
۱/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۴	۱	۸
۱/۵	۱/۶	۰/۹	۱/۲	۱/۱	۱	۹
۱/۵	۱/۱	۱	۰/۵	۰/۵	۱	۱۰
۰/۹	۰/۸	۱/۵	۱/۶	۱	۱	۱۱
۱/۵	۱/۶	۱	۰/۵	۰/۹	۱	۱۲
۱/۴	۱/۳	۱/۱	۰/۵	۰/۴	۱	۱۳

با در نظر گرفتن ۸ گزینه، ۱۳ معیار، ۸ حالت i برای مقادیر معیارها و ۶ حالت W_k برای وزن معیارها که در قسمتهای قبل به آنها اشاره شد، محاسبات روش اول برای حالت‌های ۱ و ۲ $P=1$ بر اساس روابط (۱) تا (۴) انجام شده است. در این روش، جواب حداقل حداکثر (minimax) متناظر با حالت $P=\infty$ نیز بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\min_{j \in J} \max_{i \in I} \left| \frac{f_{i,b} - f_{ij}}{f_{i,b} - f_{i,w}} \right| \quad (5)$$

● روش دوم

در این روش مقادیر ایده‌آل جایگزین برای معیارهای ذهنی که بایستی بیشینه شوند بصورت $f'_{i,w} = 10$ و $f'_{i,b} = 1$ و برای معیارهای ذهنی که کمینه می‌شوند به صورت $f'_{i,w} = 1$ و $f'_{i,b} = 10$ گرفته می‌شود. ولی این مقادیر برای معیارهای ۱ و ۲ از همان روابط (۲) و (۳) بدست می‌آید. لذا پارامتر فاصله در این روش به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$L_P^j = \left[\sum_{i=1}^2 \omega_i^P \left[\left| \frac{f_{i,b} - f_{ij}}{f_{i,b} - f_{i,w}} \right| \right]^P + \sum_{i=3}^{13} \omega_i^P \left[\left| \frac{f'_{i,b} - f_{ij}}{f'_{i,b} - f'_{i,w}} \right| \right]^P \right]^{\frac{1}{P}} \quad j = 1, \dots, J \quad (6)$$

و در نهایت جواب سازشی برای حالت‌های ۱ و ۲ $P=1$ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\text{Min } L_p^j \quad (7)$$

$$j \in J$$

جواب حداقل حداکثر (برای حالت $P = \infty$) نیز از رابطه زیر بدست می آید:

$$\max_{i \in \{1, 2\}} \left| \frac{f_{i,b} - f_{ij}}{f_{i,b} - f_{i,w}} \right|$$

$$\min_{j \in J} \quad (8)$$

$$\max_{i \in \{3, \dots, 13\}} \left| \frac{f_{i,b}^i - f_{ij}^i}{f_{i,b}^i - f_{i,w}^i} \right|$$

سایر فرضیات و اطلاعات به کار رفته در این روش مانند روش اول می باشد.

تعیین بهترین جواب سازشی

همانطور که قبلاً نیز ذکر شد به منظور تحلیل حساسیت نتایج نسبت به مقادیر p ، ω_i و f_{ij} برای هر یک از مقادیر یاد شده به ترتیب ۳، ۶ و ۸ حالت مختلف در نظر گرفته شده است. لذا تعداد حالات موجود در هر روش برابر $3 \times 6 \times 8$ یا ۱۴۴ حالت می باشد. برای انجام تحلیل چند معیاره در هر حالت و براساس هر یک از دو روش یاد شده، یک برنامه کامپیوتری به نام CPCM تهیه شده است. برای انتخاب نهایی بهترین گزینه، اگر حالت خاصی (از P ، W_k ، $TAB i$) مدنظر مسئولین مربوطه (تصمیم گیران) باشد که با مراجعه به نتایج به دست آمده برای آن حالت خاص، می توان جواب نهایی را انتخاب کرد. اما همان طور که قبلاً نیز ذکر شد در مسائل واقعی به دلیل پیچیدگی مسأله و تعدد تصمیم گیران، انتخاب یک گزینه به عنوان جواب بهینه کاری بسیار مشکل و در مواردی امکان ناپذیر است. لذا در چنین مواردی بهتر است به جای جستجوی گزینه بهینه، جستجو برای یافتن "پایدارترین گزینه" صورت گیرد. منظور از پایدارترین گزینه، گزینه برتری است که کمترین حساسیت را نسبت به تغییر در مقادیر P ، W_k و $TAB i$ و همچنین نسبت به تغییر در روش مورد استفاده از خود نشان دهد. به زبان ساده تر و به طور کلی، گزینه ای که در بین حالات در نظر گرفته شده، تعداد دفعات بیشتری در رده اول قرار گیرد، پایدارترین گزینه می باشد. به همین منظور و برای پیدا کردن پایدارترین گزینه نتایج بدست آمده از ترکیبات مختلف $TAB i$ و W_k در هر دو روش برای $P=1$ و $P=2$ در جدول شماره ۳ و برای $P=\infty$ در جدول شماره ۴ ارائه شده است. در این جداول π_1 نشان دهنده تعداد دفعاتی است که هر گزینه در رده اول قرار می گیرد. $\pi_{2,3}$ تعداد دفعاتی است که هر گزینه در رده دوم و سوم قرار می گیرد. π_{4-8} نیز تعداد دفعاتی است که هر گزینه در رده چهارم تا هشتم قرار می گیرد. به عبارت دیگر π_{4-8} تعداد دفعاتی است که هر گزینه اصلاً در رده اول تا سوم قرار نمی گیرد.

جدول ۳ - جستجوی پایدارترین گزینه برای حالت‌های $P=102$

گزینه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
n_i	۰	۸	۸	۴	۰	۱۷۲	۰	۰
$n_{۲,۳}$	۳۳	۵۷	۴۴	۵۹	۰	۱۲	۱۴۰	۱۴
$n_{۲-۸}$	۱۵۹	۱۲۷	۱۴۰	۱۲۹	۱۹۲	۸	۵۲	۱۷۸

جدول ۴ - جستجوی پایدارترین گزینه برای حالت $P=\infty$

گزینه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
n_i	۰	۰	۰	۸	۰	۸	۰	۰
$n_{۲,۳}$	۰	۰	۰	۸	۰	۰	۸	۰
$n_{۲-۸}$	۱۶	۱۶	۱۶	۰	۱۶	۸	۸	۱۶

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهاد شده در این مقاله قابلیت خوبی برای کاربرد در مورد مسأله یاد شده دارد. همچنین باتوجه به شرایط خاص هر منطقه و با در نظر گرفتن تغییراتی در بعضی قسمت‌ها این روش می‌تواند در برنامه‌ریزی آب شهری شهرهای دیگری از کشور نیز که طرح انتقال آب به آنها در حال مطالعه یا اجرا می‌باشد بکار رود.

نتایج کلی بدست آمده از مطالعات انجام شده را می‌توان به طور خلاصه در قالب موارد زیر ارائه کرد:
 ۱- به دلیل پیچیدگی مسأله مورد بحث و تعدد تصمیم‌گیران، انتخاب یک گزینه به عنوان جواب بهینه، کاری بسیار مشکل و حتی امکان‌ناپذیر است. به همین دلیل به جای جستجوی گزینه بهینه، جستجو برای یافتن پایدارترین گزینه صورت گرفته است. منظور از پایدارترین گزینه در این مطالعه گزینه‌ای است که کمترین حساسیت را نسبت به تغییر در مقادیر P ، W_k ، TAB_i و همچنین نسبت به تغییر در روش مورد استفاده از خود نشان دهد.

۲- گزینه شماره ۶ در بین گزینه‌های موجود پایدارترین می‌باشد. حساسیت این گزینه نسبت به تغییرات انجام شده به قدری کم است که این گزینه در ۶٪/۸۹٪ کل حالات (حالت ۱۷۲) در رده اول و در ۸٪/۹۵٪ کل حالات (حالت ۱۸۴) نیز در رده اول تا سوم جای می‌گیرد. گزینه ۶ از نظر معیار حداقل حداکثر نیز وضعیت بدی نداشته و در نیمی از حالت‌های در نظر گرفته شده برای این معیار در رده اول قرار می‌گیرد.
 ۳- با وجود اینکه گزینه شماره ۷ در هیچ یک از حالت‌های بررسی شده در رده اول قرار نگرفته اما در ۹٪/۷۲٪ حالات (حالت ۱۴۰) در رده دوم یا سوم جای می‌گیرد. همچنین این گزینه در ۵۰٪ حالت‌های در نظر گرفته شده برای معیار حداقل حداکثر نیز در رده دوم قرار گرفته است.

۴- با توجه به نتایج به دست آمده در حالت‌های مختلف برای گزینه‌های شماره ۶ و ۷، اهمیت موضوع بسته بندی آب شرب در بطری نمایان می‌شود. به عبارت دیگر، بسته‌بندی آب شرب در بطری موردی است که در تصمیم‌گیری‌های آتی همواره بایستی مدنظر قرار گیرد. البته به کارشناسی بیشتری راجع به این موضوع و بخصوص راجع به بحث اختصاص یارانه به این بخش و تأثیر آن در ارزیابی معیارهای مختلف نیاز است.

۵- از نظر معیار حداقل حداکثر ($P=\infty$) گزینه ۴ پایدارترین می‌باشد که در نیمی از حالات در رده اول و در نیمی دیگر در رده دوم جای می‌گیرد. بطور کلی در حالت $P=\infty$ گزینه‌های ۴، ۶ و ۷ از وضعیت بهتری برخوردارند.

۶- گزینه‌های ۵، ۸ و ۱ بدترین وضعیت را در بین گزینه‌ها دارا هستند. لذا بحث احداث انشعابات برتر و همچنین یک شبکه‌ای کردن سیستم توزیع آب در شهر زاهدان منتفی به نظر می‌رسد. ضمن اینکه در حالت دو شبکه‌ای نیز گزینه توسعه دو شبکه موجود به تنهایی گزینه مناسبی نیست.

۷- بطور کلی با در نظر گرفتن معیار پایداری گزینه‌ها، جهت تصمیم‌گیری‌های آتی در این زمینه بایستی بیشتر به سمت توسعه و بازسازی شبکه موجود بهداشتی، احداث شبکه توزیع آب شرب به صورت شیرهای برداشت عمومی (در نقاط مختلف شهر و به صورت سامان یافته‌تر) و توزیع آب شرب در بطری متمایل باشد. در واقع پیشنهاد نهایی این مطالعه، بررسی بیشتر روی موارد یاد شده در بالا و ایجاد گزینه‌های جدید بر مبنای این موارد می‌باشد.

۵. مراجع

- ۱- ابراهیمیان، علی، برنامه ریزی توسعه ظرفیت سیستم تأمین آب شهری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۹.
- 2- Cordeiro Netto, O., Parent, E., and Duckstein, L., "Multicriterion design of long-term water supply in southern France", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 122, No. 6, 403-413, 1996.
- 3- David, L., and Duckstein, L., "Multi-criterion ranking of alternative long-range water resource systems", Water Resources Bulletin, Vol. 12, No. 4, 731-754, 1976.
- 4- Duckstein, L., and Opricovic, S., "Multiobjective optimization in river basin development", Water Resources Research, Vol. 16, No. 1, 14-20, 1980.
- 5- Duckstein, L., Treichel, W., and El Magnouni, S., "Ranking ground-water management alternatives by multicriterion analysis." Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, Vol. 120, No. 4, 546-565, 1994.
- 6- Simonovic, S., "Application of water resources systems concept to the formulation of a water master plan", Water International, Vol. 14, 37-50, 1989.