تصمیم‌گیری چندشاخصه در رتبه‌بندی طرحهای تأمین آب شهری

حجت میان‌آبادی[1] عباس افشار[2]

(دریافت ۸۵/۱۲/۲۶ پذیرش ۸۶/۱۲/۲۱)

چکیده

رشد سریع جمعیت در شهرها و افزایش تقاضای آب شهری (شرب و بهداشتی) نیازمند اجرای طرحهای بلندمدت تأمین آب شهری است. بنابراین استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در ارزیابی طرحهای تأمین آب شهری ضروری است. روشهای متعددی برای تصمیم‌گیری چندشاخصه بسط داده شده‌اند. هدف از این مطالعه، بررسی کاربرد تصمیم‌گیری چندشاخصه در تأمین آب شهری و تأثیر انتخاب روش تصمیم‌گیری در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌هاست. سه روش تصمیم‌گیری میانگین‌گیری وزنی مرتب شده استقرایی، تخصیص خطی و TOPSIS **برای بررسی طرحهای تأمین آب شهری زاهدان، به عنوان یک مطالعه موردی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج بررسی نشان می‌دهد که انتخاب روش تصمیم‌گیری تأثیر بسزایی در رتبه‌بندی گزینه‌ها داشته و برای یک مسئله یکسان، انتخاب هر روش از روشهای موجود ممکن است نتایج متفاوتی در برداشته باشد. لذا ضروری است روش مناسب تصمیم‌گیری با توجه به شرایط مسئله، نوع داده‌ها و ارزیابی‌های صورت گرفته اتخاذ و گزینه نهایی پس از بررسی نتایج حاصل از روشهای مختلف انتخاب گردد.**

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چندشاخصه، تأمین آب شهری، میانگین‌گیری وزنی مرتب شده استقرایی، تخصیص خطی، تاپسیس.

Multi-attribute Decision-making to Rank Urban Water Supply Schemes

Hojat Mianabadi [1] *Abbas Afshar* [2]

(Received Mar. 16, 2007 Accepted Mar. 11, 2008)

Abstract

The increasing trend in (urban) water demand due to population growth places a growing stress on available water resources and calls for an efficient and acceptable long-term management of the resources. Hence, application of multi-attribute decision-making systems is essential for evaluating urban water supply schemes. A number of multi-attribute decision-making methods have been developed. This paper aims to survey the application of such systems to urban water supply problems and the effects of each multi-attribute decision-making method selected on the final ranking of alternatives. Three methods of Induced Ordered Weighted Averaging (IOWA), Linear Assignment (LA), and TOPSIS have been considered for a real urban water management case study in the city of Zahedan in Iran. The results revealed that the multi-attribute decision-making method selected had a considerable effect on the final ranking of a finite set of alternatives such that different MADM techniques yielded different results for the same problem. It is, therefore, necessary to select the

۱- کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، hmianabadi@civileng.iust.ac.ir
۲- استاد دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

1. M.Sc., in Hydraulic Structures, Dept. of Civil Engineering, Iran Univ. of Science & Technology, hmianabadi@civileng.iust.ac.ir
2. Professor, Dept. of Civil Engineering, Iran Univ. of Science and Technology

method according to the specific characteristics of the problem at hand, type of data available, and the assessments made. The ultimate alternative must be, thus, selected once evaluations have been made of the results obtained from applying different decision-making methods to the problem.

Keywords: Multi Attribute Decision Making, Urban Water Supply, Induced Ordered Weighted Averaging (IOWA), Linear Assignment (LA), TOPSIS.

۱- مقدمه

تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] یکی از شاخه‌های شناخته شده تحقیق در عملیات است که مسائل تصمیم‌گیری را تحت تعدادی از معیارهای تصمیم بررسی می‌کند. در این تصمیم‌گیریها به جای یک معیار سنجش بهینگی، از چندین معیار برای سنجش استفاده می‌شود[۱]. تصمیم‌گیری چندمعیاره خود به دو دسته کلی تصمیم‌گیری چندهدفه[2] و تصمیم‌گیری چندشاخصه[3] تقسیم می‌شود. هدف از مسائل تصمیم‌گیری چند هدفه، بهینه کردن همزمان چندین تابع هدف، تحت مجموعه‌ای از قیودات است. به طور کلی مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه برای مسائل طراحی و بهینه‌سازی به کار می‌روند. اما تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM)، برای انتخاب بهترین گزینه و یا گزینه‌ها، از بین گزینه‌های موجود با توجه به چندین شاخص تصمیم به کار می‌رود. این مدل‌ها به منظور انتخاب گزینه برتر مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲]. به طور کلی می‌توان گفت که در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره، ابتدا جوابهای کارا[4] (نقاط پاراتو) توسط روشهای تصمیم‌گیری چندهدفه به دست آمده، سپس ارجح‌ترین گزینه از بین گزینه‌های موجود با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) انتخاب می‌گردد.

برای حل هر یک از مدل‌های فوق روشهایی چون: الف) روشهای اولویت محور، ب) روشهای فاصله محور، ج) روشهای رتبه‌بندی گزینه‌ها، و د) ترکیب هر یک از این روشها مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه براین، روشهای حل به روشهای محاسباتی، تصادفی و فازی نیز تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به تعداد شرکت‌کننده‌ها، روشهای حل به روشهای تصمیم‌گیری فردی و گروهی تقسیم می‌گردند.

در گذشته، جوابهای مسائل تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه برتر در منابع آب، تنها مبتنی بر یک هدف اصلی یعنی بیشینه کردن نسبت سود به هزینه بود؛ ولی امروزه با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره، دیگر لازم نیست که از معادل مالی معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی استفاده کرد، بلکه می‌توان چندین معیار را به صورت معیارهای کمّی و کیفی برای انتخاب گزینه برتر به کار برد [۳].

کاربرد روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره در جنبه‌های مختلف مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در تعدادی از مطالعات نشان داده شده است. به عنوان نمونه می‌توان به کارهای تسله[5] و همکاران در سال ۱۹۸۸ برای انتخاب بهترین گزینه در مدیریت فاضلاب، نتو[6] و همکاران در سال ۱۹۹۶ در طراحی بلند مدت تأمین آب در جنوب فرانسه، آنانند و کومار[7] در سال ۱۹۹۶ در رتبه‌بندی گزینه‌های حوضه رودخانه با استفاده از روش ELECTER، ابریشم‌چی و تجریشی در سال ۱۹۹۷ در برنامه‌ریزی آبی برای توسعه کشاورزی، خیرالدین و فهمی[8] در سال ۲۰۰۱ برای ارزیابی بلند مدت راهبردهای آبی، پارک و چوی در سال ۲۰۰۱ برای تحلیل سناریوهای خصوصی سازی آب در کره، چانتین و چاو[9] در سال ۲۰۰۲ در کنترل سیل در مخزن رودخانه سونقوا[10] در چین اشاره کرد [۴-۱۰]. کاربرد متعدد روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره نشان داده که آنها ابزار مناسبی در فرایند تصمیم‌گیری برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب می‌باشند [۱۱].

روشهای بسیار متعددی برای تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه شده است. برنامه‌ریزی آرمانی[11]، برنامه‌ریزی سازشی[12]، تئوری مطلوبیت چندشاخصه[13]، روش TOPSIS، ELECTRE I-III، تحلیل سلسله مراتبی[14]، روش تخصیص خطی[15] و روش PROMETHEE نمونه‌هایی از این روشها هستند که در گستره بسیار وسیعی از آنها استفاده شده است.

هدف از این مقاله، انتخاب بهترین گزینه از بین گزینه‌های موجود برای تأمین آب شهر زاهدان با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چندشاخصه میانگین‌گیری وزنی مرتب‌شده استقرایی[16]، TOPSIS و تخصیص خطی و بررسی نتایج حاصل از هر روش است. انتخاب بهترین گزینه برای تأمین آب شهر زاهدان قبل از این توسط ابریشم‌چی و همکاران و تنها با استفاده از روش برنامه‌ریزی

[1] Multi Criteria Decision Making (MDCM)
[2] Multi Objective Decision Making (MODM)
[3] Multi Attribute Decision Making (MADM)
[4] Efficient Solutions

[5] Tecle
[6] Netto
[7] Anand Raj and Kumar
[8] Kheireldin and Fahmy
[9] Chuntain and Chau
[10] Songhua
[11] Goal Programming (GP)
[12] Compromise Programming (CP)
[13] Multiattribute Utility Theory
[14] Analytic Hierarchy Process (AHP)
[15] Linear Assignment (LA)
[16] Induced Ordered Weighted Averaging (IOWA)

برنامه‌ریزی سازشی (CP) صورت گرفته است [۱۱]. از اینرو در ادامه، پیش زمینه‌ای از جزئیات تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) و پیش زمینه الگوریتمی برای تصمیم‌گیری ارائه شده است. در بخش بعد، روشهای مختلف تصمیم‌گیری، شامل روشهای میانگین‌گیری وزنی مرتب شده استقرایی (IOWA)، TOPSIS و تخصیص‌خطی به اختصار معرفی و خصوصیات هر یک مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس ، انتخاب بهترین گزینه برای آبرسانی شهر زاهدان با استفاده از روشهای ذکر شده صورت گرفته و نتایج حاصل از روشهای مختلف با یکدیگر مقایسه می‌گردند.

۲- تصمیم‌گیری چندشاخصه

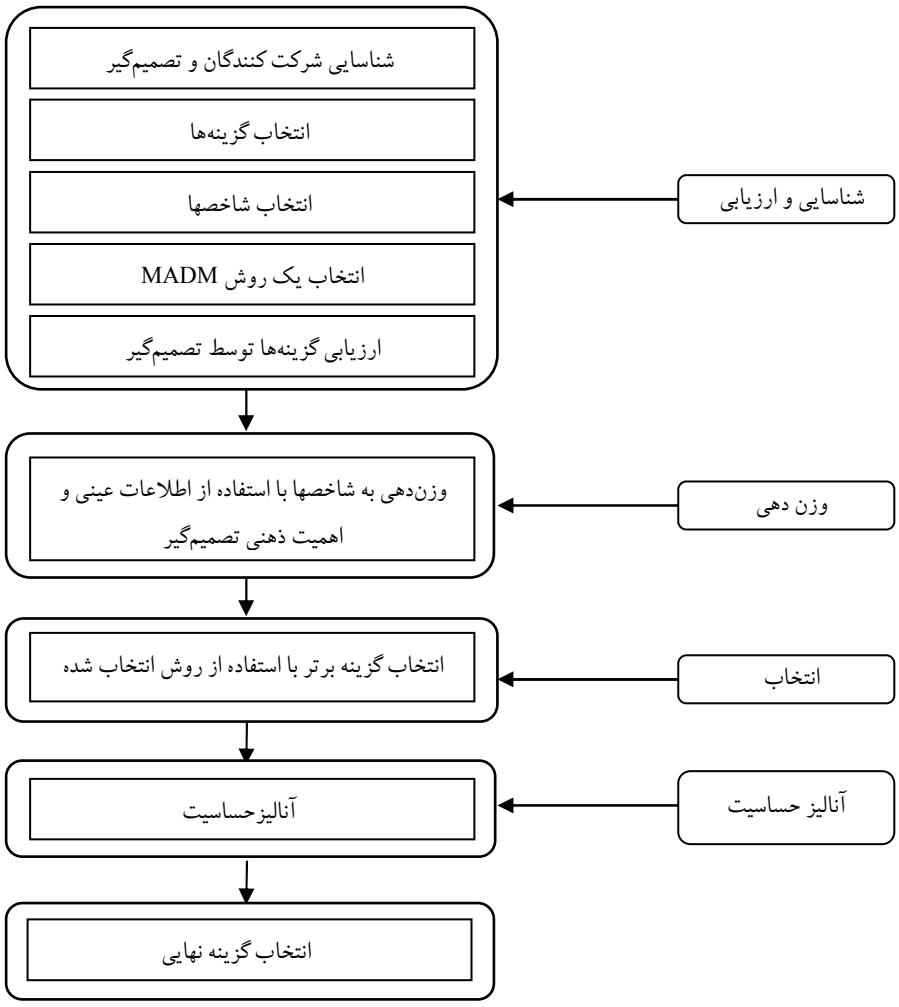
فرایند تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) شامل چهار مرحله اساسی است که عبارت‌اند از: ۱- شناسایی و ارزیابی، ۲- وزن‌دهی، ۳- انتخاب گزینه برتر با استفاده از یک روش MADM و ۴- آنالیز حساسیت و انتخاب گزینه نهایی. فرایند تصمیم‌گیری چندشاخصه در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۱- شناسایی و ارزیابی

این مرحله خود به چندین بخش تقسیم می‌شود که عبارت‌اند از: ۱- شناسایی تصمیم‌گیران و شرکت کنندگان ،۲- انتخاب معیارها، ۳- مشخص کردن گزینه‌ها و ۴- ارزیابی گزینه‌ها در مقابل شاخصها و معیارها توسط شرکت کنندگان.

شناسایی تصمیم‌گیران و تعداد شرکت کنندگان انتخاب شده برای تصمیم‌گیری، برای هر مسئله متفاوت است و به عوامل متعددی همچون زمان، منابع موجود و میزان اهمیت مسئله تصمیم‌گیری بستگی دارد [۳].

انتخاب معیارها و شاخصهای مناسب مهم‌ترین اثر را بر رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها دارند [۱۲]. لذا انتخاب شاخصهای مناسب و مؤثر در فرایند تصمیم‌گیری، یکی از مهم‌ترین مراحل تصمیم‌گیری چند شاخصه است. در یک مدل تصمیم‌گیری، انتخاب شاخصهای مناسب برای تصمیم‌گیری، خود نیاز به یک تصمیم‌گیری چندشاخصه و در مسائل مهم‌تر، نیاز به تصمیم‌گیری گروهی دارد. در این مرحله، ابتدا باید شاخصهای متعدد و متناسب با مسئله مورد



شکل ۱- فرایند تصمیم‌گیری چندشاخصه

نظر، توسط تصمیم‌گیر و یا تصمیم‌گیران معرفی شود. سپس شاخصهای مناسب برای تصمیم‌گیری، با استفاده از یکی از روشهای تصمیم‌گیری چندشاخصه و یا تصمیم‌گیری گروهی انتخاب گردند. به بیان دیگر، انتخاب شاخصهای مناسب برای تصمیم‌گیری، خود یک مسئله تصمیم‌گیری است که در آن گزینه‌های تصمیم، همان شاخصهای متعدد تصمیم‌گیری هستند. نتخاب گزینه‌های موجود در مسئله تصمیم‌گیری، براساس مطالعات صورت گرفته توسط تصمیم‌گیران با استفاده از دانش، تجربه و مهارت آنها و یا با استفاده از روشهای کلاسیک همچون تصمیم‌گیری چند هدفه که خروجی آنها نقاط پاراتو و یا همان گزینه‌های کارا برای تصمیم‌گیری است صورت می‌گیرد. به طور کلی، نحوه انتخاب و تعداد گزینه‌های انتخاب شده برای تصمیم‌گیری، کاملاً به محیط مسئله بستگی دارد.

مرحله ارزیابی گزینه‌ها با توجه به شاخصهای موجود بسیار اساسی است. به علت فشار زمانی، کمبود دانش و توانایی محدود تصمیم‌گیر در پردازش اطلاعات، در اغلب مواقع برآوردهای تصمیم‌گیر از گزینه‌ها با عدم قطعیت و ابهام همراه است [۱۳]. منابع مختلفی برای ایجاد عدم قطعیت در استفاده از روشهای MCDM وجود دارد. منابع این عدم قطعیت را می‌توان در انتخاب روش MCDM، برآورد وزن و اهمیت نسبی شاخصها، ارزیابی گزینه‌ها در مقابل شاخصها و معیارهای تصمیم‌گیری جستجو کرد [۳].

تصمیم گیر/تصمیم‌گیران، می‌توانند ارزیابی‌های خود از گزینه‌ها را به چهار صورت کلی ارائه نمایند که عبارت‌اند از: ۱- مقادیر عددی واقعی: مانند برآورد میزان مطلوبیت هر گزینه و یا رتبه هر گزینه در مجموعه گزینه‌های موجود، ۲- مقادیر عددی غیر واقعی: مانند مقادیر فازی و یا برآورد مطلوبیت یک گزینه توسط یک بازه (a ,b)، ۳- مقادیر زبانی: مانند "بهتر"، "بیشتر" و غیره و ۴- ترکیب روشهای فوق. هررا[1] و همکاران چهار روش: ۱- تابع مطلوبیت ۲- رتبه‌بندی گزینه‌ها ۳- رابطه اولویت فازی و ۴- رابطه اولویت چندگانه را برای ارزیابی گزینه‌ها با استفاده از مقادیر عددی واقعی ارائه کردند [۱۴].

۲-۲- وزن‌دهی

یکی از مهم‌ترین و مشکل‌ترین مراحل تصمیم‌گیری چند معیاره مرحله وزن‌دهی شاخصهاست که می‌تواند عدم قطعیت قابل توجهی در فرایند تصمیم‌گیری ایجاد نماید [۱۵ و۱۶].

به طور کلی سه روش برای برآورد وزن نسبی شاخصها وجود دارد که عبارت‌اند از:۱- ارزیابی وزن شاخصها با استفاده از اطلاعات عینی (ماتریس تصمیم)، ۲- ارزیابی وزن شاخصها با استفاده از اولویتها و ارجحیتهای ذهنی تصمیم‌گیر و۳- ارزیابی وزن شاخصها با استفاده از ترکیب دو روش فوق (اطلاعات عینی و اولویتهای ذهنی). روشهای عینی همچون روش آنتروپی و روشهای برنامه‌ریزی ریاضی ، وزن شاخصها را با استفاده از اطلاعات ماتریس تصمیم محاسبه می‌کنند [۱۷، ۱۸ و ۱۹]. اما اشکال این روشها این است که به نظرات تصمیم‌گیر بر اهمیت نسبی شاخصها توجه نمی‌نمایند. وزنهای تخمین زده شده با استفاده از این روشها در برخی مواقع، ممکن است دور از انتظار باشند. بنابراین روشهای ذهنی که توانایی در نظر گرفتن ارجحیتهای ذهنی تصمیم‌گیر را در محاسبه وزن شاخصها دارند، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند. رایج‌ترین روش ذهنی استفاده شده، روش ماتریس مقایسات زوجی است [۲۰]. ذکر این نکته ضروری است که تضمینی وجود ندارد که در یک مسئله یکسان، نتایج حاصل از روشهای عینی و ذهنی با یکدیگر برابر باشند. علاوه بر دو روش فوق، روشهایی وجود دارند که به طور همزمان از ترکیب اطلاعات عینی و اولویتهای ذهنی تصمیم‌گیر، برای محاسبه وزن شاخصها استفاده می‌کنند. از جمله آن روشها می‌توان به روش وانگ و پارکان[2] اشاره کرد [۲۰].

۲-۳- انتخاب گزینه برتر

برای انتخاب بهترین گزینه/گزینه‌ها از بین یک مجموعه گزینه، روشهای متعددی وجود دارد.

۲-۴- آنالیز حساسیت

به دلیل وجود عدم قطعیت در مراحل مختلف تصمیم‌گیری چندشاخصه، لازم است که قبل از انتخاب گزینه نهایی، آنالیز حساسیت بر روی مسئله مورد نظر صورت گیرد. روشهای مختلفی برای تحلیل حساسیت روشهای مختلف MCDM وجود دارند که از جمله آن روشها می‌توان به مراجع [۲۱، ۲۲ و ۲۳] اشاره کرد.

۳- روشهای مختلف تصمیم‌گیری

۳-۱- روش میانگین گیری وزنی مرتب شده[3]

روش میانگین‌گیری وزنی مرتب شده در حقیقت یک عملگر تجمیعی است. یک عملگر تجمیع، تابعی است که بردار ورودی n بعدی را به یک بعد نگاشت می‌کند و آن را به صورت $F : I^n \to J$ نشان می‌دهند که I و J بازه‌های واقعی تابع بوده و $I, J \neq \phi$. بازه I بیانگر مجموعه مقادیری است که می‌خواهند با یکدیگر تجمیع گردند

[1] Herrera

[2] Wang and Parkan

[3] Ordered Weighted Averaging (OWA)

و J بیانگر جوابهای متناظر همگرا شده است [۲۴]. عملگر تجمیع OWA توسط یاگر معرفی شد [۲۵، ۲۶ و ۲۷]. عملگر OWA، یک عملگر تجمیعی با بردار وزن متناظر $w \in [0,1]^n$, $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$ است به طوری که:

$$F_w(x) = \sum_{i=1}^{n} w_i . b_i \quad , \quad \mathbf{x} \in \mathbf{I^n} \qquad (۱)$$

که در آن b_i، iامین مقدار بزرگ مجموعه مرتب شده صعودی به نزولی مجموعه X است.

همان طور که در تعریف عملگر OWA مشاهده شد، یک مسئله مهم در تعریف این عملگر محاسبه بردار وزن w است. دو روش برای محاسبه بردار وزن عملگر وجود دارد: در روش اول، بردار وزن با استفاده از دادههای نمونه صورت میگیرد. در روش دوم، بردار وزن با استفاده از کمیتسنجهای زبانی محاسبه میشود. در این روش که توسط یاگر پیشنهاد شد بردار وزن با استفاده از کمیتسنجها از رابطه زیر محاسبه میشود [۲۶ و ۲۸]:

$$w_i = Q(\frac{i}{n}) - Q(\frac{i-1}{n}) \quad , \quad i = 1,...,n \qquad (۲)$$

که در آن، Q یک کمیتسنج زبانی است. مفهوم کمیتسنجهای فازی برای ترجمه خصوصیات زبان محاورهای به عبارات ریاضی رسمی به کار میروند که باعث فرمولبندی تصمیمگیری چند معیاره و توابع ارزیابی آنها میگردند. کمیتسنجهای زبانی که مفهوم اکثریت فازی را منعکس میکنند به صورت زیر محاسبه میگردند:

$$Q(r) = \begin{cases} 0 & \text{if :} \quad r < a \\ \dfrac{r-a}{b-a} & \text{if :} \quad b \le r \le a \\ 1 & \text{if :} \quad r > b \end{cases} \qquad (۳)$$

رایج ترین کمیتسنجهای زبانی فازی که در محاسبه بردار وزن به کار برده میشوند، کمیتسنجهای «بیشترین»، «حداقل نیمی»، «تا حد ممکن» میباشند که بازه آنها به ترتیب (۰/۸ و ۰/۳) و (۰/۵ و ۰) و (۱ و ۰/۵) میباشند.

یاگر و فیلو[1]، یک نوع کلیتر از عملگر OWA، که عملگر OWA استقرایی (IOWA) نامیده میشود را معرفی کردند [۲۹]. این عملگر به صورت زیر تعریف میشود:

$$IOWA_w\{(u_1,a_1),(u_2,a_2),...,(u_n,a_n)\} = \sum_{j=1}^{n} w_j . b_j \qquad (۴)$$

که $W = (w_1, w_2, ..., w_n)^T$ بردار وزن است به طوری که $w_j \in [0,1]$ و $\sum_j w_j = 1$ و b_j مقدار a_i از زوج (u_i,a_i) میباشد که jامین مقدار بزرگ u_i را دارد و u_i در زوج (u_i,a_i)، بیانگر میزان اهمیت و یا رتبه شاخص و a_i، بیانگر میزان ارزش گزینه در مقابل آن شاخص است. مزیت این روش نسبت به روشهای دیگر این است که در این روش، نیازی به کمّی کردن مقادیر وزن شاخصها نمیباشد و مقادیر a_i ها میتوانند مقادیر عددی و یا زبانی باشند.

[1] Filev

۳-۲- روش TOPSIS

روش TOPSIS یکی از روشهای فاصله محور است. این روش اولین بار توسط هوانگ و یون[2] معرفی گردید [۳۰]. در این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه A_i از نقطه ایدئال، فاصله آن از نقطه ایدئال منفی هم در نظر گرفته میشود. یعنی گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از جواب ایدئال بوده و در عین حال دارای دورترین فاصله از جواب ایدئال منفی باشد. الگوریتم حل مسئله به صورت زیر است:

قدم یکم: تبدیل ماتریس تصمیمگیری موجود به یک ماتریس بیمقیاس شده.

قدم دوم: ایجاد ماتریس بیمقیاس وزین با مفروض بودن بردار وزنw.

$$V = N_D . W_{n*n} \qquad (۵)$$

که W، ماتریس قطری وزن شاخصهاست که تنها عناصر اصلی آن غیر صفر است و V، ماتریس بی مقیاس وزنی میباشد.

قدم سوم: مشخص نمودن راه حل ایدئال (A^+) و ایدئال منفی (A^-):

$$A^+ = \left\{(\max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij} | j \in J') | i = 1,2,...,m\right\} = \left\{V_1^+, V_2^+, ..., V_n^+\right\} \qquad (۶)$$

$$A^- = \left\{(\min V_{ij} | j \in J), (\max V_{ij} | j \in J') | i = 1,2,...,m\right\} = \left\{V_1^-, V_2^-, ..., V_n^-\right\} \qquad (۷)$$

به طوری که

$$\begin{cases} J = \{j = 1,2,...,n | j \in BENEFIT\} \\ J' = \{j = 1,2,...,n | j \in COST\} \end{cases}$$

قدم چهارم: محاسبه اندازه جدایی.

$$d_i^+ = \left\{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^+)^2\right\}^{0.5} \quad ; i = 1,2,...n \qquad (۸)$$

$$d_i^- = \left\{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^-)^2\right\}^{0.5} \quad ; i = 1,2,...n \qquad (۹)$$

[2] Hwang and Yoon

d_i^+، فاصله گزینه iام از ایدئال مثبت

d_i^-، فاصله گزینه iام از ایدئال منفی

قدم پنجم: محاسبه نزدیکی نسبی A_i به راه حل ایدئال این نزدیکی نسبی را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$cl_i^+ = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \qquad (۱۰)$$

ملاحظه می‌شود که چنانچه $A_i = A^+$ باشد آنگاه $d_i^+ = 0$ و خواهیم داشت: $cl_{i+} = 1$

و در صورتی که $A_i = A^-$ باشد آنگاه $d_i^- = 0$ خواهد بود و خواهیم داشت $cl_i^+ = 0$. بنابراین هر اندازه گزینه A_i به راه حل ایدئال (A^+) نزدیک‌تر باشد ارزش cl_i^+ به واحد نزدیک‌تر خواهد بود.

قدم ششم: رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس مقادیر cl_i^+ به دست آمده از مرحله قبلی.

۳-۳- روش تخصیص خطی

در این روش گزینه‌های مفروض یک مسئله، برحسب امتیازات آنها از هر شاخص موجود، رتبه‌بندی شده و سپس رتبه نهایی گزینه‌ها، از طریق یک فرایند جبران خطی[1] مشخص خواهد شد. فرایند حل به گونه‌ای است که نیازی به بی‌مقیاس نمودن شاخصهای کمّی و کیفی نخواهد بود. الگوریتم حل به صورت زیر است:

قدم یکم: رتبه هر گزینه را بر اساس هر یک از شاخصهای موجود مشخص می‌نماییم.

قدم دوم: با مشخص بودن اوزان شاخصها (w)، ماتریس Q_G را به دست می‌آوریم. هر عنصر ماتریس Q_G برابر است با:

$$q_{it} = \sum_{j=1}^{n} \pi_{itj} . w_j \qquad (۱۱)$$

که اگر گزینه i در شاخص j در رتبه t قرار داشته باشد آنگاه $\pi_{itj} = 1$ و در غیر این صورت $\pi_{itj} = 0$ خواهد بود.

قدم سوم: مسئله تخصیص زیر را با متغیرهای صفر- یک h_{it}، به منظور مشخص نمودن اولویت بندی نهایی گزینه ها حل می‌کنیم:

$$\begin{aligned} &\max: \sum_{i=1}^{m}\sum_{t=1}^{m} q_{it} . h_{it} \\ &s.t: \quad \sum_{i=1}^{m} h_{it} = 1 \qquad \mathbf{t = 1,..., m} \\ &\qquad \sum_{t=1}^{m} h_{it} = 1 \qquad \mathbf{i = 1,..., m} \\ &\qquad h_{it} = \begin{cases} \mathbf{1} \\ \mathbf{0} \end{cases} \end{aligned} \qquad (۱۲)$$

ویژگی روش OWA این است که این روش قادر است خصوصیات ذهنی تصمیم گیر / تصمیم‌گیران را در فرایند تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه مطلوب تأثیر دهد. جوابهای به دست آمده در این روش از انعطاف‌پذیری بیشتری در تأمین شاخصها نسبت به روش TOPSIS و تخصیص خطی برخوردار است. این روش برای مسائلی که ارزیابی‌های صورت گرفته از ماتریس تصمیم، حاصل ارزیابی ذهنی تصمیم‌گیر بوده و کاملاً به خصوصیات ذهنی تصمیم‌گیر بستگی دارند، مناسب‌تر است. توانایی روش OWA در شناسایی میزان تبادل بین شاخصها و اهداف متضاد، از ویژگیهای دیگر روش OWA است.

روش IOWA و تخصیص خطی، در مسائلی که ارزیابی تصمیم‌گیران به صورت زبانی ارائه شده است مناسب‌تر می‌باشند. به دلیل آنکه در این روشها نیازی به کمّی کردن ارزیابی‌های زبانی تصمیم‌گیران نمی‌باشد، استفاده از روشهای فوق عدم قطعیت کمتری را وارد مسائل می‌نماید. روش IOWA در زمانی که وزن و اهمیت نسبی شاخصها به صورت زبانی ارائه شده باشد مناسب بوده و روش تخصیص خطی در زمانی که ارزیابی گزینه‌ها در مقابل شاخصها به صورت زبانی ارائه شده باشد مناسب می‌باشند.

هرچند که نمی‌توان برای مسائل مدیریت منابع آب روش تصمیم‌گیری مشخصی را تعیین نمود، اما ضرغامی و همکاران ضمن بررسی ۸ روش تصمیم‌گیری با توجه به ۱۰ معیار، روش OWA را نسبت به سایر روشهای تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی طرحهای انتقال آب، برتر دانستند [۳۱]. این روشها و معیارهای سنجش آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

۴- مطالعه موردی

شهر زاهدان با جمعیت تقریبی ۵۰۰/۰۰۰ نفر به عنوان مرکز استان سیستان و بلوچستان با مشکل جدی تأمین کیفی و کمّی آب روبرو است. افزایش مهاجرت به شهر زاهدان و تغییر سطح زندگی مردم، سبب شده تا مدیران منابع آب این استان نگران تأمین کمّی و کیفی آب آینده این شهر گردند. برای تأمین آب شهر زاهدان چند منبع تأمین آب وجود دارد: یک منبع آب شورمزه برای تأمین آب بهداشتی شهر و منابع دیگر برای تأمین آب آشامیدنی. آب بهداشتی از طریق یک شبکه توزیع آب زیرزمینی و آب شرب از طریق شیرهای عمومی که در نقاط متعدد سطح شهر نصب شده‌اند توزیع می‌گردد. پس از مطالعات صورت گرفته، با توجه به منابع آب موجود، هشت گزینه برای توزیع آب موجود و قابل انتقال از منابع آب چاه نیمه و رودخانه سیستان به شهر زاهدان پیشنهاد گردید که عبارت‌اند از [۱۱]:

۱-ساخت و احداث یک سیستم جدید تأمین آب برای کل شهر: این سیستم برای توزیع آب انتقال یافته به شهر، برای تأمین نیازهای

[1] Linear Compensatory Process

جدول ۱- مقایسه مزایای کاربرد روشهای مختلف تصمیم‌گیری در طرحهای انتقال آب[۳۱]

معیارهای ارزیابی	امکان مشارکت ذی‌نفعان	تنوع داده‌های مورد قبول	سهولت یادگیری	نیاز به تصمیم‌گیر	گسترش ادبیات موضوع	زمان مورد نیاز	قبول خوش‌بینی وخطرپذیری	وجود ابزار لازم	گسترش کاربرد روش	پایداری جواب
وزن معیار نام روش	نسبتاً زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد (منفی)	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد (منفی)	زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط
AHP	متوسط	نسبتاً کم	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	خیر	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد
ELECTRE	کم	کم	نسبتاً کم	زیاد	نسبتاً کم	زیاد	بلی	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	زیاد
MAUT	نسبتاً کم	نسبتاً کم	کم	خیلی زیاد	کم	خیلی زیاد	خیر	نسبتاً کم	کم	متوسط
TOPSIS	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً کم	متوسط	متوسط	خیر	خیلی کم	متوسط	متوسط
برنامه‌ریزی سازشی	متوسط	نسبتاً زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	نسبتاً زیاد	بلی	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً زیاد
میانگین وزنی ساده	زیاد	زیاد	زیاد	کم	زیاد	کم	خیر	خیلی کم	زیاد	متوسط
میانگین وزنی مرتب OWA	زیاد	زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم	بلی	خیلی زیاد	نسبتاً زیاد	زیاد
روش کمینه- بیشینه	نسبتاً کم	زیاد	زیاد	خیلی کم	متوسط	خیلی کم	خیر	خیلی کم	نسبتاً زیاد	کم

شرب و بهداشتی به وسیله خطوط سرویس انفرادی در نظر گرفته شده است.

۲- ساخت یک شبکه جدید توزیع آب در قسمت جدید شهر و اصلاح سیستم تأمین آب بهداشتی موجود و گسترش سیستم کوچک توزیع آب شرب موجود با شیرهای عمومی (به طول ۳۰ کیلومتر) در قسمت قدیمی شهر.

۳-این سیستم بسیار شبیه سیستم دوم است با این تفاوت که شبکه توزیع آب شرب با شیرهای عمومی در قسمت قدیمی شهر، به طول ۶۰ کیلومتر می‌باشد.

۴- ساخت یک سیستم جدید تأمین آب شرب برای کل شهر و اصلاح و گسترش سیستم آب بهداشتی موجود.

۵-ساخت یک سیستم جدید توزیع آب آشامیدنی برای قسمت جدید شهر، اصلاح و گسترش شبکه توزیع آب بهداشتی موجود و همچنین شیرهای کوچک آب آشامیدنی و فروشگاهها و کیوسک‌های آب موجود.

۶-گسترش شبکه کوچک آب آشامیدنی با شیرهای عمومی (به طول حدود ۳۰ کیلومتر) در تمام شهر و اصلاح و گسترش شبکه توزیع آب بهداشتی، فروشگاهها و کیوسک‌های آب موجود.

۷- این سیستم در اصل مشابه سیستم ششم می‌باشد. با این تفاوت که شبکه توزیع آب شرب با شیرهای عمومی در کل شهر به طول حدود ۶۰ کیلومتر می‌باشد.

۸- این سیستم در اصل مشابه سیستم هفتم است، با این تفاوت که این سیستم دارای امکان اتصال به سرویس‌های شخصی می‌باشد. برای اتصال به سرویس شخصی، خانواده‌ها باید هزینه اتصال به شبکه را پرداخت نمایند.

با توجه به نقطه نظرات مقامات استانی و کشوری منابع آب و خط مشی‌های معرفی شده توسط وزارت نیرو در بخش آب شهری، اهداف اقتصادی، اجتماعی، سلامت عمومی، حفاظت محیط‌زیست و پایداری، به منظور بهینه‌سازی مسئله فوق در نظر گرفته شد. بر این اساس، ۹ شاخص برای انتخاب بهترین گزینه از گزینه‌های موجود در نظر گرفته شد که عبارت‌اند از: هزینه کلی، ارزیابی عمومی، اثر سیاسی، کیفیت آب، اثر بهداشتی، انعطاف‌پذیری، کنترل نیاز آب، مدت زمان کمبود آب و اثر آلودگی و زیست محیطی [۱۱]. ارزیابی گزینه‌ها در مقابل شاخصها در جدول ۲ نشان داده شده است. جدول ۳، مقادیر کمّی شدهٔ جدول ۲ را نشان می‌دهد. ابریشم‌چی و همکاران از دو شرکت کننده: ۱- شرکت کننده استانی[1] و ۲- شرکت کننده کشوری[2] برای ارزیابی وزن و اهمیت نسبی شاخصها استفاده کردند که نتایج ارزیابی آنها در جدول ۴ نشان داده شده است. برای کمّی کردن مقادیر زبانی موجود، ابریشم‌چی و همکاران از دو مجموعه مقیاس عددی (۱،۲،۳،۴،۵) و (۱،۳،۵،۷،۹) که معادل مجموعه زبانی (VL,L,M,H,VH) می‌باشد

[1] Provincial Water and Sewage Company (PWSC)
[2] National Water and Sewage Company (NWSC)

استفاده کردند. مقادیر عددی وزن شاخصها در جدول ۵ نشان داده شده است. قبل از محاسبه گزینه برتر با استفاده از MADM، لازم است که مقادیر ماتریس تصمیم (جدول ۳) با استفاده از روابط زیر نرمال گردد. مقادیر نرمال شده ماتریس تصمیم،

جدول۲- ماتریس تصمیم

شاخصها	گزینهها							
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
هزینه کل	۱۱۶	۵۳	۵۰	۱۳۸	۷۶	۴۹	۵۲	۵۲
ارزیابی عمومی	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	خیلی کم	کم	کم
اثر سیاسی	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	خیلی کم	کم	متوسط
کیفیت آب	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
اثر بهداشتی	خیلی کم	کم	متوسط	کم	متوسط	خیلی زیاد	زیاد	زیاد
انعطافپذیری	خیلی کم	متوسط	متوسط	کم	خیلی زیاد	متوسط	متوسط	زیاد
کنترل نیاز آب	خیلی کم	کم	متوسط	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط
زمان کمبود آب	۴	۱۱	۱۱	۲	۵	۶	۵	۵
اثر آلودگی	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	کم	کم	متوسط

جدول۳- ماتریس تصمیم کمّی شده

شاخصها	گزینهها							
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
هزینه کل	۱۱۶	۵۳	۵۰	۱۳۸	۷۶	۴۹	۵۲	۵۲	کمینه
ارزیابی عمومی	۵	۴	۳	۴	۳	۱	۲	۳	بیشینه
اثر سیاسی	۵	۴	۳	۴	۳	۱	۲	۳	بیشینه
کیفیت آب	۵	۴	۳	۴	۳	۳	۳	۳	بیشینه
اثر بهداشتی	۱	۲	۳	۲	۳	۵	۴	۴	کمینه
انعطافپذیری	۱	۳	۳	۲	۵	۳	۳	۴	بیشینه
کنترل نیاز آب	۱	۲	۳	۲	۴	۵	۵	۳	بیشینه
زمان کمبود آب	۴	۱۱	۱۱	۲	۵	۶	۵	۵	بیشینه
اثر آلودگی	۵	۴	۴	۴	۳	۲	۲	۲	کمینه

جدول ۴- ارزیابی اهمیت شاخصها

DM	شاخصها								
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط
۲	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد

جدول ۵- ضرایب وزنی استفاده شده برای تحلیل حساسیت

DM	مقیاسهای عددی	شاخصها								
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
PWSC	۱، ۲، ۳، ۴، ۵	۳	۲	۲	۱/۸	۲/۲	۲/۳	۱/۷	۱/۵	۱/۵
PWSC	۱، ۳، ۵، ۷، ۹	۵	۳/۵	۳/۵	۳/۱	۳/۹	۴/۱	۲/۹	۲/۵	۲/۵
NWSC	۱، ۲، ۳، ۴، ۵	۳	۱/۳	۱/۷	۱/۷	۲/۳	۱/۳	۱/۷	۲	۲
NWSC	۱، ۳، ۵، ۷، ۹	۵	۲/۱	۲/۹	۲/۹	۴/۱	۲/۱	۲/۹	۳/۵	۳/۵

جدول ۶- ماتریس تصمیم نرمال شده

شاخصها	گزینهها							
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
هزینه کل	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۵
ارزیابی عمومی	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱۲
اثر سیاسی	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱۲
کیفیت آب	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱
اثر بهداشتی	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۷
انعطافپذیری	۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۷
کنترل نیاز آب	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۲
زمان کمبود آب	۰/۰۸	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۱۰
اثر آلودگی	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸

جدول ۷- ارزش و رتبهبندی گزینهها با روش (IOWA)

	DM	گزینهها							
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
ارزش گزینه (IOWA)	PWSC	۰/۰۹۲	۰/۱۳۳۷	۰/۱۳۲۲	۰/۰۹۱۷	۰/۱۳۸۴	۰/۱۳۹۵	۰/۱۳۶۸	۰/۱۳۸۸
	NWSC	۰/۱۳۰۲	۰/۱۴۲	۰/۱۳۱	۰/۱۰۵	۰/۱۲۵	۰/۱۱۸	۰/۱۲۴	۰/۱۲۶
رتبهبندی گزینهها	PWSC	۸	۵	۶	۷	۳	۱	۴	۲
	NWSC	۳	۱	۲	۸	۵	۷	۶	۴

در جدول ۶ نشان داده شده است.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}} \qquad G_i \text{ برای شاخص سود } , j=1,..,n \qquad (۱۳)$$

$$r_{ij} = \frac{(1/a_{ij})}{\sum_{j=1}^{n} (1/a_{ij})} \qquad G_i \text{ برای شاخص هزینه } , j=1,..,n \qquad (۱۴)$$

در ادامه، با استفاده از اطلاعات موجود و روشهای ذکر شده گزینه برتر انتخاب میگردد.

۵- روش تحقیق

۵-۱-روش IOWA

تصمیم گیران ارزیابیهای خود را از اهمیت شاخصها به صورت زبانی ارائه نمودهاند. به دلیل وجود عدم قطعیت در کمّی کردن مقادیر زبانی وزن شاخصها، انتخاب روش IOWA در محاسبه گزینه برتر مناسب است. مزیت روش IOWA این است که در این روش برای محاسبه گزینه برتر، نیازی به کمّی کردن وزن شاخصهایی که به صورت زبانی ارائه شدهاند نمیباشد، در نتیجه عدم قطعیت کمتری در انتخاب گزینه نهایی اعمال میگردد. نتایج حاصل از روش IOWA در جدول ۷ ارائه شده است.

۵-۲- روش TOPSIS

با استفاده از روابط ۵ تا ۱۰ و جدول ۳، ارزش هر گزینه محاسبه و نتایج آن در جدول ۸ نشان داده شده است.

۵-۳- روش تخصیص خطی

ویژگی اصلی روش تخصیص خطی نسبت به سایر روشها این است که در این روش نیازی به بیمقیاس نمودن شاخصهای کمّی و کیفی نیست. پس از تشکیل ماتریس Q_G، رتبهبندی گزینهها با حل رابطه ۱۲ به دست میآید. مدل مربوطه در محیط اکسل[1] حل گردید. جدول ۹ نتایج رتبهبندی گزینهها را با استفاده از روش فوق نشان میدهد. جدول ۱۰ نتایج رتبهبندی گزینهها را با استفاده از روش برنامهریزی سازشی(CP) و براساس نتایج گزارش شده توسط ابریشمچی و همکاران نشان میدهد[۱۱].

گرچه ابریشمچی و همکاران تنها از روش برنامهریزی سازشی برای انتخاب بهترین گزینه آبرسانی به شهر زاهدان استفاده کردند، ولی نتایج مطالعات صورت گرفته (جدولهای ۷ تا ۹) نشان میدهد که نتایج حاصل از روشهای مختلف، با یکدیگر متفاوت میباشند. لذا ضروری است که انتخاب روش مناسب برای تصمیمگیری چند شاخصه و به تبع آن انتخاب گزینه برتر با دقت و تحلیل حساسیت

[1] Excel

جدول ۸- ارزش و رتبه‌بندی گزینه‌ها با روش TOPSIS

	DM	مقیاس‌های عددی	گزینه‌ها						
			۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
ارزش گزینه (CL^+)	PWSC	۱، ۲، ۳، ۴، ۵	۰/۴۷۴	۰/۵۱	۰/۴۷۱	۰/۴۸۱	۰/۵۶۳	۰/۳۴۴	۰/۳۷۵	۰/۴۳۹
		۱، ۳، ۵، ۷، ۹	۰/۴۷۱	۰/۵۰۹	۰/۴۶۹	۰/۴۷۸	۰/۵۶۷	۰/۳۴۵	۰/۳۷۸	۰/۴۴۷
	NWSC	۱، ۲، ۳، ۴، ۵	۰/۴۶۶	۰/۵۳۲	۰/۵۲۶	۰/۴۶۳	۰/۵۱۱	۰/۳۷۴	۰/۳۸۱	۰/۳۸۶
		۱، ۳، ۵، ۷، ۹	۰/۴۶۱	۰/۵۳۶	۰/۵۳۵	۰/۴۵۶	۰/۵۰۶	۰/۳۸۱	۰/۳۸۵	۰/۳۸۸

جدول ۹- رتبه‌بندی گزینه‌ها با روش تخصیص خطی

DM	مقیاس‌های عددی	گزینه‌ها							
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
PWSC	۱، ۲، ۳، ۴، ۵	۱	۴	۲	۳	۵	۸	۶	۷
	۱، ۳، ۵، ۷، ۹	۱	۳	۴	۷	۵	۸	۶	۲
NWSC	۱، ۲، ۳، ۴، ۵	۱	۳	۲	۷	۵	۸	۴	۶
	۱، ۳، ۵، ۷، ۹	۱	۸	۲	۷	۵	۳	۶	۴

جدول ۱۰- رتبه‌بندی گزینه‌ها با روش برنامه‌ریزی سازشی (CP) [۱۱]

DM	مقیاس‌های عددی	p=۱								p=۲							
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
PWSC	۱، ۲، ۳، ۴، ۵	۶	۱	۳	۸	۲	۷	۵	۴	۶	۱	۳	۷	۲	۸	۵	۴
	۱، ۳، ۵، ۷، ۹	۶	۱	۳	۸	۲	۷	۵	۴	۶	۱	۳	۷	۲	۸	۵	۴
NWSC	۱، ۲، ۳، ۴، ۵	۶	۱	۲	۸	۴	۷	۵	۳	۶	۱	۳	۸	۲	۷	۵	۴
	۱، ۳، ۵، ۷، ۹	۶	۱	۲	۸	۴	۷	۵	۳	۶	۱	۲	۷	۳	۸	۵	۴

بیشتری صورت بگیرد. هرچند که به طور قطع نمی‌توان یک روش خاص را برای مسائل منابع آب پیشنهاد کرد، ولی به نظر می‌آید در این مطالعه موردی با توجه به استفاده از عناوین زبانی در ارزیابی وزن شاخصها، در صورت استفاده از روش IOWA عدم قطعیت کمتری در انتخاب گزینه نهایی ایجاد می‌گردد. لذا پیشنهاد می‌گردد گزینه نهایی با استفاده از روش IOWA و انجام تحلیل حساسیت مناسب بر روی بردار وزن عملگر انتخاب گردد. علاوه بر این می‌توان با استفاده از تصمیم‌گیری گروهی و تجمیع نظرات شرکت‌کنندگان، گزینه برتر را با توافق بین تصمیم‌گیران انتخاب نمود.

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق ضمن بررسی تصمیم‌گیری چندشاخصه و ارائه یک الگوریتم کامل به منظور انجام تصمیم‌گیری چندشاخصه، جزئیات سه روش IOWA، TOPSIS و تخصیص خطی مورد بررسی قرار گرفت. سپس انتخاب مطلوب‌ترین گزینه از بین گزینه‌های موجود برای تأمین آب شهر زاهدان با استفاده از روشهای فوق صورت گرفته و نتایج آن با نتایج حاصل از روش برنامه‌ریزی سازشی(CP) مورد مقایسه قرار گرفت. گرچه ابریشم‌چی و همکاران تنها از روش برنامه‌ریزی سازشی برای انتخاب بهترین گزینه آبرسانی به شهر زاهدان استفاده کردند ولی نتایج مطالعات صورت گرفته نشان داد که نتایج حاصل از روشهای مختلف، کاملاً با یکدیگر متفاوت می‌باشند. لذا ضروری است که انتخاب روش مناسب برای تصمیم‌گیری چندشاخصه با دقت و تحلیل حساسیت بیشتری صورت بگیرد. هر چند که به طور قطع نمی‌توان یک روش خاص را برای مسائل خاص تصمیم‌گیری در مسائل منابع آب پیشنهاد نمود ولی به نظر می‌آید در این مطالعه موردی با توجه به استفاده از عناوین زبانی در ارزیابی وزن شاخصها، در صورت استفاده از روش IOWA عدم قطعیت کمتری در انتخاب گزینه نهایی ایجاد می‌گردید. هر یک از روشهای تصمیم‌گیری دارای ویژگیهایی هستند که استفاده از آنها نتایج مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه را مطلوب‌تر می‌نماید. به طور کلی، انتخاب روش مناسب برای تصمیم‌گیری چندشاخصه رابطه مستقیم با محیط مسئله و نوع ارزیابی‌های صورت گرفته از گزینه‌ها و بردار وزن شاخصها دارد. بنابراین انتخاب یک روش مناسب برای تصمیم‌گیری چندشاخصه، خود نیاز به یک تصمیم‌گیری مناسب دارد و لازم است که گزینه نهایی پس از استفاده از روشهای مختلف تصمیم‌گیری چندشاخصه و انجام آنالیز حساسیت مناسب انتخاب گردد. علاوه بر این می‌توان با استفاده از تصمیم‌گیری گروهی و تجمیع نظرات شرکت کنندگان، گزینه برتر را با توافق بین تصمیم‌گیران انتخاب نمود.

۷- مراجع

1- Pohekar, S. D., and Ramachandran, M. (2004). "Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 365-381.

۲- اصغرپور، م. ج. (۱۳۸۱). *تصمیم‌گیری چندمعیاره*، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

3- Hyde, K. M., Maier, H. R., and Colby, C. B. (2005). "A distance-based uncertainty analysis approach to multi-criteria decision analysis for water resource decision making." *Journal of Environmental Management*, 77, 278-290.

4- Tecle, A., Fogel, M., and Duckstein, L. (1988). "Multicriterion selection of wastewater management alternatives." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114, 383-398.

5- Netto, O. C., Parent, E., and Duckstein, L. (1996). "Multicriterion design of long-term water supply in southern France." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122, 403-413.

6- Anand Raj, P. A., and Kumar, D. N. (1996). "Ranking of river basin alternatives using ELECTRE." *Hydrological Sciences*, 41, 697-713.

7- Abrishamchi, A., and Tajrishi, M. (1997). "Multicriteria decision making in irrigation planning." *Proc., 4th Int. Conf. on Civil Engineering*, Sharif University of Technology, Tehran, Iran, 79-88.

8- Kheireldin, K., and Fahmy, H. (2001). "Multi-criteria approach for evaluating long term water strategies." *Water International,* 26, 527-535.

9- Choi, D. J., and Park, H. (2001). "Analysis of water privatization scenarios in Korea with multi-criteria decision making techniques." *Journal of Water Supply Research and Technology-AQUA*, 50, 335-352.

10- Chuntian, C., and Chau, K. W. (2002). "Decision aiding three-person multi-objective conflict decision in reservoir flood control." *European Journal of Operational Research*, 142, 625-631.

11- Abrishamchi, A., Ebrahimian, A., and Tajrishi, M. (2005). "Case study: Application of multicriteria decision making to urban water supply." *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131 (4), 326-335.

12- Hajkowicz, S., Young, M., Wheeler, S., MacDonald, D., and Young, D. (2000). Supporting decisions: understanding natural resource management assessment techniques, CSIRO Land and Water 2000.

13- Xu, Z. (2006). "Induced uncertain linguistic OWA operators applied to group decision making." *Information Fusion,* 7, 231-238.

14- Herrera-Viedma, E., Herrera, F., and Chiclana, F. (2002). "A consensus model for multiperson decision making with different preference structures." *IEEE, Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, Part A, 32(3), 394-402.

15- Larichev, O. I., Moshkovich, H. M. (1995). "ZAPROS-LM-a method and system for ordering multiattribute alternatives." *European Journal of Operational Research,* 82, 503-521.

16- Roy, B., and Vincke, P. (1981). "Multicriteria analysis: survey and new directions." *European Journal of Operational Research*, 8, 207-218.

17- Huang, C. L., and Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision-making: methods and applications,* Springer, Berlin.

18- Wang, Y. M. (2005). "On fuzzy multiattribute decision-making models and methods with incomplete preference information. " *Fuzzy Sets and Systems*, 151, 285-301.

19- Wang, Y. M., and Fu, G. W. (1993). "A new method of determining the weight coefficients among multiple attributes." *J. Tsinghua Univ*., 33 (6), 97-102.

20- Wang, Y. M., and Parkan, C. (2005). "A general multiple attribute decision-making approach for integrating subjective preferences and objective information." *Fuzzy Sets and Systems*, Article in press.
21- Barron, H., and Schmidt, P. (1988). "Sensitivity analysis of additive multiattribute value models." *Operations Research*, 36, 122-127.
22- Triantaphyllou, E., and Sanchez, A. (1997). "A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision-making methods." *Decision Sciences*, 28, 151-194.
23- Ringuest, J. L. (1997). "Lp-metric sensitivity analysis for single and multiattribute decision analysis." *European Journal of Operational Research*, 98, 563-570.
24- Smolikova, R., and Wachowiak, M. P. (2002). "Aggregation operators for selection problems." *Fuzzy Set and Systems*, 131, 23-34.
25- Yager, R. R. (1988). "On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making." *IEEE, Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, 8, 183-190.
26- Yager, R. R. (1993). "Families of OWA operators." *Fuzzy Sets and Systems*, 59, 125-148.
27- Yager, R. R. (1994). "Aggregation operators and fuzzy systems modeling." *Fuzzy Sets and Systems*, 67, 129-145.
28- Yager, R. R. (1996). "Quantifier guided aggregation using OWA operators.' *International Journal of Intelligent Systems,* 11, 49-73.
29- Yager, R. R., and Filev, D. P. (1999). "Induced ordered weighted averaging operators." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*- Part B 29, 141-150.
30- Hwang, C. L. and Yoon, K. (1981). *Multiple attributes decision making methods and applications,* Springer, Berlin Heidelberg.
۳۱- ضرغامی، م.، اردکانیان، ر.، و مدرس یزدی، م. (۱۳۸٦). " اولویت‌بندی طرحهای انتقال بین حوضه‌ای آب با استفاده از عملگر تجمیع میانگین وزنی مرتب شده استقرایی." م. *علمی- پژوهشی عمران شریف*، ۳۷، ۹۹-۱۰۹.