

بررسی روش های تصمیم گیری چند معیاره و کاربرد آنها در مدیریت منابع آب

محمد نوری، دکتر محمد باقر شریفی

۱- شرکت مهندسی مشاور طوس آب

۲- دانشگاه فردوسی مشهد

Mohammad80_noori@yahoo.com

Mbsharif@ferdowsi.um.ac.ir

خلاصه

در برنامه ریزی منابع آب ارائه یک طرح مشخص که تمام شرایط حاکم را تأمین نماید امکان پذیر نیست. تئوری های تصمیم گیری چندمعیاره ابزار موثری را برای برخورد با این مسائل که شامل بیش از یک هدف اند فراهم می کنند. در این تحقیق به بررسی انواع روش های تصمیم گیری چند معیاره و کاربرد آنها در حل مسائل مدیریت منابع آب پرداخته شده است. نتایج نشان می دهد برنامه ریزی منابع آب با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره، توجه بسیاری از تصمیم گیران را به خود جلب کرده و این روش ها، راه حلی مناسب برای مسائل تصمیم گیری پیچیده آب فراهم می کنند.

کلمات کلیدی: تصمیم گیری چند معیاره، بهینه سازی، چند هدفه، چند شاخصه.

۱. مقدمه

انسان در زندگی روزمره خود تصمیمات بسیاری می گیرد، این تصمیمات از مسائل شخصی و فردی تا مسائل بزرگ و کلان را شامل می شود. در اکثر مسائل تصمیم سازی عموماً اهداف و عوامل متعددی مطرح است و فرد تصمیم ساز سعی می کند که بین چندین گزینه موجود (محدود یا نامحدود) بهترین گزینه را انتخاب نماید. [۱]

برای تحلیل یک سیستم چند معیاره باید عناصر آنرا به خوبی شناخت و آنها را به طور دقیق تعریف کرد و سپس به مدل سازی و

تجزیه و تحلیل آن پرداخت. به طور کلی می توان گفت مسائل تصمیم گیری چندمعیاره MCDM^۱ شامل ۶ مؤلفه می باشند [۲]:

۱- یک هدف یا مجموعه ای از اهداف

۲- تصمیم گیرنده یا گروهی از تصمیم گیران

۳- مجموعه ای از معیارهای ارزیابی (شاخصه ها)

۴- مجموعه ای از گزینه های تصمیم

۵- مجموعه ای از متغیرهای مجهول یا متغیرهای تصمیم

۶- مجموعه ای از نتایج حاصل شده از هر زوج گزینه - شاخصه

عنصر مرکزی این ساختار، یک ماتریس تصمیم است که شامل مجموعه ای از سطرها، و ستون هاست.

این ماتریس نتایج تصمیم را برای مجموعه ای از گزینه ها و معیارهای ارزیابی بیان می کند.

مسائل تصمیم‌گیری پیچیده عموماً از تعدادی از تصمیم‌گیرنده تشکیل شده که به آنها گروه‌های ذینفعینز گفته می‌شود. تصمیم‌گیرنده می‌تواند یک نفر یا گروهی از مردم از قبیل دولت یا نهادهای حقوقی باشد که این افراد با اولویتهای منحصر به فرد خود مشخص میشوند. که اولویت‌ها براساس اهمیت نسبی معیارها و گزینه‌های تصمیم‌می‌باشند. همچنین اولویت‌ها می‌توانند بصورت وزنهای اختصاص داده شده برای معیارهای ارزیابی مورد استفاده قرار گیرند. با اولویت بندی نتایج تصمیم می‌توان بهترین گزینه را انتخاب نمود [۳].

۲. تعاریف و مفاهیم در تصمیم‌گیری چندمعیاره

اهداف

هدف بصورت یک تابع عبارت است از جهت ریاضی مناسب برای بهینه شدن، به عبارتی دیگر جهت یا جهاتی که تصمیم‌گیر یا DM^۲ برای بهینه کردن تصمیم خود نیاز به طراحی آن دارد [۴].

شاخصه‌ها

یک شاخصه پارامتری برای ارزیابی سطح هدف می‌باشد.

معیارها

معیارها، استانداردها، قوانین یا آزمون‌هایی هستند که تصمیم‌گیری بر اساس آنها صورت می‌گیرد.

متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم حامل‌هایی هستند که برای ساخت تصمیمات ویژه توسط یک تصمیم‌گیرنده استفاده میشوند.

قیدها

قیدها، محدودیت‌هایی در مشخصه‌ها و متغیرهای تصمیم هستند که می‌توانند بصورت ریاضی یا غیر آن بیان شوند و باید برای حل درست و قابل قبول یک مسئله بهینه‌سازی ارضاء شوند.

تصمیم‌گیرنده و تحلیل‌گر

عنصر اصلی در فرآیند تصمیم‌گیری وجود تصمیم‌گیر یا DM می‌باشد.

تصمیم‌گیرنده می‌تواند فرد یا گروهی از افراد باشند که قرار است از نتیجه فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره رضایتمند باشند. مسئولیت تصمیم‌گیرنده اینست که هم مسئله تصمیم و هم اهداف مسئله را تعیین کند.

جواب قابل قبول یا امکانپذیر

جواب قابل قبول، جوابی است که مجموعه قیدها یا محدودیت‌ها را ارضاء نماید.

جواب بهینه

جوابی که موجب بهینه بودن هر یک از توابع هدف (یا هر یک از شاخص‌ها) به‌طور هم‌زمان بشود.

جواب ارجح یا برتر

جوابی که توسط DM از بین جوابهای بهینه بعنوان تصمیم‌نهایی انتخاب می‌شود. این جواب را بهترین جواب نیز نامیده‌اند [۵].

1. Objectives
2. Decision Maker
3. Attributes
4. Criteria
5. Decision variables
6. Constraints
7. Optimal Solution
8. Preferred Solution

۲. انواع مدلها

توجه محققین در دهه‌های اخیر معطوف به مدل‌های چندمعیاره برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده گردیده است. در این تصمیم‌گیری‌ها به جای استفاده از یک معیار سنجش از چندین معیار استفاده می‌گردد. انواع مدل‌ها را می‌توان صورت زیر تقسیم‌بندی کرد [۶].

مدل‌های فیزیکی^۱ : واقعیت را در ابعادی کوچکتر ارائه می‌کنند.

مدل‌های شماتیک^۲ : واقعیت را بصورت سمبلیک یا شماتیک ارائه می‌کنند.

مدل‌های مفهومی^۳ : با مجموعه‌ای از مفاهیم و جملات بیان می‌شوند.

مدل‌های ریاضی^۴ : روابط عناصر را از طریق متغیرها و پارامترها بیان می‌کند.

علاوه بر دسته‌بندی فوق تقسیمات دیگری نیز برای مدل‌های چند معیاره وجود دارد که سه تقسیم‌بندی مهم دیگر در اینجا ذکر می‌گردد:

- مدل‌های گسسته و پیوسته
- مدل‌های جبرانی و غیر جبرانی
- مدل‌های فردی و گروهی

مدل‌های گسسته و پیوسته

اگر مجموعه جوابهای قابل قبول قابل شمارش باشد مسئله چند معیاره را گسسته می‌نامیم. این نوع مسائل را به اختصار

MADM^۵ یا چند شاخصه نامگذاری کرده‌اند.

اگر مجموعه جوابهای قابل قبول (Fd) قابل شمارش نباشد در این صورت مسئله چند منظوره را پیوسته می‌نامیم. این نوع مسائل

را MODM^۶ یا چند هدفه نامیده‌اند.

جدول (۱) یک مقایسه بین روشهای MADM, MODM انجام میدهد. [۷]

جدول (۱) مقایسه روشهای MADM, MODM

MADM	MODM	
شاخصه‌ها	اهداف	معیارها تعریف می‌شوند با:
ضمنی ^۸	صریح ^۷	اهداف
صریح	ضمنی	شاخصه‌ها
ضمنی	صریح	قیدها
صریح	ضمنی	گزینه‌ها
محدود	نامحدود	تعداد گزینه‌ها

1. Icon Models , Physical Models
2. Anagog Models
3. Conceptual Models
4. Mathematical Models
5. Multi Attribute Decision Making
6. Multi Objective Decision Making
7. Explicit
8. Implicit

کنترل تصمیم گیر	مهم	محدود شده
الگوی مدل سازی تصمیم	فرآیند گرا	نتیجه گرا
وابسته است به	طراحی / جستجو	ارزیابی / انتخاب

مدل‌های جبرانی و غیر جبرانی

اگر یک معیار باعث جبران ضعف معیار دیگر شود مدل را جبرانی در غیر به آن مدل غیر جبرانی گویند.

مدل‌های فردی و گروهی

مدلهای فردی بر اساس نظرات یک نفر ساخته می‌شود و در حالیکه مدل‌های گروهی بر نظرات جمع استوار است [۸].

۳. روش‌های حل مدل‌ها

روشهای آماری، حل بهینه، شبیه‌سازی و روشهای ابتکاری از جمله روشهای حل مدل‌ها می‌باشند.

روشهای آماری

روشهای آماری بیشتر در مدل‌های مفهومی استفاده می‌شوند و به توصیف متغیرها و پارامترها، با استفاده از میانگین و واریانس می‌پردازند.

روش حل بهینه

روش حل بهینه بیشتر در مدل‌هایی استفاده می‌شود که تغییرات زیادی در شرایط واقعی اتفاق نیفتد. در این حالت باید فرضیات به گونه‌ای باشند که مدل از واقعیت خیلی فاصله نگیرد. ساختن این نوع مدل‌ها نیاز به تخصص ویژه داشته و انعطاف‌پذیری مدل هم کم است. در این حالت عموماً مدل بصورت ریاضی بوده و بهترین جواب مسئله با حل ریاضی مشخص خواهد شد.

روش شبیه‌سازی

روش شبیه‌سازی بیشتر در مواردی به کار می‌رود که تعداد متغیرها زیاد بوده و تصادفی نیز باشند. در این صورت برای حل مدل باید از متخصصین مربوطه استفاده کنیم. در این حالت تضمینی وجود ندارد که به بهترین جواب برسیم اما می‌توان مطمئن شد که در محدوده اجرای مدل بهترین جواب انتخاب شده است.

روشهای ابتکاری

روش یا روشهای ابتکاری در حالتی مورد استفاده قرار می‌گیرند که امکان رسیدن به جواب بهینه وجود نداشته و یا بسیار پرهزینه باشد. در این حالت با اطمینان زیادی می‌توان گفت که جواب بدست آمده به اندازه کافی خوب است.

همانگونه که قبلاً بحث شد مدل‌های چند معیاره به دو دسته کلی مدل‌های گسسته و مدل‌های پیوسته تقسیم می‌شوند. زیمرمن^۱ (نقل از [۱]) معتقد است که با اندکی اغماض می‌توان بیان داشت که مدل‌های گسسته همان مدل‌های چند شاخصه و مدل‌های پیوسته همان مدل‌های چند هدفه می‌باشند.

کورهزن و همکاران (نقل از [۱]) اظهار می‌دارند که مدل‌های گسسته مدلهایی هستند که در آنها گزینه‌ها بطور صریح تعریف شده‌اند، در حالیکه مدل‌های پیوسته مدلهایی هستند که گزینه‌ها بصورت ضمنی اعلام شده‌اند.

در اینجا به چند روش معمول برای حل مسائل بهینه‌سازی چندمعیاره اشاره می‌شود.

الف. برنامه‌ریزی آرمانی^۱ (GP)

برنامه‌ریزی آرمانی به تصمیم‌گیر اجازه می‌دهد که برای هر معیار یک مقدار مشخص کند. جواب ارجح به جوابی گفته می‌شود که مجموع انحرافات از مقادیر تعیین شده برای اهداف را کمینه کند.

الف.۱. روش کمینه - بیشینه^۲

در این روش معادله‌ای به صورت زیر حل می‌شود که ضرایب C_1, \dots, C_I ثابت می‌باشند. حل چنین مسائلی به مینی ماکس یا حل چیشف می‌باشد.

$$\text{Minimize } \text{Max} \left\{ c_1 |f_1^* - f_1(x)|; \dots; c_I |f_I^* - f_I(x)| \right\} \quad (1)$$

الف.۲. روش فاصله وزنی

در این روش به هر کدام از توابع هدف f_i ، وزن C_i نسبت داده می‌شود. بنابراین تابع هدف کل، به این صورت نوشته می‌شود.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^I c_i |f_i^* - f_i(x)| \quad (2)$$

الف.۳. روش حداقل مربعات

در این روش بیان فاصله هر گزینه از نقطه آرمانی با یک روش وزن‌دهی اقلیدسی مانند زیر صورت می‌گیرد:

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^I c_i (f_i^* - f_i(x))^2 \quad (3)$$

در صورتی که قیود و توابع هدف خطی باشند یک مسئله برنامه‌ریزی درجه ۲ بدست می‌آید.

ب. برنامه‌ریزی سازش^۵ (CP)

در این روش ابتدا توابع هدف نرمال می‌شوند و سپس جوابهایی که به نقطه ایده‌آل نزدیک‌ترند، با استفاده از یک روش تعیین فاصله مشخص می‌شوند. در مرحله اول به ازای $i = 1, 2, \dots, I$ مسائل بهینه‌سازی زیر حل می‌شوند.

$$\begin{array}{ll} \text{Maximize } f_i(x) & \text{Minimize } f_i(x) \\ \text{Subject to } x \in X & \text{Subject to } x \in X \end{array} \quad \text{و} \quad (4)$$

m_i و M_i برابر مقادیر کمینه و بیشینه $f_i(x)$ در نظر گرفته می‌شوند. سپس در مرحله دوم با فرض اینکه m_i و M_i برای

تمامی آنها موجود باشند، توابع هدف جدید را می‌توان به شکل زیر ایجاد کرد:

$$\bar{f}_i(x) = \frac{M_i - f_i(x)}{M_i - m_i} \quad \text{یا} \quad \bar{f}_i(x) = \frac{f_i(x) - m_i}{M_i - m_i} \quad (5)$$

پس از این مرحله، باید $L_p(x)$ از فرمول کلی زیر کمینه می‌شود:

$$L_p(x) = \left[\sum_{i=1}^I w_i^p \left| \frac{M_i - f_i(x)}{M_i - m_i} \right|^p \right]^{1/p} \quad (6)$$

1. Goal Programming
2. Mini Max solution
3. Weighted Distance Solution
4. Least Squares Solution
5. Compromise Programming

که در آن $Lp(X)$ فاصله متریک، w_i وزن مربوط به معیار A_i ، M_i بهترین مقدار معیار A_i ، m_i بدترین مقدار معیار A_i ، P پارامتر $1 \leq p \leq \infty$ [4].

ج. روش Topsis

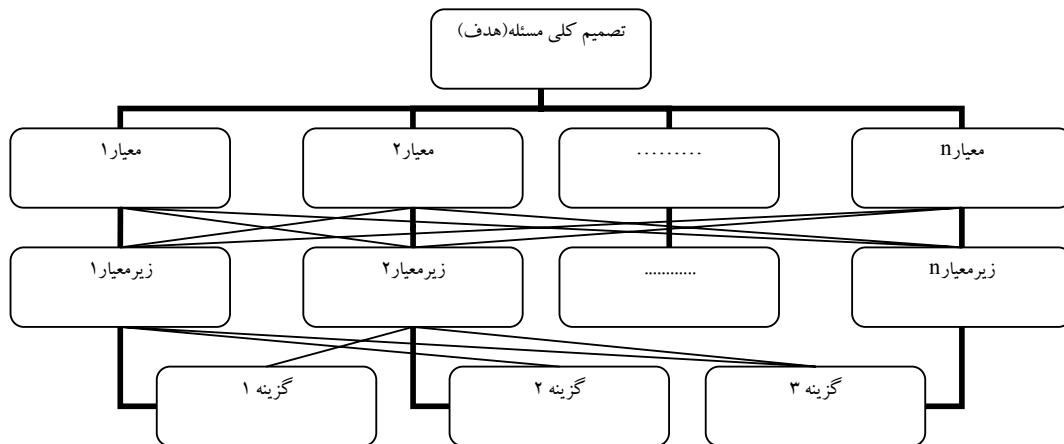
در این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه A_i از نقطه ایده آل، فاصله آن از نقطه ایده آل منفی هم در نظر گرفته می شود. بدان معنی که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از راه حل ایده آل بوده و در عین حال دارای دورترین فاصله از راه حل ایده آل منفی باشد سپس براساس ترتیب نزولی می توان گزینه های موجود از مسئله مفروض را رتبه بندی نمود [5].

د. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

این فرایند گزینه های مختلف را در تصمیم گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد، علاوه بر این بر مبنای مقایسات زوجی بنا نهاده شده، که قضاوت و محاسبات را تسهیل می نماید، همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم گیری چندمعیاره می باشد [9]. حل یک مسئله به روش AHP طی سه مرحله انجام می شود:

- ساختن مدل سلسله مراتبی
- محاسبه وزن
- سازگاری سیستم

اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله می باشد که در رأس آن هدف کلی مسئله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه ها قرار دارند. گاهی اوقات خود معیارها نیز باید به صورت جزئی تر مورد تجزیه تحلیل واقع شوند. که در اینگونه موارد یک سطح دیگر (که شامل زیرمعیارها می باشد) به مدل سلسله مراتبی اضافه می گردد. باید توجه شود که در یک مدل سلسله مراتبی محدودیتی برای تعداد سطوح وجود ندارد. یک فرم کلی از مدل سلسله مراتبی در شکل (1) نشان داده شده است [9].



شکل (۱): یک نمونه کلی از ساختار مدل سلسله مراتبی

محاسبه وزن در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در دو قسمت جداگانه زیر مورد بحث قرار می گیرد [۱۰]:

- وزن نسبی^۱
- وزن نهایی یا مطلق^۲

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی بدست می آید و با استفاده از این ماتریس وزن نسبی عناصر (مطابق جدول (۲)) محاسبه می شود [۹] سپس با تلفیق وزنهای نسبی وزن نهایی هر گزینه مشخص می شود.

جدول (۲) مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)	
۹	Extremely Preferred	کاملاً مرجح یا کاملاً مهمتر یا کاملاً مطلوبتر
۷	Very Strongly Preferred	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	Strongly Preferred	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	Moderately Preferred	کمی مرجح یا کمی مهمتر یا کمی مطلوبتر
۱	Equally Preferred	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲ و ۴ و ۶ و ۸		ترجیحات بین فواصل فوق

وزن نهایی هر گزینه در یک فرآیند سلسله مراتبی از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه ها به دست می آید. یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است. به عبارت دیگر همواره در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می توان میزان سازگاری تصمیم را محاسبه نمود و نسبت به خوب یا بد بودن و یا قابل قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد. در حالت کلی می توان گفت که میزان قابل قبول سازگاری یک ماتریس یا سیستم بستگی به تصمیم گیرنده دارد اما ساعتی، عدد ۰/۱ را بعنوان حد قابل قبول ارائه می نماید و معتقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است در قضاوت ها تجدید نظر گردد [۱۱].

نتیجه گیری

- نتایج کلی بدست آمده از مطالعات انجام شده را می توان به طور خلاصه در قالب موارد زیر ارائه کرد:
- راه رهایی از بن بست در مدیریت آب شهری در کشورمان بکار بستن ابزارهای تحلیل سیستم و مدیریت تقاضا می باشد.
 - روشهای تصمیم گیری چندمعیاره می توانند توسط تصمیم گیران در مطالعات جامع منابع آب بکار گرفته شود. چون میزان عمده ای از بودجه مالی، برای پروژه های آب در مناطق خشک ایران سرمایه گذاری می شود و این امر در آینده نیز ادامه خواهد داشت، استفاده از مدیریت جامع منابع آب برای دستیابی به سود بیشتر بسیار مفید خواهد بود.
 - تحلیل سیستم های آب شهری و نیز امتداد این مطالعات در طول سال های آینده باعث بهینه سازی زمان شروع اجرای طرح های انتقال آب شده، میزان بهینه افزایش ظرفیت برای عرضه آب را ممکن می سازد.
 - برنامه ریزی منابع آب با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره، توجه بسیاری از تصمیم گیران را به خود جلب کرده است و این بیانگر اینست که این روش ها، راه حلی مناسب برای مسائل تصمیم گیری پیچیده آب فراهم می کنند.
 - روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ابزاری توانمند جهت مرتب کردن معیارها در ساختار درخت تصمیم گیری است که با استفاده از جدول تعیین ارزش نظری ساعتی و بر پایه نظرات کارشناسی می توان ارزش و اهمیت نسبی معیارها را مشخص نمود. بنابراین می توان از این روش در مدیریت آب شهری یا دیگر جنبه های مدیریت منابع آب استفاده نمود.

مراجع

۱. قدسی پور، سید حسن ، " برنامه ریزی چندهدفه " ، چاپ اول ، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۲.
2. Bogardi, J.J., and Nachtnebel . H.P., "Multicriteria Decision Analysis in Water Resources Management, International Training Center (PHLO) and the Department of Water Resources of the Wageningen Agricultural University, the Netherlands,1992.
۳. ضرغامی، مهدی ،" استفاده از تصمیم گیری چندمعیاره در مدیریت تأمین و تقاضای آب " ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه صنعتی شریف ، ۱۳۸۱.
۴. بشاورد، مهدی ،" مدیریت آب شهری در مناطق خشک به روش تصمیم گیری چندمعیاره " ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه صنعتی شریف ، ۱۳۸۲.
۵. اصغرپور، محمد جواد ، " تصمیم گیری های چند معیاره " ، چاپ چهارم ، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۴.
6. Fulop, J., "Introduction to Decision Making Methods " , Laboratory of Operations Research and Decision Systems,Computer and Automation Institute , Hungarian Academy of Sciences,2005.
7. Malczewski Jacek ."Gis and Multi Criteria Decision Analysis"department of geography University of westernontario,1999
8. Cai,X., Lasdon, L, Michelsen, A.M., "Group Decision Making in Water Resources Planning using Multiple Objective Analysis " , Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.130, No.1,January 1,2004.
۹. قدسی پور، سید حسن ، " فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) " ، چاپ چهارم ، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۴.
- 10.Rudi Febriamansyah , " The Use of AHP (The Analytic Hierarchy Process)Method for Irrigation Water Allocation In a Small River Basin", Andalas University , 2003.
11. Keith Willett & Ramesh Sharda, " Using The Analytic Hierarchy Process in Water Resources Planning : selection of Flood Control Projects", Department of economics and department of Management , College of Business Administration , Oklahoma State University , 1991.