تصمیم‌گیری گروهی فازی ناهمگن در مدیریت بهم‌پیوسته منابع آب

حجت میان آبادی[۱]، عباس افشار[۲]، همایون خاموشی[۳]

چکیده

پیچیدگی تعاملات در محیط‌های اقتصادی و اجتماعی بطور عام، و پیچیدگی مسائل مدیریت منابع آب بطور خاص و ارتباط مستقیم آن با سایر علوم سبب شده است که یک تصمیم‌گیر به تنهایی نتواند تمام جوانب یک مسأله مدیریت وبرنامه‌ریزی منابع آب را در نظر بگیرد. لذا ضروری است که از تصمیم‌گیران با دانش، مهارت و تجربیات مختلف وزن و اهمیت نسبی متفاوت (تصمیم‌گیری گروهی) در فرآیند تصمیم‌گیری در حوزه مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استفاده گردد. هدف از این مقاله، معرفی فرآیند تصمیم‌گیری گروهی و بررسی کاربرد و کارایی آن در مدیریت و برنامه‌ریزی بهم‌پیوسته منابع آب است. علاوه‌بر این، یک فرآیند جدید برای تصمیم‌گیری گروهی ناهمگن بر مبنای توافق گروهی ارائه می‌گردد. برای بررسی کارایی فرآیند پیشنهادی در مدیریت بهم‌پیوسته منابع آب، یک مطالعه موردی در شمال چین مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعات بیانگر اهمیت در نظر گرفتن و محاسبه وزن نسبی تصمیم‌گیران در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی و کاربرد و کارائی آن در مدیریت بهم‌پیوسته منابع آب است. کاربرد روش پیشنهادی به حل مسائلی که در آنها تعداد زیادی از ذیمدخلان در فرآیند تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب مشارکت داشته و وزن و اهمیت نسبی آنها با یکدیگر متفاوت است کمک خواهد نمود.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری گروهی، مدیریت بهم‌پیوسته منابع آب، عملگرهای تجمیع، توافق گروهی.

۱- مقدمه

مدیریت منابع آب، مجموعه‌ای از اقدامات متعدد مدیریتی است که با هدف بهره‌برداری بهینه از منابع آب و کاهش خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی صورت می‌گیرد. مسائل تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب بدلیل وجود معیارها و شاخص‌های متعدد تصمیم‌گیری، مسائل پیچیده‌ای هستند. برای دستیابی به یک هدف مشخص، راه‌حل‌های متعددی وجود دارد که هر یک ارجحیت‌های مختلفی را برای مسائل مختلف همچون زیست‌محیطی، اجتماعی، سیاسی و سازمانی تأمین می‌نمایند. این الزامات طبعاً موجب استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) [۴] می‌شود که هدف آن انتخاب بهترین جواب از بین راه حل‌های ممکن است. کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در جنبه‌های مختلف مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در تعدادی از مطالعات نشان داده شده

[۱] کارشناس ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران ،شرکت مهندسی مشاور طوس آب، امور سد ونیروگاه، بخش منابع آب. HMianabadi@civileng.iust.ac.ir

[۲] استاد دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران. a_afshar@iust.ac.ir

[۳] استادیار، بخش علوم تصمیم‌گیری، دانشکده تجارت و مدیریت، دانشگاه جورج واشنگتن، hkh@gwu.edu

4 - Multi Criteria Decision Making

است. میان‌آبادی و افشار (۲۰۰۸) از سه روش: میانگین‌گیری وزنی مرتب شده استقرائی (IOWA)[1]، تخصیص خطی و TOPSIS برای بررسی و رتبه‌بندی طرح‌های تأمین آب شهری زاهدان استفاده نموده و نتایج حاصل از روشهای مختلف را با نتایج روش برنامه‌ریزی سازشی مقایسه نمودند[۱]. لمون و مارتینز[2] (۲۰۰۶) از روش تئوری مطلوبیت چندشاخصه (MAUT)[3] برای تخصیص بهینه آب کشاورزی در شمال اسپانیا بهره جستند [۲]. احمد و همکاران (۲۰۰۲) رتبه‌بندی طرح‌های مختلف تصفیه آب کشاورزی جهت استفاده مجدد را با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری‌چندمعیاره انجام دادند[۳]. آناند و کومار[4] (۱۹۹۶) نیز در رتبه‌بندی گزینه‌های مدیریت حوزه رودخانه از روش ELECTER استفاده نمودند[۴]. کاربرد متعدد تصمیم‌گیری‌های چند معیاره در مسائل مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، نشان از قابلیت و توانائی آنها در فرآیند تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی و مدیریت مسائل منابع آب دارد [۱،۵].

در یک محیط واقعی تصمیم‌گیری منابع آب، علاوه‌بر وجود تصمیم‌گیران و ذیمدخلان مختلف، هر یک از آنان نیز از دانش، مهارت و تجربیات متفاوتی برخوردارند و بسیار نادر است که در یک فرآیند تصمیم‌گیری، دو تصمیم‌گیر از مهارت، تجربه و دانش یکسان (وزن یکسان) برخوردار باشند. در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری گروهی، این اختلاف دانش و تجربه تصمیم‌گیران (وزن و اهمیت نسبی تصمیم‌گیران) را در فرآیند تصمیم گیری در نظر نمی گیرند و برای کلیه تصمیم گیران وزن واهمیت یکسانی قائل می‌شوند. کاملاً واضح است که در یک محیط واقعی، این مسأله یک امر انتزاعی و غیر منطقی بوده و باعث ایجاد خطا و عدم قطعیت در جواب نهائی می‌گردد. لذا با توجه به وجود ذیمدخلان و تصمیم‌گیران متعدد در مسائل مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری گروهی ناهمگن در مدیریت آب ضروری است.

هدف از این مقاله، معرفی فرآیند تصمیم‌گیری گروهی و بررسی لزوم کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره گروهی در مدیریت و برنامه‌ریزی بهم‌پیوسته منابع آب است. علاوه‌بر این، یک فرآیند جدید برای تصمیم‌گیری گروهی ناهمگن بر مبنای توافق گروهی در مدیریت منابع آب ارائه می‌گردد. برای بررسی کارایی فرآیند پیشنهادی در مدیریت بهم‌پیوسته منابع آب، یک مطالعه موردی در شمال چین مورد بررسی قرار می‌گیرد. که هدف از آن، رتبه‌بندی ۶ گزینه با توجه به ۵ شاخص مختلف است که در آن ۶ تصمیم‌گیر نظرات و ارزیابی‌های خود را در مورد این گزینه‌ها با توجه به شاخص‌های مختلف ارائه می‌نمایند.

۲- لزوم تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت منابع آب

در دهه‌های گذشته، تصمیم‌گیری در مسائل مدیریت منابع آب و انتخاب گزینه برتر از بین گزینه‌های پیشنهادی جهت حل مشکلات یک حوضه آبریز، تنها بر اساس معیارهای اقتصادی– نسبت سود به هزینه– و تبدیل معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی به معیارهای اقتصادی صورت می‌گرفت. ولی امروزه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، دیگر لازم نیست که تنها از معادل مالی معیارهای اجتماعی و زیست محیطی در انتخاب گزینه برتر استفاده کرد؛ بلکه می‌توان معیارهای مختلف کمی و کیفی را در اولویت‌بندی و انتخاب گزینه‌های برتر در مدیریت منابع آب بکار برد.

مسائل تصمیم‌گیری منابع آب، در اغلب موارد بوسیله تعداد زیادی از گزینه‌ها و نتایج غیرقطعی، شرکت‌کنندگان مختلف با اهداف متضاد و روابط و تعاملات پیچیده تعریف می‌گردند. خصوصیات شاخص‌های مختلف مسائل تصمیم‌گیری منابع آب را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود[۶]:

- شاخص‌ها و معیارها در اغلب مواقع کاملاً با یکدیگر متضاد هستند.

1 - Induced Ordered Weighted Averaging
2 - Limon and Martınez
3 - Multi Attribute utility theory
4 - Anand Raj and Kumar

- بیشتر شاخص‌ها غیرقابل اندازه‌گیری‌اند.
- سازمان‌ها و افراد ذینفع متعددی در منابع آب وجود دارد.
- هر شاخص به طور تقریبی شامل اطلاعات فراوان بوده که بیانگر یک سیستم بسیار پیچیده می‌باشد و
- ارزیابی بعضی از شاخص‌های کیفی، بسیار مشکل بوده که تنها می‌توان با استفاده از مقیاس‌های زبانی آنها را بخوبی ارزیابی نمود.

که در نظر گرفتن همزمان تمامی شاخص‌های فوق در مدیریت و برنامه‌ریزی بهم‌پیوسته سیستم‌های منابع آب بدون استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) امکانپذیر نمی‌باشد.

بطور کلی می‌توان علل لزوم استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت و برنامه‌ریزی جامع منابع آب را به صورت زیر خلاصه نمود:

- ✓ دستیابی به اهداف و محورهای مختلف اسناد بالادستی موجود در مدیریت منابع آب
- ✓ ارتباط موثر و مستقیم مسائل مدیریت منابع آب با سایر حوضه‌ها از قبیل: اقتصاد، اجتماعی، اشتغال و غیره.
- ✓ وجود شاخص‌ها و معیارهای متضاد در مسائل مدیریت منابع آب
- ✓ وجود سازمان‌ها، نهادها و ذیمدخلان مختلف در مدیریت منابع آب
- ✓ لزوم در نظر گرفتن پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی طرح‌ها و برنامه‌های پیشنهادی جهت انتخاب گزینه/ گزینه‌های برتر
- ✓ وجود شاخص‌ها و معیارهای کیفی و غیرقابل اندازه‌گیری در مسائل مدیریت منابع آب.

از طرفی، پیچیدگی مسائل مدیریت منابع آب از یک سو و ارتباط مستقیم آن با سایر علوم از طرف دیگر باعث شده است که یک تصمیم‌گیر به تنهایی نتواند تمام جوانب لازم برای مدیریت و برنامه‌ریزی جامع منابع آب را در نظر بگیرد. لذا ضروری است که از تصمیم‌گیران متعدد با تخصص و مهارت‌های مختلف همچون کشاورزی، اقتصاد، محیط‌زیست، جامعه‌شناسی و ... در فرآیند تصمیم‌گیری منابع آب استفاده گردد[۷]. توجه به تمامی موارد فوق، بیانگر اهمیت و لزوم بکارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، بویژه تصمیم‌گیری گروهی در مدیریت بهم‌پیوسته منابع آب (IWRM)[1] است.

۳- تصمیم‌گیری گروهی

تصمیم‌گیری گروهی، یک امر ضروری در حل بسیاری از مسائل بویژه مسائل با پیچیدگی‌های زیاد است. دانش و اطلاعات بیشتر، درک و فهم بهتر از مسأله ، امکان ایجاد خطای کمتر، همکاری اعضاء گروه، ایجاد خلاقیت بیشتر و ایجاد تعادل در ریسک‌پذیری در مسائل تصمیم‌گیری از جمله مزایای تصمیم‌گیری گروهی در مقابل تصمیم‌گیری چندمعیاره است[۸،۹]. تصمیم گیری گروهی شامل چهار مرحله: ۱- تعیین و ارزیابی، ۲- همگن‌سازی نظرات، ۳- تجمیع و انتخاب گزینه برتر و در نهایت ۴- ارزیابی میزان توافق گروهی می باشد[۱۰]. مرحله اول شامل تعیین: گزینه‌ها، شاخص‌ها و شناسایی تصمیم‌گیران و ارزیابی: وزن نسبی تصمیم‌گیران، وزن شاخص‌ها و ارزش گزینه‌ها در مقابل شاخص‌ها است. پس از اخذ نظرات مختلف تصمیم‌گیران در مورد ارزش گزینه‌ها در مقابل شاخص‌ها به روش‌هی مختلف، این نظرات باید همگن و یکنواخت گردند. سپس، نظرات آنها بوسیله یک عملگر تجمیعی با یکدیگر تجمیع می‌گردد و براساس ارزش تجمیعی و نهایی هر گزینه، گزینه برتر انتخاب می‌گردد. پس از تجمیع رتبه‌بندی

1 . Integrated Water Resources Management

گزینه‌ها، میزان توافق گروهی بر روی هر گزینه و جواب گروهی محاسبه می‌گردد. اگر میزان توافـق گروهـی بـر روی تمام گزینه‌ها از حداقل توافق گروهی لازم – که توسط مدیر گروه و یا نظر گروه تعیین می‌گردد- بیشتر باشد، گزینـه انتخاب شده به عنوان جواب نهایی انتخاب شده و به اطلاع اعضاء گروه می‌رسد. در غیـر اینصـورت، از تصـمیم‌گیـران خواسته می‌شود که نظراتشان را برای دستیابی به یک توافق گروهی مناسب اصلاح نمایند.

تجمیع سومین و مهمترین مرحله در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی است[۱۱]. در این مرحله، نظر کلیه اعضاء گروه برای دستیابی به رتبه بندی نهایی گزینه ها با یکدیگر تجمیع می گردد. برای تجمیع داده‌ها، از عملگرهای تجمیع استفاده می‌گردد. عملگرهای تجمیع متعددی برای تجمیع نظرات شرکت کنندگان وجود دارد که از آن جمله می توان به عملگرهای تجمیعی میانگین‌گیری [۱۲،۱۳]، میانه وزن‌دهی شده [۱۴]، انتگرالSugeno [۱۵]، رتبه‌بندی Leximin [۱۶]، عملگر تجمیعی میانگین وزنی مرتب شده (OWA)[1] [۱۷-۱۹] اشاره کرد. عملگرهای میانگین‌گیری حسابی (WAA) و میانگین‌گیری وزنی مرتب شده (OWA) رایج‌ترین عملگرهای تجمیعی برای تجمیع داده‌ها می‌باشند [۲۰،۲۱]. ساده‌ترین عملگر تجمیع، همان روش میانگین‌گیری وزنی ساده یا عملگر WAA[2] است که بصورت زیر می‌باشد:

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

که x_i (i=۱، ...، n) داده‌های ورودی و w_i وزن داده‌ها می‌باشد.

عملگر OWA، عملگر تجمیعی با بردار وزن متناظر $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1, w \in [0,1]^n$ است به طوریکه:

$$F_w(x) = \sum_{i=1}^{n} w_i.b_i \quad , \quad \mathrm{x} \in \mathrm{I}^{\mathrm{n}} \qquad (۲)$$

که b_i، iامین مقدار بزرگ مجموعه مرتب شده صعودی به نزولی مجموعه X است که بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$w_i = Q(\frac{i}{n}) - Q(\frac{i-1}{n}) \quad , \quad i = 1,...,n \qquad (۳)$$

که 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:

$$Q(r) = \begin{cases} 0 & \text{if : } \quad r < a \\ \dfrac{r-a}{r-b} & \text{if : } \quad \mathrm{a} < r < b \\ 1 & \text{if : } \quad r > b \end{cases} \qquad (۴)$$

رایج‌ترین کمیت‌سنج های زبانی فازی که در محاسبه بردار وزن به کار برده می شوند،کمیت سنج های «بیشترین»، «حداقل نیمی»، «تا حد ممکن» می باشند که بازه آنها به ترتیب (۰/۸و ۰/۳) و (۰/۵و ۰) و (۱و ۰/۵) می‌باشند [۸].

با توجه به روابط (۱) و (۲) کاملاً واضح است که عملگر WAA وزن‌دهی خود را تنها بر اساس اهمیت متغیرها انجام می دهـد و از اهمیت مقادیر متغیرها صرفنظر می کند. در حالیکه عملگر OWA تنها مقـدار و رتبـه بنـدی متغیرهـا را وزن‌دهـی نمـوده و از اهمیت متغیرها صرفنظر می‌کند. برای حل این مسأله، Xu و Da [۲۰]، عملگر میانگین‌گیری وزن‌دهی مرکب (HWA)[3] را معرفی کردند که هم اهمیت متغیرها و هم مقدار آنها را در وزن دهی آنها در نظر می گیرد. عمگر HWA به صورت زیر تعریف می شود:

1 . Ordered Weighted Averaging
2. Weighted arithmetic averaging
3 . Hybrid Weighted Averaging

$$HWA_{v,w}(a_1, a_2, ..., a_n) = \sum_{j=1}^{n} v_j . b_j \qquad (۵)$$

که v_j بردار وزن عملگر و $\sum_{j=1}^{n} v_j = 1$ می باشند. بردار وزن v_j همانند بردار وزن عملگر OWA محاسبه می‌گردد.. b_j، j امین مقدار بزرگ مجموعه مرتب شده صعودی به نزولی مجموعه $nw_i a_i$ است. $W = (w_1, w_2, ..., w_n)^T$ بردار وزن متغیرهای(i=۱،۲،...، n) a_i بوده که $\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$, (j=۱،۲،...، n) و n ضریب تعادل است که نقش یک متعادل کننده را بازی می کند.

در یک تصمیم‌گیری گروهی ، اگر t تصمیم‌گیر نظرات خود را درباره s گزینه باتوجه به n شاخص، به صورت $p_{ij}^{(q)}$ ارائه دهند، مقدار تجمیعی این مقادیر بوسیله عملگر HWA به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$r_{ij} = HWA_{v,\lambda}(r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, ..., r_{ij}^{(q)}, ..., r_{ij}^{(t)}) \quad q = 1,2,...,t \\ i = 1,2,...,s \\ j = 1,2,...,n \qquad (۶)$$

که $r_{ij}^{(q)}$ مقادیر وزن دهی شده نظرات بر اساس وزن نسبی شاخص‌ها می باشد که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$r_{ij}^{(q)} = P_{ij}^{(q)} . w_j \ , \ j = 1,2,...,n \qquad (۷)$$

در روابط فوق $p_{ij}^{(q)}$ ارزیابی تصمیم‌گیر q از گزینه i بر اساس شاخص j و w_j (j=۱،۲، ...، n) بردار وزن نسبی شاخص‌ها می باشد که $w_j \geq 0$ و $\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$. بردار $v = (v_1, ..., v_t)^T$ نیز بردار وزن عملگر HWA و بردار $\lambda = (\lambda_1, ..., \lambda_t)^T$ بردار وزن تصمیم‌گیران می باشد.

روشهای متعددی برای محاسبه وزن نسبی تصمیم‌گیران ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روشهای Theil [۲۲]، Bodily [۲۳]، Brock [۲۴]، Ramanathan و Ganesh [۲۵]، میان‌آبادی و افشار [۱۰] و روش Olcer و Odabasi [۲۶] اشاره کرد. در این مطالعه از روش میان‌آبادی و افشار برای محاسبه وزن نسبی تصمیم‌گیران استفاده می‌گردد. ویژگی بارز این روش نسبت به سایر روشها آنست که در این روش وزن نسبی تصمیم‌گیران، با استفاده همزمان از ارزیابی تصمیم‌گیران نسبت به یکدیگر و ارزیابی ذهنی مدیر گروه در مورد اهمیت نسبی تصمیم‌گیران محاسبه می‌گردد.

در این روش، اهمیت تصمیم‌گیر j از نظر تصمیم‌گیر i بر اساس رابطه زیر بدست می آید[۱۰]:

$$w_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n} \left\{1 - \left|P_{ik} - P_{jk}\right|^b\right\}}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{q} \sum_{k=1}^{n} \left\{1 - \left|P_{ik} - P_{jk}\right|^b\right\}} \quad , \quad b \in (0,1) \qquad (۸)$$

که b میزان سختگیری در اختصاص وزن به هر تصمیم‌گیر را کنترل می نماید. در یک اختلاف نظر ثابت هرچه میزان b بیشتر باشد، وزن کمتری به تصمیم‌گیر در نظرگرفته شده اختصاص می یابد. در رابطه فوق p_{ik} ارزیابی تصمیم‌گیر i از گزینه موجود بر اساس شاخص k می‌باشد. q تعداد تصمیم‌گیران و n تعداد شاخص‌ها می باشد. با توجه به رابطه فوق کاملاً واضح است که هر تصمیم‌گیری که نظرات نزدیکتری نسبت به تصمیم‌گیر i داشته باشد؛ وزن بیشتری از طرف تصمیم‌گیر i به وی اختصاص می یابد. وزن نهایی تصمیم گیرj از نظر سایر اعضا گروه (w_j)، از تجمیع اوزان اعمال شده به این تصمیم‌گیر توسط سایر اعضا گروه با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$w_j = OWA(w_{1j}, ..., w_{j-1,j}, w_{j+1,j}, ..., w_{qj}) \qquad (۹)$$

در یک مسأله واقعی تصمیم‌گیری، مدیرگروه ممکن است نظرات متفاوتی درباره اهمیت نسبی شرکت کنندگان داشته باشد و مایل باشد که آنها را در فرآیند تصمیم گیری و انتخاب گزینه مطلوبتر اثر دهد. اگر D_j بیانگر اهمیت تصمیم‌گیر j از نظر مدیر گروه باشد، وزن نهایی هر یک از تصمیم‌گیران از رابطه زیر بدست می آید.

$$\lambda_j = \alpha.D_j + \beta.w_j \qquad (۱۰)$$

که α و β به ترتیب بیانگر میزان اهمیت نظر مدیر گروه و نظر تصمیم‌گیران در برآورد وزن نسبی شرکت کننـدگان می‌باشد که می‌توان مقادیر آنها را با کمک روش ارزیابی مقایسات زوجی گزینه‌ها در روش AHP بدست آورد.

برای محاسبه میزان توافق گروهی بر روی نظر گروهی و گزینه/گزینه‌های انتخاب شده روشهای متعددی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های: Fairhurst و Rahman [۲۷]، Bryson و Mobolurin [۲۸] و روش Tan و همکاران [۲۹]، Kuncheva [۳۰]، Fedrizzi [۳۱]، Ben-Arieh و Chen [۳۲] و روش Kacprzyk و Zadrozny [۳۳] اشاره کرد. در این مطالعه برای محاسبه میزان توافق گروهی از روش Ben-Arieh و Chen [۳۲] استفاده می‌گردد. در این روش، وزن و اهمیت نسبی هر شرکت‌کننده در محاسبه میزان توافق‌گروهی در نظر گرفته می‌شود. میزان توافق گروهی با استفاده از روش فوق بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_i = \sum_{k=1}^{q}\left[\left(1-\frac{\left|O_{A_i}^{G}-O_{A_i}^{E_k}\right|}{n-1}\right)\right]\times u_k \qquad (۱۱)$$

$$C_G = \frac{1}{q}\sum_{i=1}^{n} C_i \qquad (۱۲)$$

که C_G میزان توافق‌گروهی بر روی جواب نهایی و C_i میزان توافق‌گروهی بر روی گزینه A_i است. $O_{A_i}^{G}$ رتبه گزینه A_i در جواب تجمیعی گروه و $O_{A_i}^{E_k}$ رتبه گزینه A_i از نظر شرکت‌کننده E_k و u_k نیز وزن شرکت‌کننده E_k است. q تعداد شرکت‌کنندگان و n تعداد گزینه‌ها است.

برای بررسی کاربرد و کارائی فرآیند تصمیم‌گیری گروهی معرفی شده در مدیریت و برنامه‌ریزی بهم‌پیوسته منابع آب، یک مطالعه موردی در مدیریت و توسعه منابع آب در شمال چین مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴- مطالعه موردی

برای مدیریت و توسعه منابع آب در شمال چین، ۶ طرح توسعه منابع آب توسط مؤسسه تحقیقات منابع آب و انرژی‌های برق آبی چین (CIWRHR) پیشنهاد گردید [۳۴،۳۵]. شاخص‌های درنظر گرفته شده برای ارزیابی این طرح‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. مشخصات طرح‌های پیشنهاد شده باتوجه به شاخص‌های درنظر گرفته شده در جدول ۱ ارائه شده‌اند. برای ارزیابی گزینه‌ها و انتخاب گزینه برتر، ۶ تصمیم‌گیر درنظر گرفته شده‌اند که ارزیابی‌های خود از اهمیت شاخص‌ها را بصورت عددی ارائه نموده‌اند (جدول ۲). Cai و همکاران [۳۶]، از رابطه زیر برای محاسبه ارزش نهائی هر گزینه از نظر هر تصمیم‌گیراستفاده نمودند:

$$S(i,k) = E(i,j).C(j,k) \qquad (۱۳)$$

که $E(i,j)$، ارزش گزینه i با توجه به شاخص j (جدول ۱) و $C(j,k)$ ارزیابی تصمیم‌گیر k از میزان اهمیت شاخص j (جدول ۲) است. $S(i,k)$ نیز ارزش نهائی گزینه i از نظر تصمیم گیر k است که در جدول ۳ ارائه شده است.

در مرحله اول، وزن هر تصمیم‌گیراز نظر سایر تصمیم‌گیران (w_{ij}) با استفاده از رابطه ۸ و جدول ۲ محاسبه می‌گردد. وزن نهائی هر تصمیم‌گیر از نظر سایر تصمیم‌گیران (w_i)، از تجمیع مقادیر w_{ij} بدست می‌آید. برای تجمیع این مقادیر از

عملگر OWA با کمیت سنج "*حداقل نیمی*" با بازه (۰.۵ ، ۰) و بردار وزن (۰، ۰، ۰.۲، ۰.۴ ، ۰.۴) - با استفاده از روابط (۳) و (۴)- استفاده گردیده است. مدیرگروه نیز ارزیابی خود در مورد اهمیت نسبی تصمیم‌گیران را با استفاده از بازه عددی (۱، ۲، ۳، ۴، ۵) ارائه نموده است. با توافق صورت گرفته بین مدیرگروه و تصمیم‌گیران، میزان تأثیر نظر هریک از آنان در برآورد وزن نسبی تصمیم‌گیران برابر ۵۰٪ تعیین گردیده است. وزن هر تصمیم‌گیر از نظر سایر تصمیم‌گیران و از نظر مدیرگروه و وزن نهایی هر یک از آنان در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۱. ماتریس تصمیم[۲۲] .

Plan	امکان مالی	توسعه اقتصادی	رفاه اجتماعی	حفاظت محیط زیست	خودکفائی کشاورزی
I	۷	۶.۵	۶.۵	۳	۶
II	۳	۵	۴	۵.۵	۸.۵
III	۸	۶.۵	۹	۰.۵	۳
IV	۵	۳.۵	۴	۳.۵	۶.۵
V	۱	۳	۲	۶	۹
VI	۴.۵	۴.۵	۴	۳	۶.۵

جدول ۲. ماتریس اولویت، وزن هر شاخص از نظر هر تصمیم گیر[۲۲] .

Plan	DM^1	DM^2	DM^3	DM^4	DM^5	DM^6
امکان مالی	۰.۲۶	۰.۱۳	۰.۱۸	۰.۱۹	۰.۲۰	۰.۲۴
توسعه اقتصادی	۰.۲۱	۰.۱۸	۰.۲۴	۰.۱۱	۰.۱۷	۰.۲۶
رفاه اجتماعی	۰.۲۲	۰.۱۶	۰.۲۴	۰.۱۳	۰.۰۹	۰.۱۸
حفاظت محیط زیست	۰.۱۴	۰.۲۸	۰.۱۴	۰.۳۳	۰.۲۹	۰.۱۹
خودکفائی کشاورزی	۰.۱۷	۰.۲۴	۰.۱۹	۰.۲۴	۰.۲۶	۰.۱۳

جدول ۳. ارزش هر گزینه از نظر هر تصمیم گیر[۲۲] .

Plan	DM^1	DM^2	DM^3	DM^4	DM^5	DM^6
I	۶.۱۹	۵.۷۴	۶.۱۶	۵.۵۳	۵.۶۲	۶.۰۷
II	۵.۳۱	۵.۹۲	۵.۵۵	۵.۷۳	۵.۷۵	۵.۳۱
III	۵.۹۹	۴.۸۲	۵.۸۶	۴.۵۰	۴.۵۶	۵.۷۵
IV	۴.۹۵	۵.۰۷	۵.۰۰	۴.۹۳	۴.۹۱	۴.۸۶
V	۳.۸۴	۴.۸۱	۴.۰۸	۴.۸۶	۴.۸۷	۳.۸۳
VI	۴.۸۱	۴.۸۵	۴.۸۸	۴.۶۷	۴.۷۳	۴.۷۳

جدول ۴. وزن نهایی تصمیم‌گیران در حالت $\alpha = \beta = ۰.۵$

	w_{ij}						w_i	$\overline{w_i}$	D_i	$\overline{D_i}$	λ_i
	DM^1	DM^2	DM^3	DM^4	DM^5	DM^6					
DM^1	-	۰.۲۰	۰.۲۱	۰.۱۹	۰.۲۰	۰.۲۱	۰.۲۰۸	۰.۱۶۹	۱	۰.۰۶	۰.۱۲.
DM^2	۰.۲۰	-	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۱	۰.۲۰	۰.۲۰۴	۰.۱۶۵	۴	۰.۲۵	۰.۲۱
DM^3	۰.۲۱	۰.۲۰	-	۰.۱۹	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰۴	۰.۱۶۵	۲	۰.۱۳	۰.۱۵
DM^4	۰.۱۹	۰.۱۹	۰.۲۱	-	۰.۲۱	۰.۱۹	۰.۲۰۶	۰.۱۶۷	۴	۰.۲۵	۰.۲۱
DM^5	۰.۱۹	۰.۲۱	۰.۲۰	۰.۲۱	-	۰.۲۰	۰.۲۰۸	۰.۱۶۹	۳	۰.۱۹	۰.۱۸
DM^6	۰.۲۱	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۱۹	۰.۲۰	-	۰.۲۰۴	۰.۱۶۵	۲	۰.۱۳	۰.۱۵

سپس در گام دوم، ارزش نهائی هر یک از گزینه ها با استفاده از عملگر HWA محاسبه و گزینه برتر انتخاب می‌گردد. برای بررسی اهمیت محاسبه وزن نسبی تصمیم‌گیران در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی، ارزش نهایی گزینه‌ها در دو حالت بدون در نظر گرفتن وزن نسبی تصمیم‌گیران (گروه همگن) و با در نظر گرفتن وزن نسبی تصمیم‌گیران

(گروه ناهمگن) محاسبه و نتایج آن با یکدیگر مقایسه می‌گردد. ارزش نهائی هر گزینه با استفاده از عملگر HWA به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

۱. ارزش هرگزینه از نظر هر تصمیم‌گیر (جدول ۳)، در وزن نسبی هر تصمیم‌گیر (۶، ... ،۱=i) λ_i ضرب می‌گردد. در حالتیکه شرکت‌کنندگان از وزن یکسانی برخوردارند مقدار (۶، ...،۲،۱=i) $\lambda_i = ۱/۶$ در نظر گرفته شده است و در حالت دوم، مقادیر وزن تصمیم‌گیران براساس مقادیرجدول۴ برابر (۰.۱۵، ۰.۱۸، ۰.۲۱، ۰.۱۵، ۰.۲۱، ۰.۱۲= λ_i) درنظرگرفته‌شده است.

۲. مقادیر بدست آمده از مرحله قبل، به ترتیب صعودی به نزولی مرتب می‌گردند.

۳. مقادیر وزین مرتب شده، در اوزان عملگر HWA ضرب گردیده و ارزش نهائی هر گزینه بدست می‌آید. برای تجمیع نظرات تصمیم‌گیران با یکدیگر از کمیت‌سنج "*حداقل نیمی*" با بازه (۰.۵ ، ۰) و بردار وزن (۰، ۰ ، ۰ ، ۱/۳، ۱/۳، ۱/۳) w=( ) استفاده گردیده است. ارزش تجمیعی نهائی گزینه‌ها با در نظر گرفتن وزن نسبی تصمیم‌گیران و بدون در نظر گرفتن وزن نسبی تصمیم گیران در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵. ارزش و رتبه بندی نهایی هر گزینه از نظر گروه تصمیم‌گیر همگن/ ناهمگن

		گزینه‌ها					
		I	II	III	IV	V	VI
ارزش گزینه (HWA)	همگن	۱.۰۲	۰.۹۷	۰.۹۸	۰.۸۳	۰.۸۱	۰.۸۰
	ناهمگن	۱.۱۲	۱.۱۵	۰.۹۳	۰.۹۸	۰.۹۶	۰.۹۴
رتبه بندی گزینه‌ها	همگن	۱	۳	۲	۴	۵	۶
	ناهمگن	۲	۱	۶	۳	۴	۵

همانطور که مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن وزن نسبی تصمیم‌گیران، گزینه ۲ بهترین گزینه و بدون در نظر گرفتن وزن نسبی آنان، گزینه ۱، گزینه ارجح می باشد. اختلاف رتبه‌بندی نهائی گزینه‌ها به خوبی بیانگر میزان اهمیت محاسبه و در نظر گرفتن وزن نسبی تصمیم‌گیران در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی و رتبه‌بندی نهائی گزینه‌هاست.

میزان توافق‌گروهی بر روی جواب تجمیعی گزینه‌ها را با در نظر گرفتن وزن نسبی تصمیم‌گیران (گروه ناهمگن) محاسبه می‌گردد. میزان توافق گروهی لازم برابر ۰.۸۵ در نظر گرفته‌شده است. برای محاسبه میزان توافق‌گروهی از روش Ben-Arieh وChen [۳۲] استفاده می‌گردد. رتبه‌بندی گزینه‌ها از نظر هر تصمیم‌گیر و نظر گروه، بر اساس جداول (۳) و (۵) در جدول (۶) نشان داده‌شده‌است. با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) میزان توافق‌گروهی بر روی هر گزینه و جواب گروهی محاسبه و در جدول ۷ نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود توافق‌گروهی نهایی از حداقل توافق‌گروهی لازم بیشتر بوده و گزینه ۲ بعنوان جواب نهایی انتخاب می‌گردد.

جدول ۶. رتبه‌بندی گزینه‌ها از نظر تصمیم‌گیران و گروه.

تصمیم‌گیر	گزینه ۱	گزینه۲	گزینه۳	گزینه۳	گزینه۵	گزینه۶
DM^1	۱	۳	۲	۴	۶	۵
DM^2	۲	۱	۵	۳	۶	۴
DM^3	۱	۳	۲	۴	۶	۵
DM^4	۲	۱	۶	۳	۴	۵
DM^5	۲	۱	۶	۳	۴	۵
DM^6	۱	۳	۲	۴	۶	۵
گروه	۲	۱	۶	۳	۴	۵

جدول ۷. توافق‌گروهی هر گزینه و توافق‌گروهی نهایی.

	گزینه ۱	گزینه۲	گزینه۳	گزینه۳	گزینه۵	گزینه۶
توافق‌گروهی هر گزینه	۰.۹۳۶	۰.۸۵۲	۰.۶۴۲	۰.۹۳۶	۰.۷۶۸	۰.۹۷۸
توافق‌گروهی تجمیعی	**۰.۸۵۲**					

نتایج:

مسائل مدیریت منابع آب، در اغلب موارد بوسیله تعداد زیادی از گزینه‌ها، شاخص‌ها و معیارهای مختلف و نتایج غیرقطعی تعریف می‌گردند. از اینرو، مسائل تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب می‌توانند بصورت مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره تعریف گردند که در آنها گزینه‌های مختلف در مقابل تعدادی از شاخص‌ها با توجه به نظرات ذیمدخلان ارزیابی می‌گردند. در این مطالعه یک فرآیند جدید برای تصمیم‌گیری گروهی ناهمگن بر مبنای توافق گروهی ارائه گردید. برای تجمیع داده‌ها از عملگر HWA استفاده گردید. علاوه‌بر این، وزن نسبی تصمیم‌گیران با استفاده همزمان از ارزیابی تصمیم‌گیران نسبت به یکدیگر و ارزیابی ذهنی مدیر گروه در مورد اهمیت نسبی تصمیم‌گیران محاسبه گردید. در تمامی مراحل فرآیند معرفی شده، بویژه مراحل تجمیع و محاسبه میزان توافق گروهی، وزن نسبی تصمیم‌گیران برای تحلیل گزینه‌ها و رتبه‌بندی راه‌حل‌های ممکن مدیریت منابع آب محاسبه و در نظرگرفته شده است.

تحلیل گزینه‌های مختلف مدیریت منابع آب شمال چین بعنوان یک مطالعه موردی، بیانگر کاربرد روش ارائه شده برای یک مسأله واقعی تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب است. در این مدل، ذیمدخلان نظرات خود را در مورد گزینه‌های مختلف بیان نموده و در مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره گروهی مدیریت منابع آب مشارکت نمودند. رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها برای دو حالت تصمیم‌گیری گروهی همگن (بدون محاسبه وزن نسبی تصمیم‌گیران) و تصمیم‌گیری گروهی ناهمگن (با در نظرگرفتن و محاسبه وزن نسبی تصمیم‌گیران) محاسبه گردید که بیانگر تأثیر در نظرگرفتن وزن نسبی تصمیم‌گیران در انتخاب جواب نهایی است. کاربرد روش پیشنهادی به حل مسائلی که در آنها تعداد زیادی از ذیمدخلان در فرآیند تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب مشارکت داشته و وزن و اهمیت نسبی آنها با یکدیگر متفاوت است کمک خواهد نمود.

منابع

[1]. Mianabadi, H., Afshar, A., (2008). "Multi attribute decision making to rank urban water supply schemes", *Water & Wastewater Journal*, v 19, n 66, pp. 34-45.

[2]. Limon, G.A., Martinez, Y., (2006), "Multi-criteria modeling of irrigation water market at basin level: A Spanish case study", *European Journal of Operational Research*, v 173, pp. 313–336.

[3]. Ahmed, S.A., Tewfik, S.R., Talaa, H.A., (2002), "Development and verification of a decision support system for the selection of optimum water reuse schemes", *Desalination*, v 152, pp. 339-352.

[4]. Anand Raj, P.A., Kumar, D.N., (1996), "Ranking of river basin alternatives using ELECTRE". *Hydrological Sciences*, v 41, pp. 697–713.

[5]. Abrishamchi, A., Ebrahimian. A., Tajrishi, M., (2005), "Case Study: Application of Multicriteria Decision Making to Urban Water Supply". *Journal of Water Resources Planning and Management,* v 131, n 4, pp. 326–335.

[6]. Despic, O.; Simonovic S.P., (2000), "Aggregation operators for soft decision making in water resources", *Fuzzy Sets and Systems*, v 115, pp. 11-33.

[7]. Mianabadi, H., Afshar, A., (2007). "Fuzzy Group Decision Making and its Application in Water Resource Planning and Management". Oral Presentation, *2nd Iran Water resources Management Conference*, January 12-13, Isfahan. Iran.

[8]. Choudhurya, A.K., Shankarb, R., Tiwari, M.K., (2006). "Consensus-based intelligent group decision-making model for the selection of advanced technology", *Decision Support Systems*, v 42, pp. 1776–1799.

[9]. Chen, Z., (2005), "*Consensus in Group Decision Making under Linguistic Assessments*." PhD Thesis, Department of Industrial and Manufacturing Systems Engineering, College of Engineering Kansas State University, Manhattan.

[10]. Mianabadi, H., Afshar, A., (2007), "Group decision making, Calculation of relative weights of decision makers to select Ph.D students", *Iranian Journal of Engineering Education*, v 9, n 35, pp. 31-53.

[11]. Phua. M.H., Minowa. M., (2005), "A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia". *Landscape and Urban Planning*, v 71, pp. 207–222.
[12]. Bullen, P. S.; Mitrinovic, D. S.; Vasic, P. M., (1988), "*Means and their inequalities*, *Mathematics and its Applications*", 31, D. Reidel Publishing Co., Dordrecht.
[13]. Marichal, J.L., (1999), "*Aggregation operators for multicriteria decision*", PhD Dissertation, University de Liege.
[14]. Yager, R.R., (1994), "On weighted median aggregation, International Journal of Uncertainty", *Fuzziness and Knowledge-based Systems*, v 2, pp. 101-113.
[15]. Sugeno, M., (1974), "*Theory of Fuzzy Integrals and its Applications*", PhD thesis, Tokyo Institute of Technology, Tokyo.
[16]. Dubois, D.; Fargier, H.; Prade, H., (1996), "Refinements of the maximin approach to decision-making in a fuzzy environment", *Fuzzy Sets and Systems*, v 81, n 1, pp. 103-122.
[17]. Yager, R.R., (1988), "On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making", *IEEE Trans.Systems, Man Cybernet*. v 18, pp. 183–190.
[18]. Yager, R.R., (1993), "Families of OWA operators", *Fuzzy Sets and Systems*, v 59, pp. 125–148.
[19]. Yager, R.R., (1994), "Aggregation operators and fuzzy systems modeling", *Fuzzy Sets and Systems*, v 67, pp. 129–145.
[20]. Xu, Z.S., Da, Q.L., (2003), "An overview of operators for aggregating information". *International Journal of Intelligent Systems*. v 18, pp. 953–969.
[21]. Yager, R.R., Kacprzyk, J., (1997), "*Ordered Weighted Averaging Operators: Theory and Applications*", Kluwer Academic Publishers, Boston.
[22]. Theil, H. (1963). "On the symmetry approach to the committee decision problem", *Management Science*, v 9. Pp. 380–393.
[23]. Bodily, S.E. (1979). "A delegation process for combining individual utility functions", *Management Science*. v 25, pp. 1035–1041.
[24]. Brock, H.W. (1980). "The problem of 'utility weights' in group preference aggregation", *Operations Research*. v 28, pp. 176–187.
[25]. Ramanathan. R., Ganesh. L.S., (1994), "Group preference aggregation methods employed in AHP: an evaluation and an intrinsic process for deriving members' weight ages", *European Journal of Operational Research*, v 79, pp. 249–265.
[26]. Olcer. A.I., Odabasi. A.Y., (2005), "A new fuzzy multiple attributive group decision making methodology and its application to propulsion/maneuvering system selection problem", *European Journal of Operational Research*, v 166, pp. 93–114.
[27]. Fairhurst, M.C.; Rahman, A.F.R., (2000), "Enhancing consensus in multiple expert decision fusion", *IEE Proceedings: Vision, Image and Signal Processing*, v 147, n 1, pp. 39-46.
[28]. Bryson, N.; Mobolurin, A., (1997), "Supporting team decision-making with consensus relevant information", *National Aerospace and Electronics Conference, Proceedings of the IEEE*, v 1, pp. 57-63.
[29]. Tan, B.C.Y.; Teo, H.-H.; Wei, K.-K., (1995), "Promoting consensus in small decision making groups", *Information & Management*, v 28, n 4, p 251.
[30]. Kuncheva, L., (1994), "Pattern recognition with a model of fuzzy neuron using degree of consensus", *Fuzzy Sets and Systems*, v 66, n 2, pp. 241-250.
[31]. Fedrizzi M., (1990), "*On a consensus measure in a group MCDM problem, Multiperson decision making models using fuzzy sets and possibility theory*", Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers, pp. v231-241.
[32]. Ben-Arieh D. Chen Z., (2004), "A new linguistic labels aggregation and Consensus in group decision making", *Conference of IERC 2004*, Houston, Texas, USA.
[33]. Kacprzyk J.; Zadrozny S., (1997), "On the Use of Fuzzy Majority for Supporting Consensus Reaching Under Fuzziness", *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, v 3, pp. 1683-1688.
[34]. Cai, X., (1994), ''*Intelligent group decision support system for regional water resources planning and management*'' MS thesis, Tsinghua Univeresity., P. R. China.
[35]. China Institute of Water Resources and Hydropower Research (CIWRHR), (1994), "*Water resources management in North China*", Vol. *(Main Rep.*), Vol. 2 (*Model and Data*) and Vol. 3 (*Sub reports*). United Nations Development Program and State Science and Technology Commission, CPR/88/068, Beijing, China.
[36]. Cai. X; Lasdon. L;. Michelsen. A.M., (2004). "Group Decision Making in Water Resources Planning Using Multiple Objective Analysis". *Journal of Water Resources Planning and Management*, v 130, n 1, pp. 4-14.