کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در مدیریت یکپارچه منابع آب شهرستان نی‌ریز

صفیه بهمن پوری[۱*] و غلامرضا سلطانی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۱۴

چکیده

در این مطالعه راهکارهای حفاظت و مدیریت یکپارچه منابع آب شهرستان نی ریز در استان فارس با استفاده از ترکیب تحلیل سلسله مراتبی فازی(FAHP) و روش تاپسیس (TOPSIS) مورد ارزیابی قرار گرفت. آمار و داده‌های موردنیاز در مورد وضعیت منابع آب شهرستان نی ریز با استفاده از مصاحبه و نظرخواهی از کارشناسان و تصمیم‌سازان مربوطه، گردآوری شد. برای ارزیابی این راهکارها از معیارهای اصلی اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، فنی و دوازده زیر معیار برای ارزیابی در نظر گرفته شد. نتایج نشان دادند که معیار اقتصادی و اجتماعی با وزن نسبی ۰/۳۵۷ و ۰/۳۵۸ بیش‌ترین تأثیر را در فرایند ارزیابی دارد و معیارهای زیست محیطی و فنی به ترتیب با وزن‌های ۰/۱۹۳و ۰/۰۹۱ رتبه‌های بعدی تأثیرگذاری را دارند. از میان راهکارهای تدوین شده، تغییر کاربری آب با امتیاز ۰/۶۸۲ در رتبه نخست و راهکار افزایش تغذیه و کاهش تخلیه سفره های آب زیرزمینی با امتیاز ۰/۶۳۸ در رتبه دوم قرار گرفت. لذا پیشنهاد می‌شود که راهکارهای تغییر کاربری آب و افزایش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و عملیات آبخیزداری در الویت اجرا قرار گیرد.

طبقه‌بندی JEL: C52, Q25, Q30

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی فازی، مدیریت یکپارچه منابع آب، شهرستان نی ریز.

[۱] - دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز.

[۲] - استاد بخش اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز.

*- نویسنده مسئول مقاله: s.bahmanpouri@gmail.com

پیشگفتار

مدیریت یکپارچه منابع آب فرآیندی شامل توسعه و مدیریت همسوی منابع آب و خاک و دیگر منابع وابسته بمنظور ارتقاء رفاه اجتماعی و اقتصادی در یک بستر عادلانه بدون به خطر انداختن پایداری اکوسیستم های حیاتی (GWP[1]) است. مدیریت یکپارچه منابع آب در اصول چهار گانه دوبلین در سال ۱۹۹۲ ارایه شده که در این اصول بر: ۱- محدود بودن منابع آب شیرین، به کارگیری اقدام‌های همه جانبه در مدیریت منابع آب به صورت پایدار، هماهنگ کردن توسعه اقتصادی و اجتماعی و حفظ منابع طبیعی، ۲- توسعه و مدیریت منابع آب با استفاده از اقدام‌های مشارکتی بهره برداران، افزایش آگاهی های عمومی،۳- نقش زنان در مدیریت منابع آب و ۴- ارزش اقتصادی آب و مدیریت آب به عنوان یک کالای اقتصادی تاکید شده است (سنلن و اسچرول[2]، ۲۰۰۴). بنابراین، ضروری است که تصمیم‌گیر با تخصص و مهارت گوناگون همچون اقتصاد، محیط‌زیست، کشاورزی و جامعه شناختی و غیره در تصمیم‌گیری منابع آب دخیل باشد (جاویدی صباغیان و همکاران، ۱۳۸۹).

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[3] یکی از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده در محیط تصمیم‌گیری است که به بررسی مسایل تصمیم‌گیری با رعایت تعدادی از معیارهای تصمیم می‌پردازد. روی هم رفته، علل لزوم استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب را می‌توان دست‌یابی به اهداف و محورهای گوناگون اسناد بالادستی موجود در مدیریت منابع آب، ارتباط موثر و مستقیم مسایل مدیریت منابع آب با دیگر حوضه‌ها مانند اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و غیره؛ وجود شاخص‌ها و معیارهای متضاد در مسایل مدیریت منابع آب، وجود سازمان‌ها، نهادها و مصرف‌کنندگان گوناگون در مدیریت منابع آب، لزوم در نظرگرفتن پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی طرح‌ها و برنامه‌های پیشنهادی بمنظور انتخاب گزینه‌های برتر، وجود شاخص‌ها و معیارهای کیفی و غیرقابل اندازه‌گیری در مسایل مدیریت منابع آب (میان آبادی و افشار، ۱۳۹۰) نام برد.

یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی است که نخستین‌بار به وسیله توماس ال ساعتی[4] (۱۹۸۰) مطرح شد. تحلیل سلسله مراتبی، روشی است که امکان تصمیم‌گیری صحیح با حضور معیارهای کیفی وکمی و ترکیبی را فراهم می‌کند. با وجود سادگی و سهولت فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی در

[1] -Global Water Partnership
[2]- Snellen & Schrevel
[3] -Multi Criteria Decision Making
[4] -Satty

مسایلی که براساس قضاوت افراد تصمیم‌گیرنده می‌باشد، ابهام موجود در بسیاری از مسایل تصمیم‌گیری می‌تواند باعث قضاوت نادقیق تصمیم‌گیرندگان در روش تحلیل سلسله مراتبی رایج شود. به این دلیل مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد شده است. این روش‌ها با ادغام تئوری مجموعه‌های فازی و تحلیل سلسله مراتبی به‌صورت نظام‌مند درآمده‌اند. نخستین مطالعه در مورد تحلیل سلسله مراتبی فازی توسط لارهوون و پدریکز[۱] (۱۹۸۳) صورت گرفته است،که در آن نسبت‌های فازی به‌وسیله توابع عضویت مثلثی توضیح داده شده است. باکلی[۲] (۱۹۸۵) اولویت‌های فازی را به وسیله توابع عضویت ذوزنقه‌ای تعیین کرد. استام[۳] و همکاران (۱۹۹۶) از روش‌های هوش مصنوعی که تازه توسعه یافته بودند برای تعیین و تقریب اولویت‌ها در تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. چانگ[۴] (۱۹۹۶) روش جدید برای تحلیل سلسله مراتبی فازی ارایه کرد که در آن از اعداد مثلثی فازی برای مقایسات زوجی استفاده کرد و هم‌چنین، از تجزیه و تحلیل مقداری برای ترکیب کردن مقایسات زوجی استفاده کرده است.

گزارش‌های بسیار زیادی از کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در حوزه‌های گوناگون علوم و فنون مهندسی، مدیریت، علوم اجتماعی و غیره منتشر شده است که نشان‌دهنده قابلیت بالای کاربرد این روش‌ها در حل مسایلی هست که همواره بیش از یک معیار و یا یک تصمیم‌گیرنده در آن دخیل هستند.

افشار و همکاران (۲۰۱۰)، به بررسی قابلیت استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای بررسی گزینه‌های گوناگون طرح‌های رودخانه کارون در ایران با توجه به معیارهای گوناگون اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی و غیره پرداختند. روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی و کاربرد آن در مدیریت و کنترل سیل به کمک مخازن توسط فو[۵] (۲۰۰۸) مورد استفاده قرار گرفت. سیمونویس و ورما[۶](۲۰۰۸)، از تکنیک اولویت عملکرد با شباهت به حل ایده‌آل (TOPSIS[۷]) به گونه گسترده در مسایل رتبه‌بندی طرح‌های مدیریت منابع آب استفاده کرد. هرماس[۸] و همکاران (۲۰۰۷)، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای قاعده‌مند کردن مباحث ذی‌نفعان گوناگون در مورد گزینه‌های گوناگون مدیریت رودخانه سفید در قسمت شمال شرقی ایالات متحده استفاده

---

[1]- Laarhoven & Pedrycz
[2]- Buckley
[3] -Stam
[4] -Chang
[5] -Fu
[6] -Simonovic & Verma
[7] -Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Situation
[8] -Hermas

کردند. موریس و آلمیدا[1] (۲۰۰۶) از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره بر مبنای روش سازمان‌دهی رتبه‌بندی ترجیحات به منظور بهبود ارزیابی‌ها (Promethee V[2]) برای انتخاب بهترین استراتژی مدیریت نشت در شبکه‌های آبرسانی استفاده کردند. فنج و همکاران[3] (۲۰۰۴) برای بررسی اثر طرح انتقال آب از جنوب چین به شمال آن، یک سیستم پشتیبانی در تصمیم‌گیری برای ارزیابی اثرهای اجتماعی و اقتصادی این طرح انتقال ارایه دادند. می می و ساوالهی[4] (۲۰۰۳)، به کمک یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر جمع وزنی ساده و با لحاظ معیارهای گوناگون تخصیص بهینه منابع آب رودخانه اردن بین ذینفعان را ارایه کردند. شفائیان فرد و همکاران (۱۳۹۳)، گزینه‌های برتر بهره‌برداری از منابع آب با استفاده از مدل WEAP[5] و تحلیل تصمیم‌گیری چند شاخصه را در حوضه‌ی زرینگل مورد بررسی قرار دادند. صفاری و ضرغامی (۱۳۹۲)، در تخصیص بهینه منابع آب سطحی حوضه آبریز زرینه رود به ذینفعان از مدل‌های چندشاخصه جمع وزنی ساده، برنامه‌ریزی سازشی و روش TOPSIS استفاده کردند.

بیش از ۹۰ درصد مصرف آب در نی‌ریز مربوط به بخش کشاورزی، شش درصد شرب و دو درصد صنعت است که حجم مصرف در بخش آب زیر زمینی ۸۵ درصد و حجم مصرف در بخش آب سطحی ۱۵ درصد است. تعداد چاههای کشاورزی، صنعتی و شرب دشت‌های نی‌ریز ۳۶۶۱ حلقه می‌باشد. سطح آب زیرزمینی دشت‌های نی‌ریز سالانه ۸۰ تا ۹۰ سانتیمتر کاهش می یابد. شهرستان نی‌ریز به دلیل جای دادن ۳۰ هزار هکتار باغ مثمر در خود سالانه به حدود ۳۰۰ میلیون متر مکعب آب نیاز دارد که هم اکنون افت منابع آب های زیرزمینی و خشکیدن رودخانه‌ها، چشمه‌ها، چاهها و قنات‌ها امید کشاورزان و دامداران را برای امرار معاش در روستاها از بین برده است. بحرانی که اگر چاره نشود، مهاجرت روستاییان به شهرها، بیکاری کشاورزان، باغداران و دامداران را به همراه خواهد داشت و دیری نخواهد پایید که شهروندان نی‌ریزی افزون بر دست و پنجه نرم کردن با کم آبی باید شاهد پدید آمدن مسایلی نوین در حوزه اجتماعی- فرهنگی و گسترش ناهنجاری‌ها و فقر مضاعف باشند. بی‌آبی و خشکسالی بحرانی است که در دهه اخیر بخوبی چهره واقعی خود را در ایران نشان داده و با وجود تلاش متولیان این حوزه زنگ خطر بی‌آبی در کشور به صدا درآمده است و این وضعیت روز به روز حادتر می‌شود (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان فارس، ۱۳۹۵).

1- Morais & Almeida
2 -Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
3 -Feng
4 -Mimi & Sawalhi
5 -Water Evaluation And Planning System

بحران آب بر اثر خشکسالی ها، کمبود بارش برف و باران، از بین رفتن جنگل‌ها و مراتع، بارش باران‌های بی نظم، وقوع سیل، اعمال برخی سیاست‌های نادرست و بی توجهی مسوولان در گذشته از بهره برداری منابع آبی ایجاد شده، لذا پدیده کم آبی از دیرباز با بیش‌تر شهرهای کشور بویژه خطه نی‌ریز همراه بوده است. افزایش حجم تقاضا نسبت به حجم آب قابل عرضه، شهرستان نی ریز را دچار بحران آب کرده است، از سوی دیگر، بخش قابل توجهی از آب این منطقه از راه آلودگی از چرخه مصرف خارج شده است. خشک شدن تالاب بختگان تأثیرات منفی فراوانی بر روی معیشت اقتصادی ساکنان منطقه بر جای گذاشته است. از جمله به علت کمبود بخارآب، محصولات کوهی شهرستان نی ریز و استهبان به شدت کاهش یافته است. هم‌چنین، وجود زمین‌های شوره زاری که به جای دریاچه به جای می‌ماند، به زمین‌های کشاورزی کشیده شده و درنتیجه اراضی شوره زار که استعداد چندانی برای کشاورزی ندارند در منطقه گسترش یافته است. گذشته از این، شوره زارها بر سلامت انسان‌های ساکن اطراف دریاچه و جانوران اهلی و وحشی هم زیان آور است و موجب بروز انواع بیماری‌های پوستی، ریوی و چشمی می‌گردد. لذا در صورت ادامه وضعیت کنونی به زودی طوفان شن و نمک، اراضی کشاورزی منطقه را نیز نابود کرده و کویر، به معنای حقیقی آن واقعیت تلخ منطقهبشمار می‌رود (بنان و همکاران، ۱۳۸۷). لذا ضرورت مطالعات یکپارچه منابع آب کاملا جدی بوده است. در این مطالعه راهکارهای حفاظت و مدیریت منابع آب تدوین شده منطقه، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس، رتبه بندی شدند و مورد تجزیه وتحلیل قرار گرفتند.

روش پژوهش

در این مطالعه بمنظور وزن دهی به معیار ها و زیر معیاری مدیریت یکپارچه منابع آب از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد. فرایند کلی تحلیل سلسله مراتبی فازی به صورت زیر می‌باشد (چانگ، ۱۹۹۶):

۱-ایجاد ساختار سلسله مراتبی: اولین مرحله در یک مسئله تصمیم گیری، تعیین ساختار سلسله مراتبی می‌باشد. در این روش هدف، معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها در یک ساختار سلسله مراتبی شبیه یک درخت تنظیم می‌شوند.

۲-مقایسه زوجی: در این مرحله مقایسه زوجی معیارها و زیر معیار ها با استفاده از اعداد مثلثی فازی صورت می پذیرد.

۳-محاسبه وزن معیار ها و زیر معیار ها

روش‌های متعدد به منظورمحاسبه وزن در تحلیل سلسله مراتبی فازی در مطالعات گوناگون ارایه شده است. در این پژوهش از روش تجزیه و تحلیل مقداری چانگ (۱۹۹۶) برای ارزیابی تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد. تجزیه و تحلیل مقداری شامل مراحل زیر می‌باشد:

مرحله نخست: محاسبه ارزش مقدار ترکیبی فازی برای i امین عنصر به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1} \qquad (۱)$$

که در آن $M_{g_i}^{j}$ها $(j=1,2,....,m)$ اعداد فازی مثلثی هستند.

مرحله دوم: محاسبه درجه احتمال که به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$M_2) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M2}(d) = \begin{cases} 1, & if \quad m_2 \geq m_1 \\ 0, & if \quad u_2 \leq l_1 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{Otherwise} \end{cases} \qquad (۲$$

که در آن d نشان دهنده نقطه اشتراک μ_{M1} و μ_{M2} می‌باشد.

بمنظور محاسبه درجه احتمال برای k عدد فازی محدب از رابطه (۳) استفاده می شود:

$$A_1, M_2, \ldots, M_k) = V\left[(M \geq M_1) and (M \geq M_2) and \ldots and (M \geq M_k) \right] = \qquad (۳$$

$$\geq M_1), \quad i = 1, 2, \ldots, k$$

مرحله سوم: محاسبه بردار وزن ها

اگر فرض شود $d'(A_i) = min\ V(S_i \geq S_k) k = 1, 2, \ldots, n;\ k \neq i$ باشد، آنگاه بردار وزن‌ها به صورت رابطه (۴) مشخص می‌شود:

$$W' = \left(d'(A_1), d'(A_2), \ldots, d'(A_i) \right)^T \qquad (۴)$$

در آن $\left(i=1,2,....,n\right)$ A_i ها n عنصر هستند. از راه نرمال کردن می‌توان بردار نرمال وزن‌ها که همان رابطه (۵) می‌باشد را بدست آورد:

$$W=\left(d\left(A_1\right),d\left(A_2\right),.....,d\left(A_2\right)\right)^T \quad (۵)$$

W یک عدد نافازی (قطعی) است.

محاسبه نرخ سازگاری

پس از ساختن تمامی ماتریس‌های زوجی بین معیارها و زیرمعیارها، لازم است تا برای هر یک از ماتریس‌ها نرخ سازگاری (CR[1]) را محاسبه نمود (ساعتی، ۱۹۸۰). گاگوس و بوچر (۱۹۹۸)، براساس شرایط انتقال پذیری قوی، روشی را برای محاسبه درجه سازگاری ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی فاری ارائه کردند. در این روش برای بررسی سازگاری، باید از ماتریس مقایسه زوجی فازی، دو ماتریس جداگانه (A^m A^g ,) تشکیل داد. ماتریس A^m از مقادیر میانی ترجیحات هر پاسخ‌دهنده و ماتریس A^g از میانگین هندسی حد بالا و پایین اعداد فازی مثلثی به صورت روابطه زیر ایجاد می‌شود:

$$A^g=\sqrt{a_{ij}.c_{ij}} \quad (۶)$$

در ادامه بردار وزن هر یک از دو ماتریس بطور جداگانه محاسبه می‌شود. برای این منظور از روابط زیر استفاده شد:

$$W^m=\left[W_i^m\right]=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}b_{ij}} \quad (۷)$$

$$W^g=\left[W_i^g\right]=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{\sqrt{a_{ij}.c_{ij}}}{\sum_{i=1}^{n}\sqrt{a_{ij}.c_{ij}}} \quad (۸)$$

در ادامه بزرگ‌ترین مقدار ویژه ($\lambda_{\max}^m$) برای هر ماتریس محاسبه می‌شود. سپس شاخص سازگاری با استفاده از روابط (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شود.

[1]- Consistency Rate

$$CI^m = \frac{(\lambda^m_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (۹)$$

$$CI^g = \frac{(\lambda^g_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (۱۰)$$

در ادامه با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲)، نرخ سازگاری محاسبه شد:

$$CR^m = \frac{CI^m}{RI^m} \quad (۱۱)$$

$$CR^g = \frac{CI^g}{RI^g} \quad (۱۲)$$

در روابط بالا مقادیر شاخص‌های تصادفی توسط گاگوس و بوچر (۱۹۹۸) محاسبه شده‌اند، حال اگر هر دو نرخ سازگاری بدست آمده (CR^m CR^g ,) کم‌تر از ۰/۱ باشد، مقایسه‌های انجام شده قابل قبول است.

روش تاپسیس

بعداز وزن دهی به معیار ها و زیر معیار ها از روش تاپسیس بمنظور رتبه‌بندی راهکارهای مدیریتی استفاده شده است. این روش به وسیله هوانگ و یون[1] (۱۹۸۱) ارایه شده است، یک روش تصمیم‌گیری چند معیاری بمنظور انتخاب بهترین گزینه از میان مجموعه ای از گزینه‌ها می‌باشد. روش تاپسیس بر این مفهوم بنا شده است که گزینه انتخابی با راه حل ایده آل مثبت کم‌ترین و با راه حل ایده آل منفی بیش‌ترین فاصله را داشته باشد. مراحل اجرای روش تاپسیس به صورت زیر می‌باشد:

مرحله نخست: تشکیل ماتریس داده‌ها به صورت (۱۳) بر اساس n آلترناتیو و k شاخص:

$$A_{ij=}\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (۱۳)$$

[1] -Hwang & Yoon

مرحله دوم: استاندارد نمودن داده‌ها و تشکیل ماتریس استاندارد از طریق رابطه‌ی (۱۴):

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} a_{kj}^2}} \qquad (۱۴)$$

مرحله سوم: تعیین وزن هر یک از شاخص‌ها (W_i) بر اساس $\sum_{i=1}^{n} W_i = 1$. در این راستا شاخص‌های دارای اهمیت بیشتر از وزن بالاتری نیز برخوردارند. سپس با ضرب وزن‌ها ماتریس V_{ij} بدست می آید:

$$v_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \qquad (۱۵)$$

مرحله چهارم: تعیین فاصله‌ی i اُمین آلترناتیو از آلترناتیو ایده‌آل (بالاترین عملکرد هر شاخص) آلترناتیو حداقل (پایین‌ترین عملکرد هر شاخص) که با روابط (۱۶) و(۱۷) نشان داده می‌شود:

$$A^+ = \left\{ (\max_i v_{ij} \,|\, j \in J), (\min_i v_{ij} \,|\, j \in J') \right\} \Rightarrow \; A^+ = \left\{ v_1^+, v_2^+, \ldots, v_n^+ \right\} \qquad (۱۶)$$

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} \,|\, j \in J), (\max_i v_{ij} \,|\, j \in J') \right\} \Rightarrow \; A^- = \left\{ v_1^-, v_2^-, \ldots, v_n^- \right\} \qquad (۱۷)$$

مرحله پنجم: تعیین معیار فاصله‌ای برای آلترناتیو ایده‌آل (d_i^+) و آلترناتیو حداقل (d_i^-) که با رابطه (۱۸) نشان داده می‌شود:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^+)^2} \qquad \text{and} \qquad d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2} \qquad (۱۷)$$

مرحله ششم: تعیین نزدیکی نسبی یک آلترناتیو (C_i^*) به آلترناتیو ایده‌آل با استفاده از رابطه (۱۸) که مقدار آن بین صفر و یک تغییر می‌کند.

$$C_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \qquad 0 \le C_i^* \le 1 \qquad (۱۸)$$

مرحله هفتم: رتبه‌بندی آلترناتیوها و تعیین بهترین گزینه بر اساس مقدار C_i^* می‌باشد به این صورت که $C_i^* = 1$ نشان‌دهنده‌ی بالاترین رتبه و $C_i^* = 0$ نشان‌دهنده کم‌ترین رتبه است.

مدل ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس

نظـر بـه تعدد و تنوع معیارهای موجود در این مطالعه، از تلفیق دو روش چند معیاری تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس در مدیریت یکپارچه منابع آب استفاده شد. تفکیک کاربرد هریک از این دو روش در این مطالعه در قالب دو مرحله زیر بود:

۱-طراحی ساختار سلسله مراتبی و تعیین ارزش وزنی معیار ها و زیر معیار ها با استفاده از روش تحلیل سلسه مراتبی فازی[1] (FAHP) و تعیین امتیاز هرکدام از گزینه ها با توجه به زیر معیارها.

۲- استفاده از روش تاپسیس بمنظور رتبه بندی راهکارهای مدیریتی.

در مرحله نخست، بمنظور تعیین معیارها و زیر معیارهای مدیریت منابع آب، مطالعات گوناگونی مورد بررسی قرار گرفت و ۱۲ زیرمعیار در قالب چهار معیار اقتصادی، فنی، زیست محیطی و اجتماعی (جدول۲) انتخاب شد. ساختار تحلیل سلسله مراتبی بر اساس شـکل ۳ در نظـر گرفته شد که در آن بالاترین سطح ساختار، هدف کلی مدیریت یکپارچه منابع آب و پایین‌ترین سطح، گزینه‌ها که همان راهکارهای مدیریتی می‌باشند (جدول ۳)، مورد بررسـی قـرار گرفتـه‌انـد و در سـطوح میـانی، معیارهـا (زیرمعیارهای ارزیابی عملکرد) در گروههای چهارگانه قرار گرفته‌اند. بمنظور تعیین وزن معیارها و زیر معیارها و بررسی امتیاز راهکارهای مدیریتی برای هرکدام از زیرمعیارهای گوناگون، پرسشنامه‌ای شامل دو بخش تهیه و در اختیار گروه خبره و متخصص قرار داده شد.

در بخش نخست پرسش‌نامه بمنظور تعین وزن معیارها و زیرمعیارها مقایسه زوجی بر پایه اعداد موجود در جدول ۱ زیر طراحی شد. در قسمت دوم پرسش‌نامه، برای ارزیابی راهکارهای مدیریتی با توجه به زیرمعیار ها و برای امتیازدهی به گزینه‌ها برای هر کدام از زیر معیارها، از متغیرهای کلامی امتیاز دهی شدند. در جدول ۱ متغیر های کلامی ، علامت اختصاری و عدد فازی متناظر آن‌ها ارایه شده است. این پرسش‌نامه در اختیار سه گروه تصمیم‌گیرنده که شامل کارشناسان متخصص منابع آب سازمان آب منطقه ای فارس، مهندسان شرکت‌های خصوصی که در منطقه مورد مطالعه فعالیت کرده‌اند و اساتید دانشگاهی متخصص در زمینه منابع آب و کشاورزی قرار گرفت. بعداز تکمیل و تجمیع نظرات ۱۰ کارشناس وزن نهایی معیارها و زیر معیارها تعیین شد. در نهایت، امتیاز

[1]- Fuzzy Analytic Hierarch Process

داده شده توسط هرکدام از کارشناسان تجمیع شده و ماتریس عملکرد تجمیع شده گزینه‌ها بدست می‌آید. برای غیرفازی کردن مقدارفازی زیر معیارها نیز از روش لیو و وانگ[1] (۱۹۹۲) استفاده شد. سپس وزن محاسباتی معیارها و زیرمعیارها و هم‌چنین، مقادیر امتیاز راهکارهای مدیریتی برای زیر معیارهای گوناگون وارد برنامه تاپسیس شد. در نهایت نیز امتیاز کلی راهکارهای مدیریت منابع آب محاسبه شد.

نتایج و بحث

وزن معیارها و زیرمعیارها

در این بخش با تجمیع[2] نظرات کارشناسان گوناگون، وزن معیارها و زیرمعیارهای مدیریت یکپارچه منابع آب منطقه نی ریز محاسبه شد. به این منظور از ماتریس مقایسه زوجی کارشناسان گوناگون میانگین هندسی گرفته شد. نتایج این عمل در جدول ۴ آورده شد. ستون دوم جدول ۴ وزن‌های هر یک از معیارهای مدیریتی را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که معیارهای اقتصادی و اجتماعی تأثیرگذارترین معیارها در مسئله مدیریت یکپارچه منابع آب با وزن نسبی ۰/۳۵۷ و ۰/۳۵۸ می‌باشد.

معیارهای زیست محیطی با ۰/۱۹۳ و فنی با وزن ۰/۰۹۱ به ترتیب در رتبه‌های بعدی اثرگذاری قرار می‌گیرند. در ستون سوم و چهارم نسبت سازگاری براساس روش پیشنهادی گوگوس بوچر (۱۹۹۸)[3] برای معیارهای گوناگون محاسبه شد. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که تمامی نسبت‌های سازگاری محاسبه شده کم‌تر از ۰/۱ می‌باشند؛ بنابراین، مقایسه‌های زوجی زیرمعیارهای گوناگون تمامی معیارها سازگار می‌باشند. با بررسی ستون ششم جدول ۴ مشخص می‌شود که زیر معیار سودآوری با ۰/۵۹۶ بالاترین وزن را درمیان زیر معیارهای اقتصادی دارد. در میان زیر معیارهای اجتماعی نیز تاثیر بر سلامت با ۰/۴۴۹ بالاترین وزن را دارا می‌باشد. از سوی دیگر، حفظ منابع آب با وزن ۰/۶۲۲ بالا ترین وزن را در میان زیر معیار های زیست محیطی دارد. و در نهایت، زیر معیار سهولت تامین اعتبار با وزن ۰/۴۶۴ مهم‌ترین زیر معیار فنی می باشد. با توجه به ستون هفتم می‌توان اشاره کرد که زیرمعیار سودآوری که جزو گروه زیرمعیارهای اقتصادی است با وزن کلی ۰/۲۱۲ در بین سایر زیرمعیارها بیش‌ترین مقدار اهمیت را در مسئله مدیریت یکپارچه منابع آب داراست.

---

[1]- Liou & Wang
[2]- Aggregation
[3] -Gogus & Boucher

رتبه بندی راهکارهای حفاظت و مدیریت منابع آب

در این قسمت از وزن‌های معیارها و زیرمعیارها که با کمک روش تحلیل مقداری بدست آمده است و هم‌چنین امتیازهای راهکارها برای هرکدام از زیر معیارها براساس نظر کارشناسان بمنظور رتبه‌بندی استفاده شد. به این منظور وزن‌های محاسباتی و امتیازها وارد برنامه تاپسیس شدند. رتبه‌بندی نهایی راهکارهای حفاظت و مدیریت منابع آب منطقه نی ریز در جدول ۵ ارایه شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که راهکار تغییر کاربری آب با امتیاز ۰/۶۸۲ مطلوب‌ترین عملکرد و راهکار انتقال آب از خلیج فارس با امتیاز ۰/۲۷۹ ضعیف‌ترین عملکرد را در بین نه راهکار مدیریتی مورد بررسی دارد. دو راهکار افزایش تغذیه و کاهش تخلیه سفره‌های آب زیرزمینی و عملیات آبخیزداری نیز در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند. هم‌چنین، راهکار احیا و تعادل بخشی منابع موجود در رتبه چهارم قرار دارد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج مطالعه بیانگر آن است که معیارهای اقتصادی و فنی به ترتیب تأثیرگذارترین و کم تاثیرترین معیار در مسئله مدیریت یکپارچه منابع آب می‌باشند. از میان راهکارهای تدوین شده، راهکار تغییر کاربری آب در الویت نخست قرار دارد. به دلیل وجود معادن بسیاری که در منطقه نی‌ریز وجود دارد، توسعه صنایع و معادن در این شهرستان شرایط تغییرکاربری آب را فراهم کرده است و به عنوان یک ابزار مناسب در کاهش بحران آب بشمار می‌آید. به‌همین خاطر نظر کارشناسان بر این بوده است که راهکار تغییر کاربری آب به سمت صنعت و معدن می‌تواند یک راهکار بهینه در شرایط فعلی منطقه باشد. دو راهکار تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و عملیات آبخیز داری در رتبه های دوم و سوم قرار گرفته اند که از مزایای این دو روش می‌توان به قابلیت و سادگی اجرا و سهولت تامین اعتبار آن‌ها از دیدگاه فنی اشاره نمود. هم‌چنین، دامنه تاثیرات این راهکارها در مقایسه با سایر راهکارها بیشتر بوده و با شرایط اقلیمی منطقه نیز هم‌خوانی دارند. هم‌چنین، مردم مشارکت فعالانه‌ای در این راهکارها بویژه راهکار عملیات آبخیزداری دارند. این نتیجه با نتایج مطالعه طرازکار و همکاران (۱۳۹۵)، در مورد احیای تالاب بختگان، هم‌خوانی دارد. راهکار انتقال آب از خلیج فارس نیز به دلیل عدم سادگی اجرا، مشکلات موجود در تامین اعتبار و ریسک بالای سرمایه‌گذاری در رتبه آخر قرار گرفته است. راهکار تغییر الگوی کشت متناسب با کفیت منابع آب منطقه در رتبه هشتم قبل از راهکار انتقال آب از خلیج فارس قرار گرفته است. الگوی کشت به عنوان یکی از اجزای سیستم کشاورزی می‌تواند نقشی موثر در دست‌یابی به اهداف

توسعه کشاورزی و روستایی که همانا بهبود زندگی کشاورزان و رفاه حال آنان است، داشته باشد. الگوی کشت بیان کننده نوع یا ترکیب کشتی است که کشاورز جهت بهره برداری بهینه از اراضی، آن را انتخاب می کند. انتخاب هر الگوی کشت، به دلیل چند بعدی بودن کشاورزی می‌تواند پیامدهایی مهم در زندگی کشاورز و جامعه روستایی داشته باشد به همین خاطر کشاورزان با راهکار تغییر الگوی کشت چندان موافقت نمی‌کنند به همین دلیل با عدم سادگی اجرا در منطقه روبرو است. لذا با توجه به نتایج بدست آمده و هم‌چنین، وضعیت منابع آب شهرستان نی ریز که بحرانی می‌باشد، پیشنهاد می‌شود که راهکارهای تغییر کاربری آب و افزایش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و عملیات آبخیزداری در الویت اجرا قرار گیرد. هم‌چنین، تاکنون چندین چاه جهت مصرف صنعتی حفر شده ولی به دلیل کم بودن و نامطلوب بودن سفره آب زیر زمینی در محدوده شهرک صنعتی سنگبری‌ها این چاهها خشک و در عمل هیچ گونه فعالیتی نداشته است و پیشنهاد ما به مسئولان سنگبری‌ها این است که جهت تهیه آب مورد نیاز صنعتی خود به اداره سازمان آب شهرستان مراجعه و ضمن خریداری یک حلقه چاه آب کشاورزی جهت تغییر کاربری به این اداره واگذار نمایند تا مشکل آب واحد های سنگبری مرتفع شود.

منابع

- برشنده، س. شمسایی، ا. و علی‌محمدی، س. (۱۳۹۱). کاربرد روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت یکپارچه منابع آب غرب دریاچه ارومیه. یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه ارومیه.
- بنان، ن. طبیعی، ا. و جعفری نژاد، م. (۱۳۸۷). وضعیت فعلی دریاچه بختگان و آینده آن. دومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست. تهران. دانشگاه تهران. دانشکده محیط زیست. تهران.
- پورتال گروه جغرافیایی ایرانیان، http://irangeoportal.com/page39.html
- جاویدی صباغیان، ر. شریفی، م. و رجبی مشهدی، ح. (۱۳۸۹). مقایسه دو روش تعیین وزن شاخص‌ها در تصمیم‌گیری چندشاخصه در اولویت‌بندی و انتخاب ساختگاه مناسب سد. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. ایران.
- سردار شهرکی، ع. شهرکی، ج. و هاشمی منفرد، س. (۱۳۹۵). بررسی رویکردهای مدیریتی بهره‌برداری منابع آب منطقه سیستان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP). پژوهش‌های مدیریت عمومی. ۹(۳۱): ۹۸-۷۳.
- شرکت سهامی آب منطقه ای استان فارس. (۱۳۹۵).

- شفائیان فرد، د. کوهیان افضل، ف. و یخکشی، م. (۱۳۹۳). تعیین گزینه‌های برتر بهره‌برداری از منابع آب با استفاده از مدل WEAP و تحلیل تصمیم‌گیری چندشاخصه (مطالعه موردی :حوضه‌ی زرینگل) پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. ۵ (۹): ۴۵-۲۹.

- صفاری، ن. و ضرغامی، م. (۱۳۹۲). تخصیص بهینه منابع آب سطحی دریاچه ارومیه به استان ذینفع با روش‌های تصمیم‌گیری فاصله محور. نشریه دانش آب و خاک. ۲۳(۱): ۱۴۹-۱۳۵.

- طرازکار، م. ح. زیبایی، م. و سلطانی، غ. ر. (۱۳۹۵). شناسایی و رتبه‌بندی راهکارهای احیای تالاب بین المللی بختگان با رویکرد تاپسیس فازی. فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۸(۲۷): ۴۰-۲۷.

- میان آبادی، ح. و افشار، ع. (۱۳۹۰). تصمیم‌گیری گروهی فازی ناهمگن در مدیریت یکپارچه منابع آب. مجله شریف (مهندسی عمران). ۲۷(۴): ۱۳۱-۱۲۳.

Refrences

- Afshar A., Ashtian B., Haghighirad F,Makui A, & Montazer , G.A. (2010).” Extension of fuzzy TOPSIS method based on interval-valued fuzzy sets,” Applied Soft Computing 9:457–461.
- Azarnivand, A., Hashemi, F, & Banihabib, M. (2015). Extended Fuzzy Analytic Hierarchy Process Approach in Water and Environmental Management (Case Study: Lake Urmia Basin,Iran). Environ Earth Sci (2015) 73:13–26.
- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy Hierarchical Analysis. Fuzzy Sets and Systems, 17(3), 233-247.
- Chang, D.Y. (1996). Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3), 649-655.
- Feng, J., White, B., Tyurina, O.V., Guner, B., Larson, T., Lee, H.Y., Karlstrom, R.O., & Kohtz, J.D. (2004).” Synergistic and antagonistic roles of the Sonic hedgehog N- and C-terminal lipids,” Development 131(17): 4357-4370.
- Fu G., (2008).” A fuzzy optimization method for multicriteria decision making: an application to reservoir flood control operation,” Expert Syst Appl 34(1):145–149.
- Gogus, O. & Boucher, T.O. (1998). Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons. Fuzzy Sets and Systems, 94(1), 133-144.
- Hermes, A., Grice, M., Mucke, D., & Niemann, H., (2008).” Articulatory indicators of syllable affiliation in word initial constant clusters in Italian,” Proccedings of the 8th International Seminar on Speech Production. (pp. 433-436).

- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple Criteria Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems.
- Liou, T. S., & Wang, M. J. J. (1992). Ranking fuzzy numbers with integral value. Fuzzy sets and systems, 50(3), 247-255.
- Madani, K., Sheikhmohammady, M., Mokhtari, S., Moradi, M., & Xanthopoulos, P. (2014). Social Planner's Solution for the Caspian Sea Conflict, Group Decision and Negotiation, 23, 579–596.
- Morais, D.C. & Almeida, A.T. (2006)." Water supply system decision making using multicriteria analysis," Water SA,32 (2), 229–235.
- Satty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. McGraw-Hill.
- Simonovic, S.P. & Verma, R. (2008). "A new methodology for water resources multi–criteria decision making under uncertainty" J. Phys Chem Earth, 33: 322–329.
- Snellen, W.B. & A. Schrevel. (2004). IWRM: for sustainable use of water, 50 years of international experience with the concept of integrated water management. Background document to the FAO/Netherlands Conference on Water for Food and Ecosystems Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality, Wagenigen, The Netherlands 16 p.
- Stam, A., Sun, M. & Haines, M. (1996). Artificial neural network representations for hierarchical preference structures. Computers & Operations Research, 23(12), 1191-1201.
- Van Laarhoven, P. J. M. & Pedrycz, W. (1983). A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory. Fuzzy Sets and Systems, 11(1), 199-227.
- Zarezadeh, M., Madani, K., & Morid, S. (2012). Resolving trans boundary water conflicts: lessons learned from the Qezelozan-Sefidrood river bankruptcy problem, World Environ, Water Resource Congeries. American Society of Civil Engineers, Reston, 2406–2412.

پیوست‌ها

جدول ۱- مقیاس زبانی و اعداد فازی مثلثی مترادف آن

مقیاس عدد فازی	مقیاس‌های زبانی	عدد فازی
۱	اهمیت برابر	(۱و۱و۱)
۲	اهمیت برابر تا اندکی بیشتر	(۳و۲و۱)
۳	اهمیت اندکی بیشتر	(۴و۳و۲)
۴	اهمیت اندکی بیشتر تا اهمیت بیشتر	(۵و۴و۳)
۵	اهمیت بیشتر	(۶و۵و۴)
۶	اهمیت بیشتر تا اهمیت خیلی بیشتر	(۷و۶و۵)
۷	اهمیت خیلی بیشتر	(۸و۷و۶)
۸	اهمیت خیلی بیشتر تا اهمیت مطلق	(۹و۸و۷)
۹	اهمیت مطلق	(۱۰و۹و۸)

ماخذ: آذرنیوند و همکاران (۲۰۱۵)

جدول ۲- معیار ها و زیرمعیارهای مدیریتی.

معیار	زیرمعیار
اقتصادی	سودآوری
	ریسک سرمایه گذاری
	دوره بازگشت سرمایه
اجتماعی	اشتغالزایی
	تاثیر بر سلامت
	مشارکت عمومی
زیست محیطی	سازگاری با اقلیم منطقه
	حفظ منابع آب
فنی	سرعت تاثیر
	قابلیت اجرا
	سادگی اجرا
	سهولت تامین اعتبار

ماخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۳- راهکارهای مدیریتی.

شماره	راهکارها
۱	تغییر الگوی کشت متناسب با کفیت منابع آب منطقه
۲	تغییر کاربری آب
۳	مسدود کردن چاههای غیر مجاز و طرح خاموشی چاهها در فصول زمستان و پاییز
۴	افزایش تغذیه و کاهش تخلیه سفره های آب زیرزمینی
۵	احیا و تعادل بخشی منابع موجود
۶	پیگیری تخصیص حقابه تالاب و لایه روبی کانال های چشمه و ورودی تالاب
۷	طرح حذف باغات غیر اقتصادی شده
۸	عملیات آبخیزداری

ماخذ: یافته‌های پژوهش

جدول۴-ارزش وزنی معیار ها و زیرمعیارها.

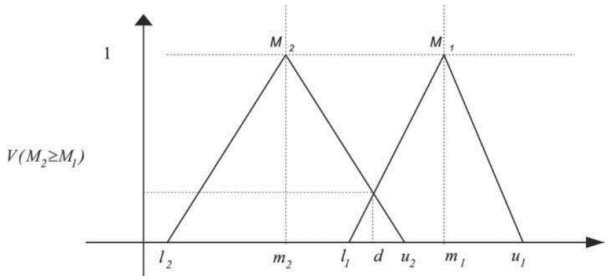
معیار	وزن	CR^m	CR^g	زیرمعیار	وزن زیر معیارها	وزن کلی
اقتصادی	۰/۳۵۷	۰/۰۲۸	۰/۰۷۲	سودآوری	۰/۵۹۶	۰/۲۱۲
				ریسک سرمایه گذاری	۰/۱۷۸	۰/۰۶۳
				دوره بازگشت سرمایه	۰/۲۲۵	۰/۰۸
				اشتغالزایی	۰/۴۴۵	۰/۱۵۹
اجتماعی	۰/۳۵۸	۰/۰۶۸	۰/۰۵۸	تاثیر بر سلامت	۰/۴۴۹	۰/۱۶۰
				مشارکت عمومی	۰/۱۰۵	۰/۰۳۷
				سازگاری با اقلیم منطقه	۰/۲۱۷	۰/۰۰۴۲
زیست محیطی	۰/۱۹۳	۰/۰۷۸	۰/۰۲۳	حفظ منابع آب	۰/۶۲۲	۰/۱۲
				سرعت تاثیر	۰/۱۶	۰/۰۳۱
				قابلیت اجرا	۰/۳۳۶	۰/۰۳
فنی	۰/۰۹۱	۰/۰۳۶	۰/۰۱۶	سادگی اجرا	۰/۱۹۹	۰/۰۱۸
				سهولت تامین اعتبار	۰/۴۶۴	۰/۰۴۲

ماخذ: یافته‌های پژوهش

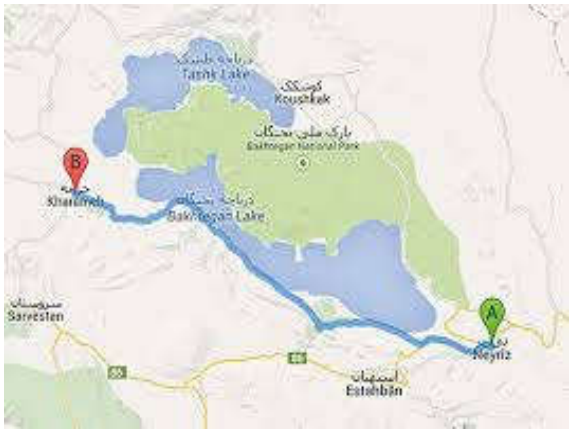
جدول ۵- رتبه‌بندی راهکارهای مدیریتی با استفاده از روش ترکیبی.

راهکارها	امتیاز نهایی	رتبه
تغییر کاربری آب	۰/۶۸۲	۱
افزایش تغذیه و کاهش تخلیه سفره های آب زیرزمینی	۰/۶۳۸	۲
عملیات آبخیزداری	۰/۶۱۴	۳
احیا و تعادل بخشی منابع موجود	۰/۶۰۹	۴
مسدود کردن چاه های غیر مجاز و طرح خاموشی چاهها در فصول زمستان و پاییز	۰/۵۱۵	۵
پیگیری تخصیص حقابه تالاب و لایه روبی کانال های چشمه و ورودی تالاب	۰/۳۹	۶
طرح حذف باغات غیر اقتصادی شده	۰/۳۷۸	۷
تغییر الگوی کشت متناسب با کفیت منابع آب منطقه	۰/۳۳۹	۸
انتقال آب از خلیج فارس	۰/۳۲۴	۹

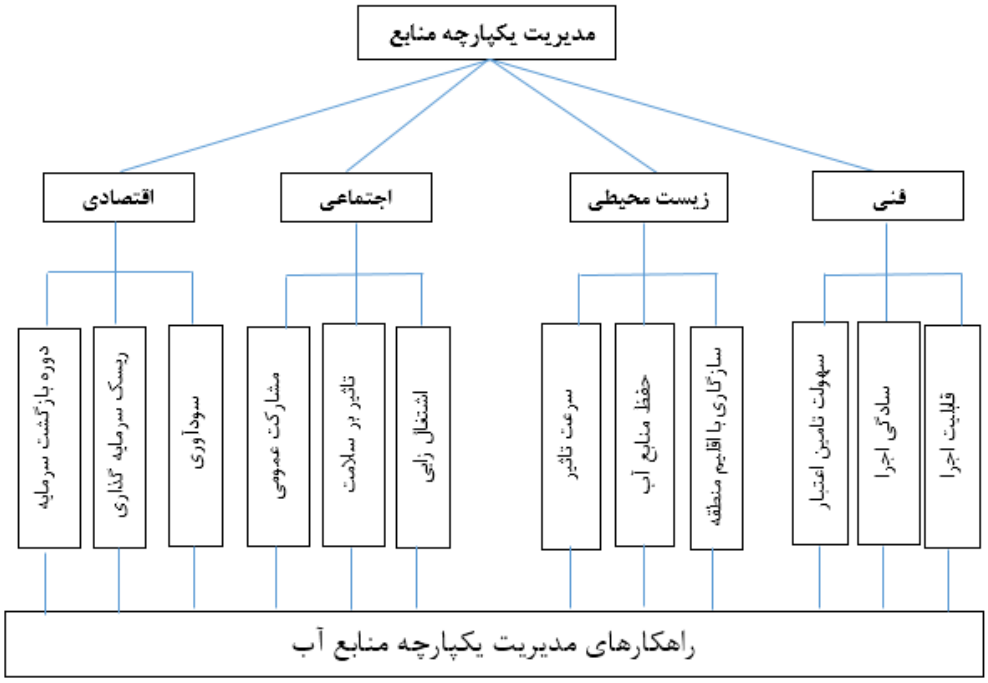
ماخذ: یافته‌های پژوهش



شکل۲ - اشتراک دو عدد مثلثی فازی.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه نی ریز (پورتال جغرافیایی ایرانیان).



شکل۳- ساختار سلسله مراتبی مدیریت یکپارچه منابع آب منطقه نی ریز.