

طراحی سلسله مراتبی فازی جهت تعیین اولویت تخصیص آب سد مهاباد

هیمین نادر^{1*}، احمد علی کیخا²، محمود صبوحي صابوني³

تاریخ دریافت: 89/08/22 تاریخ پذیرش: 91/03/31

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل

² استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل

³ استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل

*مسئول مکاتبه Email: heminheja@gmail.com

چکیده

در سال‌های اخیر ابزارهای فنی به منظور مدل‌سازی مسائل منابع آب پیشرفت شایانی از خود نشان داده‌اند. در این میان فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره برای حل مسائل مدیریت آب مفید واقع شده است. تحلیل سلسله مراتبی فازی شکل توسعه یافته سلسله مراتبی سنتی بوده که تمامی مقایسات را در قالب منطق فازی بررسی می‌کند. در این مطالعه ساختار سلسله مراتبی جهت تعیین اولویت تخصیص آب سد مهاباد به استفاده کنندگان از آب سد با اهداف متفاوت طراحی شد. در این ساختار سه معیار و شش زیر معیار برای شش گزینه استفاده از سد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که معیار اقتصادی با وزن جزیی 0/45 نسبت به دو معیار دیگر بیشترین اهمیت را دارد. افزون بر آن تخصیص آب به بخش کشاورزی با وزن نهایی 0/356 در اولویت اول و شرب شهری، تفریحی- زیست محیطی، تولید برق و کنترل سیلاب به ترتیب در الویت‌های دیگر قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، تخصیص آب، سد مهاباد، منطق فازی.

Designing the Fuzzy Analytic Hierarchy Process to Determine Water Allocation Priority for Mahabad Dam

H Nader^{*1}, AA Keikha², M Sabouhi Sabouni³

Recieed: 13 November 2010 Accepted :20 June 2012

¹Msc Student, Dept. of Agric. Economics, Zabol Univ., Iran

² Assist prof., Dept. of Agric Economics, Zabol Univ., Iran

³ Assist prof., Dept. of Agric. Economics, Zabol Univ., Iran

*Corresponding author Email: kehkha@yahoo.com

Abstract

In recent years technical tools have shown great progress for modeling many problems of water resources. Multiple criteria decision-making process is a helpful tool to resolve water management issues. Fuzzy analytic hierarchy process is a developed form of conventional analytic hierarchy process that confirms all the comparisons in the form of fuzzy logic. In this study a hierarchical structure was designed to determine water allocation priorities of Mahabad Dam's for water users of the dam water with different purposes. In this structure three criteria and six subcriteria were considered for six alternatives of water use of the dam. Results showed that the economic criterion with local weight of 0.45 was the most important one. In addition the allocation of water to the agricultural sector with a global weight of 0.356 was the first priority and other priorities were urban drinking, recreation - environmental, power generation and flood control respectively.

Keywords: Analytic Hierarchy Process, Fuzzy Logic, Mohabad dam, Water Allocation

مقدمه

زهکشی، استفاده مطلوب از منابع آب را انکار ناپذیر نموده است.

فراهم کردن آب از دیر باز، باعث نگرانی بسیاری از دولت‌ها بوده است. به طور عمومی تخصیص آب از طرف دولت‌ها با ارجاع به تخصیص خود مردم صورت می‌گیرد. به عبارتی بهتر، نقش اقتصاد در بحث بهره‌وری و پایداری آب، علی‌رغم نیاز اساسی به آن از جنبه‌های مختلف و رو به کمبود گذاشتن آن، در نظر گرفته نشده است (دینار و همکاران 2000). تخصیص آب فرآیند معین و کمی کردن حجم آب در دسترس

در نگرش جدید جهانی، آب کالایی اقتصادی - اجتماعی و به عنوان نیاز اولیه انسان محسوب می‌شود (تجربشی و ابریشمی 1383). افزایش سریع جمعیت از یک سو و محدودیت تامین منابع آب‌های شیرین از سوی دیگر باعث پدید آمدن رقابت و چالش شدید بین بخش‌ها و مناطق مختلف مصرف‌کننده آب شده است. ایران با متوسط نزولات جوی 260 میلی‌متر در سال، از کشورهای خشک جهان و دارای منابع آب محدود است (بی‌نام 2005). از طرفی دیگر، رشد روز افزون جمعیت و نیاز به تامین غذا، احداث و اجرای پروژه‌های آبیاری و

رودخانه و آبخوان دشت آستانه-کوچصفهان در استان گیلان را با روش‌های بهینه‌سازی چند هدف بررسی کردند. آنان بیان کردند که با رعایت یک سلسله قیود نظیر رعایت حدود مجاز افت سطح آب در آبخوان در قسمت‌های مختلف دشت و حداکثر پتانسیل آب رودخانه در ماه‌های مختلف سال، می‌توان میزان برداشت آب از رودخانه و آبخوان را تعیین نمود به طوری که نیاز آبی در ماه‌های مختلف سال به بهترین نحو تامین شود. نتایج تحقیق آنان نشان داد که برای شرایط مختلف آورد و برداشت از رودخانه، میزان برداشت از آبخوان در محدوده مجاز افت، باعث عملکرد بهینه سیستم می‌شود.

رودی (2009) با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی روشی برای تخصیص آب حوزه آبریز رودخانه تامپو کشور اندونزی طراحی کرد. وی با در نظر گرفتن جنبه‌های اجتماعی استفاده کنندگان آب و فیزیکی منابع آب و عمل متقابل بین آنها، بیان کرد که ارزیابی روابط بین این دو جنبه، با در نظر گرفتن دیدگاه‌های اکولوژیکی منطقی می‌باشد. همچنین بسیاری از جنبه‌های اجتماعی استفاده‌کنندگان، زمانی که برنامه‌های فیزیکی منابع آب اجرا می‌شوند، نباید نادیده گرفته شوند. نتایج حاکی از آن بود که تغییر در الگوی تقاضا و عرضه حوزه رودخانه چالشی بین استفاده کنندگان آب بوجود می‌آورد. بُرناسکی و همکاران (2006) به منظور مدیریت کیفیت آب رودخانه مستا در کشور بلغارستان یک مدل حمایتی تصمیم‌گیری² طراحی کردند. آنان ضمن معرفی استفاده‌های جایگزین از آب رودخانه، به منظور بهبود کیفیت آب رودخانه، دوازده معیار اقتصادی و زیست محیطی را در نظر گرفته و در قالب تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، مدل حمایتی تصمیم‌گیری را طراحی و محاسبه کردند. نتایج نشان داد، که معیارهای زیست محیطی از وزن بیشتری نسبت به اقتصادی برخوردارند. آناگُستوپولُش و همکاران (2005) برنامه‌ریزی منابع آب را با استفاده از روش‌های چند معیاره

برای استفاده‌های گوناگون آن است (رودی 2009). به عبارتی دیگر، تخصیص آب، تقسیم آب میان مصرف کنندگان می‌باشد. این فرآیند ترکیبی از فعالیت‌هایی است که مصرف کنندگان آب قادرند آب را به منظور اهداف اقتصادی خود مطابق سیستم‌های شناخته شده حقوق و اولویت‌ها بگیرند (سوکر و همکاران 1985). در این میان سدها و مخازن آب نقش مهمی در تأمین نیاز آب مصرف‌کنندگان و تخصیص به بخش‌های مختلف، در چند سال اخیر داشته‌اند. این مخازن علاوه بر تأمین نیاز آب مصرفی شرب، صنعت و کشاورزی، در کنترل سیلاب، تولید انرژی، جذب توریسم و ایجاد محیط زیستی خاص اهمیت ویژه‌ای دارند (حسینی فرازمنند 1379). تخصیص آب این مخازن به بخش‌های مصرفی اشاره شده و تأمین نیاز آنها، بحثی چالش برانگیز و نیازمند تعیین اولویت، بسته به اهمیت بخش مصرفی در منطقه می‌باشد. به همین منظور در این مطالعه به منظور تعیین اولویت تخصیص آب به بخش‌های مصرفی و نیازمند، از مدل تحلیلی سلسله مراتبی فازی¹ بهره گرفته شده است.

در زمینه مدیریت منابع آب مطالعات زیادی صورت گرفته، که از جمله آن می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. رفیعی دارانی و همکاران (1386) جهت مدیریت آبیاری و انتخاب و رتبه‌بندی سیستم‌های آبیاری در استان اصفهان از برنامه‌ریزی چندمعیاره استفاده کردند. آنان مقایسه و رتبه‌بندی سیستم‌ها آبیاری را، به منظور مدیریت بهینه آبیاری از طریق روش‌های ماتریس معیارها، کارایی کیفی گزینه‌ها و برنامه‌ریزی توافقی انجام و نتیجه گرفتند آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بهترین سیستم است. افزون بر آن، مقایسه نتایج سیستم مناسب منطقه با کشاورزان دارای آبیاری سنتی نشان داد، تفاوت نسبتاً زیاد بین سیستم مورد استفاده کشاورزان با سیستم بهینه وجود دارد. دشتی و خیاط خلقی (1385) مدیریت تخصیص آب

² Decision support system (DSS)

¹ Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP)

کوچک رودخانه مهاباد است که از کوه سرمرگان در جنوب غرب دریاچه سد مهاباد سرچشمه می‌گیرد و به سمت شرق جریان یافته و پس از دریافت چند شاخه کوچک از سمت غرب وارد دریاچه سد مهاباد می‌شود (محمدپور و همکاران 1385). سد مهاباد کنترل‌کننده اصلی جریان سرشاخه‌های رودخانه مهاباد می‌باشد و در یک کیلومتری جنوب‌غربی شهر مهاباد واقع شده است. رودخانه پس از عبور از این مسیر در دشت مهاباد جریان یافته و از طریق کانالها اراضی زیرکشت را آبیاری می‌سازد. سپس در امتداد شمال و شمال غرب جریان یافته و پس از عبور از دارلک و خورخوره و گرد یعقوب و داش‌خانه وارد باتلاق‌های جنوبی دریاچه ارومیه می‌شود. وسعت حوزه آبریز رودخانه مهاباد 800 کیلومتر مربع است. این سد دارای 700 متر طول تاج بوده و ارتفاع آن 46/5 متر می‌باشد. دریاچه پشت این سد 360 هکتار وسعت دارد و بر روی رودخانه مهاباد بسته شده است. شهرستان مهاباد دارای 60 هزار هکتار اراضی کشاورزی است که از میزان، 12 هزار هکتار در دشت مهاباد واقع شده و از طریق کانال‌های آبرسانی که به طول 450 کیلومتر ایجاد شده، آبیاری می‌شود. این سد توسط مهندسين کشور یوگسلاوی چند سال قبل از پیروزی انقلاب بنا شده و جزء ده سد پرآب کشور محسوب می‌شود.

فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی در سال 1977 توسط توماس ساعتی³، به منظور کمک به حل مسائل پیچیده تصمیم‌گیری چند معیاره گسترش یافت. مدل‌های این روش، به صورت یک مسئله تصمیم‌گیری پیچیده، درون یک سیستم سلسله مراتبی به صورت نزولی طراحی می‌شود. هدف اصلی در بالاترین سطح سپس معیارها، زیرمعیارها و نهایتاً گزینه‌ها در پایین‌ترین سطح، قرار می‌گیرند. مقایسات زوجی به منظور تعیین اهمیت یا ارجحیت نسبی بین معیارها و هر معیار بین گزینه‌ها صورت می‌گیرد (هوانگ و میلر 2003)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی¹ و PROMTI² برای رودخانه نیستو در کشور یونان انجام دادند. آنان با بیان این مطلب که مدیریت سیستم عرضه آب، باید علاوه بر اینکه متعادل و برای تمام نیازهای آبیاری، تولید برق، زیست محیطی و اکولوژیکی بوده، لازم است نیازهای اقتصادی، اجتماعی و محیطی را نیز فراهم کند. می و همکاران (1989) از تحلیل سلسله مراتبی برای سیاست‌گذاری و مدیریت آب در پکن کشور چین استفاده کردند. آنان با توجه به مشکل کمبود آب شهر بیجینگ، ساختار سلسله مراتبی را در 4 سطح طراحی و 24 سیاست را در قالب 8 معیار فرموله کردند. نتایج حاکی از آن بود که اطلاعات کیفی و کمی تصمیم‌گیرندگان در مورد آب، بر روی سیاست‌گذاری و طراحی تعیین اولویت منطقه‌ای تاثیرگذار بوده است.

با توجه به اهمیت مدیریت تخصیص آب و نیاز به اولویت‌بندی استفاده‌کنندگان از آب، خصوصاً آب سدهای چندمنظوره، همچنین کارایی مدل FAHP در الویت‌بندی گزینه‌های مختلف، در این مطالعه سعی شده است تا با طراحی و تبیین یک مدل FAHP بر اساس نظر کارشناسان منطقه و شرایط موجود، به الویت‌بندی استفاده‌کنندگان از آب سد مهاباد، به عنوان یکی از 10 سد پرآب کشور پرداخته شود.

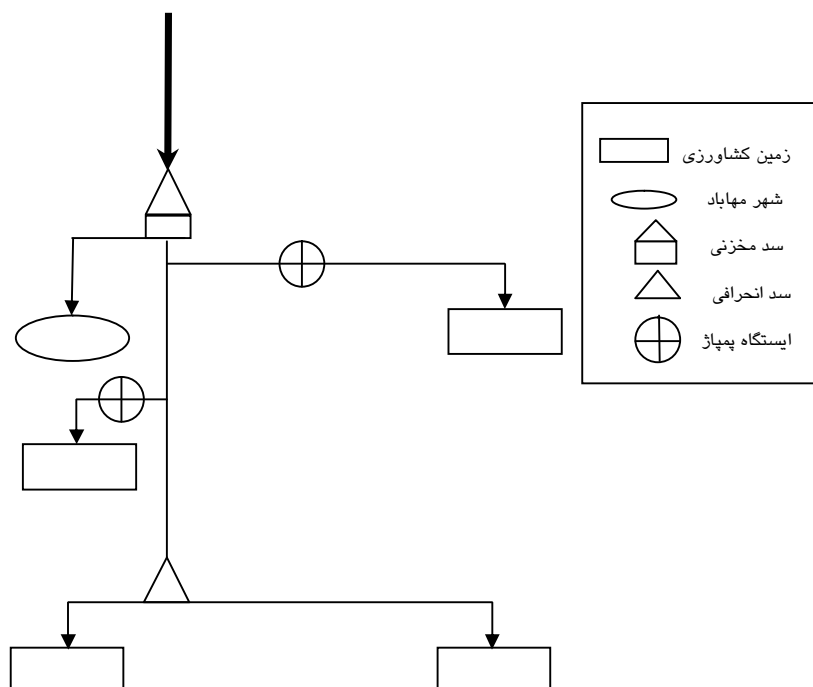
مواد و روش‌ها

رودخانه مهاباد از دو شاخه اصلی به نام‌های بیطاس و کوتر و یک شاخه کوچک به نام دهبکر تشکیل شده است. شاخه بیطاس از کوه مام سوار سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسافتی وارد دریاچه سد مهاباد می‌شود. شاخه کوتر یا شاخه اصلی رودخانه مهاباد از ارتفاعات دامنه‌های شمالی کوه ابراهیم جلال سرچشمه گرفته به سمت شمال جریان می‌یابد و شاخه‌های فرعی متعددی دریافت نموده و به نام رودخانه مهاباد وارد دریاچه سد مهاباد می‌شود. شاخه دهبکر یک سرشاخه

¹ Analytic hierarchy process

² Promoting Innovative Intermodal Freight. Transport

³ Satty



شکل 1- شماتیک سیستم رودخانه مهاباد (قادری و محمدپور 1383).

معیارها یک ماتریس $n \times n$ خواهد بود. عناصر ماتریس های مقایسه زوجی با α_{ij} نشان داده می شود. در روش AHP فرض می شود که $\alpha_{ij} = 1/\alpha_{ji}$ می باشد. بنابراین، در صورتی که $i=j$ باشد آن گاه $\alpha_{ij} = 1$ خواهد بود (تانک و احمد 2007). برای انجام عمل سنجش نسبی (یا درجه اهمیت) m گزینه، عمل مقایسه به صورت دو به دو انجام می شود. این بدان معنی است که هر گزینه خاص همزمان با دیگر گزینه های موجود مقایسه نمی شود. در یک زمان معین، تنها می توان آن را با یک گزینه دیگر مقایسه نمود (ارنراج و مایتی 2010).

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی منعکس کننده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است. به علاوه، از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی بنا شده است. این شیوه احساسات و منطق را در رابطه با موضوعات، منعکس و سپس قضاوت های مختلف را در قالب نتیجه ای با هم ترکیب می نماید، که با انتظارات درونی افراد همخوانی دارد. اما، قضاوت های ذهنی از

ماتریس مقایسات زوجی در AHP بدین شکل می باشد (لی و همکاران 2008):

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \mathbf{L} & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \mathbf{L} & a_{2n} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ a_{n1} & a_{n2} & \mathbf{L} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \mathbf{L} & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \mathbf{L} & a_{2n} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \mathbf{L} & 1 \end{bmatrix} \quad [1]$$

ماتریس مقایسه های زوجی بر اساس نظر شخص تصمیم گیرنده و عناصر هر سطح به صورت جداگانه صورت می گیرد. ماتریس ها، شامل مقایسه زوجی بین معیارهای مورد بررسی و ماتریس های مقایسه های زوجی گزینه های مورد بررسی بر اساس هر معیار می باشد. به طور کلی اگر تعداد گزینه ها و معیارها به ترتیب برابر m و n باشد ماتریس های مقایسه زوجی گزینه ها به صورت $m \times m$ و ماتریس مقایسه زوجی

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad [6]$$

مرحله 2: درجه احتمال

بدین گونه $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ محاسبه می‌شود:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad [7]$$

x و y ارزش توابع عضویت هر معیار روی محور تابع فازی به شمار می‌روند. بنابراین رابطه (7) این گونه بازنویسی می‌شود:

$$V(M_2 \geq M_1) = m(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [8]$$

در اینجا d بیشترین فاصله مشترک بین دو تابع عضویت μ_{M_1} و μ_{M_2} به شمار می‌رود. برای مقایسه M_1 و M_2 به ارزش $V(M_2 \geq M_1)$ و $V(M_1 \geq M_2)$ نیاز هست. مرحله 3: در این مرحله درجه احتمال برای یک عدد فازی محذب بزرگتر از k عدد فازی محذب، $(M_i \ (i = 1, 2, \dots, k))$ بدین صورت است:

$$V(M \geq M_1, M_2, M_3, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \& (M \geq M_2) \& (M \geq M_3) \& \dots \& (M \geq M_k)] = \text{Min} V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \quad [9]$$

بنابراین رابطه 9 را می‌توان بدین گونه نوشت:

$$d^-(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad [10]$$

$k = 1, 2, 3, \dots, n; \ k \neq i$ بنابراین وزن هر بردار بدین صورت در می‌آید:

$$W = (d^-(A_1), d^-(A_2), d^-(A_3), \dots, d^-(A_n))^T \quad [11]$$

که در اینجا W عدد فازی نمی‌باشد.

دیدگاه ریاضی دقیق نیست و امکان ابهام در نتایج را بوجود می‌آورد. بنابراین، به منظور فائق آمدن بر این نقص مهم، تحلیل سلسله مراتبی فازی برای حل مسائل سلسله مراتبی، گسترش پیدا کرده است. در این حالت، تصمیم‌گیرندگان معمولاً قضاوت خود را در قالب یک بازه به جای یک ارزش ثابت انجام می‌دهند که بسیار مطمئن‌تر است. به همین دلیل تصمیم‌گیرنده قادر نیست ترجیحات صریحی در خاصیت فازی فرآیند مقایسه داشته باشد (ارتگول و کاراکاسکو 2009).

در این مطالعه از روش چانگ (1996) بهره گرفته شده است. در این روش هر معیار به یک مجموعه فازی¹ $M_i(l_i, m_i, u_i)$ تبدیل می‌شود. بنابراین ارزش کل هر معیار در تابع مثلث فازی به صورت $mi/\sum mi$ و $li/\sum li$ و $ui/\sum ui$ خواهند بود. در مرحله بعد تابع عضویت برای هر معیار ساخته شده و اشتراک آنها دو به دو با هم مقایسه می‌شود. اگر g_i نشان‌دهنده هدف باشد، M ارزش برای هر معیار، بدین گونه معرفی می‌شود (ازداگلو 2008):

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, M_{gi}^3, \dots, M_{gi}^m \quad [2]$$

که $(i = 1, 2, \dots, m)$ و M_{gij} که $(j = 1, 2, \dots, m)$ تعداد مثلث‌های فازی می‌باشند. مراحل تجزیه و تحلیل چانگ بدین صورت است:

مرحله 1: ساخت تابع ترکیبی فازی، با توجه به آیین معیار

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad [3]$$

که در اینجا M_{gij} این گونه محاسبه می‌شود:

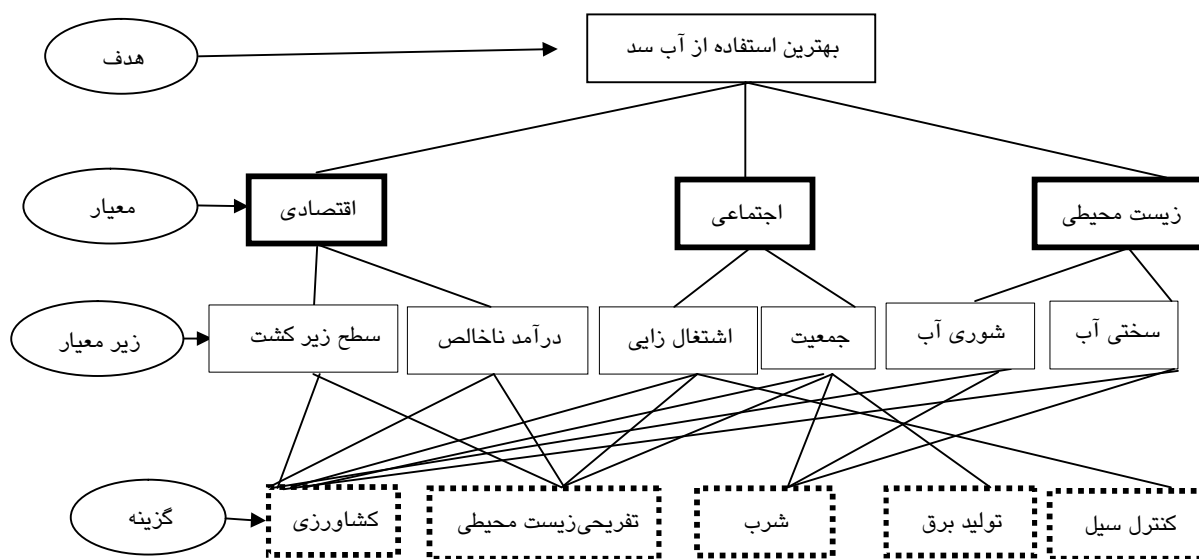
$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad [4]$$

بنابراین می‌توان نوشت:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad [5]$$

در این صورت رابطه زیر بدست می‌آید:

¹Fuzzy set



شکل 2- ساختار سلسله مراتبی به منظور اولویت بندی گزینه های استفاده از آب سد

تولید برق و کنترل سیلاب منطقه بوده که در ساختار مذکور به شکل سلسله مراتبی طراحی شد. وزن های جزئی و نهایی هر شاخه با استفاده از منطق فازی بدست می آید. ترجیحات تصمیم گیرنده یا به عبارتی ارزش کلامی هر مقایسه از جدول 1 محاسبه شد.

نتایج و بحث

همان طور که گفته شد اساس روش تحلیل سلسله مراتبی بر پایه مقایسات دو به دو تصمیم گیرنده، در قالب ماتریس استوار است. ترجیحات تصمیم گیرنده یا به عبارتی ارزش کلامی هر مقایسه از جدول 1 محاسبه می شود. مقایسات انجام شده به منظور اولویت بندی آلترناتیوهای استفاده کننده از آب در مرحله اول محاسبات وزنی به شرح جداول 12-2 می باشد

در این مطالعه نمای کلی تحلیل سلسله مراتبی به شرح شکل 2 می باشد:

در این ساختار همانطور که گفته شد در سطح اول تا چهارم به ترتیب هدف، معیار، زیر معیار و گزینه ها قرار گرفته است. هدف اصلی تعیین بهترین استفاده از آب سد، سپس سه معیار اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی به منظور تعیین اولویت تخصیص آب سد مهاباد به گزینه های استفاده کننده در نظر گرفته می شود. برای معیار اقتصادی، زیر معیارهای سطح زیرکشت منطقه و درآمد ناخالص، برای معیار اجتماعی، زیر معیارهای اشتغال زایی و جمعیت، برای معیار زیست محیطی، زیر معیارهای شوری و سختی آب در نظر گرفته شد. گزینه های استفاده کننده از آب سد و یا به عبارتی بخش های نیازمند آب سد شامل بخش کشاورزی، شرب شهری، تفریحی- زیست محیطی،

جدول 1- ارزش‌های کلامی و مجموعه اعداد فازی مثلثی مربوط به هر ارزش

مجموعه اعداد فازی مثلثی (TFN)	قضاوت انجام گرفته
(7/2 ، 4، 9/2)	مطلقاً مهم (ردیف به ستون)
(5/2 ، 3، 7/2)	بسیار مهم (ردیف به ستون)
(3/2 ، 2، 5/2)	نسبتاً مهم (ردیف به ستون)
(2/3 ، 1، 3/2)	ضعیف (ردیف به ستون)
(1، 1، 1)	اهمیت یکسان
(2/3 ، 1، 3/2)	ضعیف (ستون به ردیف)
(2/5 ، 1/2، 2/3)	نسبتاً مهم (ستون به ردیف)
(2/7 ، 1/3، 2/5)	بسیار مهم (ستون به ردیف)
(2/9 ، 1/4، 2/7)	مطلقاً مهم (ستون به ردیف)

منبع: (تولگا و همکاران 2005) *: علامت (/) بیانگر عمل تقسیم است

زیرمعیار	کشاورزی	شوری آب
----------	---------	---------

جدول 2- ماتریس مقایسات دو به دوی معیارها

معیار	اقتصادی			اجتماعی			زیست محیطی		
اقتصادی	1	1	1	2/5	2	1/5	1/5	1	0/66
اجتماعی	0/66	0/5	0/4	1	1	1	1/5	1	0/66
زیست محیطی	1/5	1	0/66	1/5	1	0/66	1	1	1

منبع: نتایج تحقیق

جدول 3- ماتریس مقایسات دوبه‌دوی زیر معیارهای اقتصادی

معیارها	سطح زیرکشت			درآمد ناخالص		
سطح زیرکشت	1	1	1	0/28	0/33	0/4
درآمد ناخالص	3/5	2	2/5	1	1	1

منبع: نتایج تحقیق

جدول 4- ماتریس مقایسات دوبه‌دوی زیر معیارهای اجتماعی

زیرمعیار	اشتغال زایی			جمعیت		
اشتغال زایی	1	1	1	1/5	1	0/66
جمعیت	1/5	1	0/66	1	1	1

منبع: نتایج تحقیق

جدول 5- ماتریس مقایسات دوبه‌دوی زیر معیارهای زیست محیطی

زیرمعیار	سختی آب			شوری آب		
سختی	1	1	1	1/5	1	0/66
شوری	1/5	1	0/66	1	1	1

منبع: نتایج تحقیق

جدول 6- ماتریس مقایسات دوجه دوی آلترناتیوها برای زیرمعیار سطح زیر کشت

گزینه	کشاورزی			تفریحی		
	1	1	1	3	2/5	3/5
کشاورزی	1	1	1	3	2/5	3/5
تفریحی	0/4	0/33	0/28	1	1	1

منبع: نتایج تحقیق

جدول 7- ماتریس مقایسات دوجه دوی آلترناتیوها برای زیرمعیار درآمد ناخالص

گزینه	کشاورزی			تفریحی		
	1	1	1	1	0/66	1/5
کشاورزی	1	1	1	1	0/66	1/5
تفریحی	1/5	1	0/66	1	1	1

منبع: نتایج تحقیق

جدول 8- ماتریس مقایسات دوجه دوی آلترناتیوها برای زیرمعیار اشتغال زایی

گزینه	کشاورزی			تفریحی			کنترل سیل		
	1	1	1	1/5	1	0/66	2	1/5	2/5
کشاورزی	1	1	1	1/5	1	0/66	2	1/5	2/5
تفریحی	1/5	1	0/66	1	1	1	1	0/66	1/5
کنترل سیل	0/66	0/5	0/4	1/5	1	0/66	1	1	1

منبع: نتایج تحقیق

جدول 9- ماتریس مقایسات دوجه دوی آلترناتیوها برای زیرمعیار جمعیت

گزینه	کشاورزی			تفریحی			شرب			برق			کنترل سیل		
	1	1	1	2/5	2	1/5	0/4	0/33	0/28	0/4	0/33	0/28	2	1/5	2/5
کشاورزی	1	1	1	2/5	2	1/5	0/4	0/33	0/28	0/4	0/33	0/28	2	1/5	2/5
تفریحی	0/66	0/5	0/4	1	1	1	0/28	0/25	0/22	0/28	0/25	0/22	1	1	1
شرب	3/5	2	2/5	4/5	4	3/5	1	1	1	1	1	1	4/5	4	3/5
برق	3/5	2	2/5	3/5	2	2/5	0/66	0/5	0/4	0/66	0/5	0/4	1	1	1
کنترل سیل	0/4	0/33	0/28	1	1	1	0/28	0/25	0/22	0/28	0/25	0/22	1	1	1

منبع: نتایج تحقیق

جدول 10- ماتریس مقایسات دوجه دوی آلترناتیوها برای زیرمعیار شوری آب

گزینه	کشاورزی			شرب		
	1	1	1	1	0/66	1/5
کشاورزی	1	1	1	1	0/66 <td>1/5</td>	1/5
شرب	1/5	1	0/66	1	1	1

منبع: نتایج تحقیق

جدول 11- ماتریس مقایسات دوجه دوی آلترناتیوها برای زیرمعیار سختی آب

گزینه	کشاورزی			شرب		
	1	1	1	1	0/5	0/66
کشاورزی	1	1	1	1	0/5 <td>0/66 </td>	0/66
شرب	2/5	2	1/5	1	1	1

منبع: نتایج تحقیق

براساس رابطه 3 ماتریس ترکیبی در مرحله دوم وزن‌دهی برای معیارهای در نظر گرفته شده به فرم جدول 12 می‌باشد.

در مرحله آخر وزن‌دهی (مرحله سوم)، طبق روابط 7 و 8 ارزش هر کدام از توابع عضویت معیارها به فرم جدول 13 به دست آمد.

جدول 12- ماتریس ترکیبی معیارها

0/66	0/42	0/26	=	0/132	0/105	0/082	⊗	5	4	3/16	اقتصادی
0/41	0/26	0/16	=	0/132	0/105	0/082	⊗	3/16	2/5	2/06	اجتماعی
0/52	0/31	0/19	=	0/132	0/105	0/082	⊗	4	3	2/33	زیست محیطی

منبع: نتایج تحقیق

جدول 13- ارزش‌گذاری توابع عضویت معیارها

$V(S_e \geq S_{so}) =$	1	$V(S_e \geq S_z) =$	1
$V(S_{so} \geq S_e) =$	0/5	$V(S_{so} \geq S_z) =$	0/81
$V(S_z \geq S_{so}) =$	0/71	$V(S_z \geq S_e) =$	1

منبع: نتایج تحقیق

سپس بر طبق روابط 9 و 10 ارزش جزئی هر معیار به صورت جدول 14 به دست آمد.

و در نهایت طبق رابطه 10 ارزش‌های به دست آمده نرمال و از حالت فازی خارج می‌شوند. بنابراین، وزن جزئی این معیارها به صورت رابطه 15 می‌باشد.

جدول 14- ارزش نهایی هر معیار

معیارها	اقتصادی	اجتماعی	زیست محیطی
ارزش‌های نهایی	1	0/5	0/71

منبع: نتایج تحقیق

جدول 15- وزن جزئی هر معیار

معیارها	اقتصادی	اجتماعی	زیست محیطی
وزن‌های نهایی	0/45	0/23	0/32

منبع: نتایج تحقیق

طریقه وزن‌دهی زیرمعیارها نیز به همین صورت انجام گرفت. نتایج آن به شرح جدول 16 می‌باشد.

وزن هر گزینه نسبت به زیرمعیار مربوطه نیز به شرح جدول 17 می‌باشد.

جدول 16- وزن جزئی هر زیر معیار

زیست محیطی		اجتماعی		اقتصادی		معیار
سختی آب	شوری آب	جمعیت	اشتغال زایی	درآمد ناخالص	سطح زیر کشت	زیر معیار
0/5	0/5	0/5	0/5	1	0	وزن نهایی

منبع: نتایج تحقیق

جدول 17- وزن جزئی هر آلترناتیو نسبت به زیر معیار های مربوطه

زیر معیار						آلترناتیو
سختی آب	شوری آب	جمعیت	اشتغال زایی	درآمد ناخالص	سطح زیر کشت	
0	0/5	0	0/45	0/5	1	کشاورزی
----	----	0	0/32	0/5	0	تفریحی
1	0/5	0/66	----	----	----	شرب
----	----	0/34	----	----	----	تولید برق
----	----	0	0/23	----	----	کنترل سیل

منبع: نتایج تحقیق

اکنون وزن نهایی هر آلترناتیو با ضرب وزن-
های جزئی مربوط به هم بدین صورت محاسبه می-
شود.

$$\times 1 + 0/45 \times 1 \times 0/5 + 0/23 \times 0/5 \times 0/45 + 0/23 \times 0/5 \times 0 + 0/32 \times 0/5 \times 0 + 0/32 \times 0/5 \times 0/5 = 0/356$$

کشاورزی :

$$0/45 \times 0$$

$$0/45 \times 1 \times 0 + 0/45 \times 1 \times 0/5 + 0/23 \times 0/5 \times 0/32 + 0/5 \times 0/23 \times 0 = 0/261$$

تفریحی :

$$0/32 \times 0/5 \times 0/66 + 0/32 \times 0/5 \times 1 + 0/32 \times 0/5 \times 0/5 = 0/315$$

شرب :

$$0/23 \times 0/5 \times 0/34 = 0/039$$

تولید برق :

$$0/23 \times 0/5 \times 0/23 + 0/32 \times 0/5 \times 0 = 0/026$$

کنترل سیلاب :

با وزن نهایی برابر 0/356 بیشترین وزن و در اولویت اول و بعد از آن بخش شرب شهری با وزنی برابر 0/3159، تفریحی- زیست محیطی با وزنی برابر 0/261، تولید برق با وزنی برابر 0/039 و کنترل سیل با وزن 0/026 در اولویت های دیگر قرار گرفتند. بنابراین، تخصیص آب به بخش کشاورزی بایستی در اولویت نخست قرار گیرد. عرضه آب به بخش کشاورزی به طور مستقیم به اقتصاد بخش کشاورزی و به طور غیر

مطابق جدول 2 مقایسات زوجی بین معیارها و محاسبه وزن های جزئی از جداول 12، 13 و 14 معیار اقتصادی وزن جزئی 0/45، معیار زیست محیطی 0/32 و معیار اجتماعی 0/23 را گرفتند. روند وزن دهی برای هر زیر معیار به همین ترتیب تکرار شد و اهمیت هر کدام برای گزینه های مربوطه بدست آمد. وزن های نهایی هر گزینه نیز با ضرب وزن جزئی هر زیر معیار در معیار مربوطه بدست آمد. بدین ترتیب گزینه بخش کشاورزی

فازی طراحی و تبیین شد. همانطور که گفته شد، اساس این مدل بر پایه اعمال نظر شخص تصمیم‌گیرنده در رابطه با مقایسات دو به دوی معیارها و زیرمعیارها به منظور تعیین وزن آنها بنا شده است. ساختار سلسله مراتبی در این مطالعه شامل 6 گزینه تأمین آب بخش کشاورزی، شرب شهری، تولید برق، کنترل سیل و تفریحی-زیست محیطی است. پس از اعمال نظر تصمیم‌گیرندگان و تعیین اوزان هر معیار، زیر معیار و نهایتاً گزینه، اوزان نهایی به منظور اولویت‌بندی تخصیص آب به گزینه‌ها، بخش کشاورزی با گرفتن وزن 0/356 بیشترین وزن را به خود گرفت. این مهم بیانگر اهمیت اقتصاد کشاورزی منطقه مهاباد و وابستگی بخش کشاورزی به آب سد، به منظور تأمین نیاز آبی خود می‌باشد. اما، کمترین وزن مربوط به کنترل سیل با مقدار 0/026 بود، که عدم به‌وجود آمدن سیل در منطقه در سال‌های اخیر، می‌تواند دلیل خوبی بر این قضیه باشد.

مستقیم به کل اقتصاد منطقه اثری معنی‌دار دارد. این مهم بیانگر اهمیت بخش کشاورزی در اقتصاد و شرایط زیستی منطقه و تخصیص آب به این بخش می‌باشد. بخش شرب نیز با اهمیتی نسبتاً کمتر در اولویت دوم قرار گرفت. بخش شرب و برطرف کردن نیاز شرب شهری، همواره مسئله‌ای حیاتی برای بقای یک شهر بوده و هست. اما به دلیل جمعیت نسبتاً کم شهری، تخصیص آب به این بخش در اولویت دوم قرار گرفت. شرایط آب و هوایی و جنبه گردشگری منطقه اهمیت بخش تفریحی و تأمین آب برای این بخش تولیدی را نمایان می‌سازد. دلیل استفاده کم منطقه از برق تولیدی سد، تأمین آب برای تولید برق در اولویت چهارم قرار گرفت. کنترل سیلاب نیز به دلیل نبود سابقه سیلاب در منطقه در اولویت آخر قرار گرفت.

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر به منظور بررسی و تعیین اولویت تخصیص آب سد مهاباد، مدل سلسله مراتبی

منابع مورد استفاده

- تجربیشی م و ابریشم چی، ا، 1383. مدیریت تقاضای منابع آب در کشور. صفحه‌های 20-10. اولین همایش روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع ملی، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، تهران.
- حسینی فرازمنند م، 1379. طراحی مدل ریاضی بهره‌برداری منابع آبی در سد کرخه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس.
- دشتی س و خیاط خلقی م، 1385. کاربرد روش‌های حل بهینه‌سازی چند هدفه در مدیریت تخصیص سیستم مرکب از رودخانه و آبخوان. صفحه‌های 45-36. سیزدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، دانشگاه باهنر کرمان.
- رفیعی دارانی ه، بخشوده م و زیبایی م، 1386. انتخاب و رتبه‌بندی سیستم‌های آبیاری در استان اصفهان: کاربرد ماتریس معیارها، کارایی کیفی گزینه‌ها و برنامه‌ریزی چندمعیاری، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 40، شماره 11. صفحه‌های 408-399.
- قادری ج و محمدپور ع، 1383. تحلیل جریان ورودی به مخزن سدها در مدل برنامه‌ریزی آرمانی با قیدهای تصادفی (مطالعه موردی سد مخزنی مهاباد). مجله دانشکده فنی دانشگاه تبریز، جلد 30، شماره 3. صفحه‌های 46-35.

محمدپور ع، سی و سه مرده م و شمسایی ا، 1385. کاربرد مدل تحلیل چند معیاره جهت برنامه ریزی بخش آبیاری (مطالعه موردی اراضی پایاب سد مخزنی مهاباد). صفحه های 120-128. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان.

Ánagnostopoulos KP, Petalas C, and Pisinaras V, 2005. Water resources planning using the AHP and PROMETHEE multicriteria methods: the case of Nestos river – Gressce. Pp. 120-132. The 7th Balkan Conference on Operational Research, Constanta, Romania.

Anonymous, 2004. Sustainable development of water resources in Asia and the Pacific: An overview.

Arunraj NS, and Maiti J, 2010. Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming. *Safety Science* 48: 238–247.

Bournaski EG, Kirilov LM, Iliev RS, and Diadovski I, 2006. Decision support for water quality management. Pp. 176-183. International Conference on Computer Systems and Technologies, Bulgaria.

Chang DY, 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy- AHP. *European Journal of Operational Research* 95: 649-655.

Dinar A, Rosegrant MW, and Dick RM, 2000. Water allocation mechanisms principles and examples, Policy Research Working Paper 1779. Washington, DC, World Bank.

Ertugrul I, and Karakasoglu N, 2009. Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications* 36: 702–715.

Huang H, and Miller GY, 2003. Evolution of swine odor management strategies in a fuzzy multi-criteria decision environment. Pp. 87-95. American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Montreal, Canada.

Lee AHI, Chen WC, and Chang CJ, 2008. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of it department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert Systems with Applications* 34: 96–107.

Mei, X, Rosso, R, Huang, GL, and Nie, GS. 1989, Application of analytical hierarchy process to water resources policy and management in Beijing, China. Pp. 73-85. Proceedings of the Baltimore Symposium.

Özdoglu A, 2008. Analysis of selection criteria for manufacturing employees using Fuzzy-AHP. *Isletme Fakültesi Dergisi* 9(1): 141-160.

Rudi F, 2009. The use of AHP (the Analytic Hierarchy Process) method for irrigation water allocation in a small river basin (Case Study in Tampo river basin in West Sumatra, Indonesia). Pp. 121-127. 11th conference of international association for water allocation, Indonesia.

Soecker AL, Seidmann A, and Lloyd GS, 1985. A linear dynamic programming approach to irrigation system management with depleting groundwater. *Management Science* 31(4): 422-434

Tolga E, Demircan ML, and Kahraman C, 2005. Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process. *Production Economics* 97: 89-117.

Tunc FB, and Ahmet B, 2007. Prioritization of organizational capital measurement indicators using fuzzy AHP. *Approximate Reasoning* 44: 124–147.