

مقایسه دو روش تصمیم‌گیری AHP و Fuzzy-AHP در مکان‌یابی اولیه سدهای زیرزمینی در منطقه طالقان

وحید عیسوی^{۱*}، جلال گرمی^۲، عباس علیمحمدی^۳ و سید علی نیک‌نژاد^۴

^۱ کارشناس ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ استادیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳ استادیار، گروه مهندسی GIS، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

^۴ کارشناس ارشد، گروه بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۱۹

چکیده

در دهه‌های اخیر حفر چاه‌های ژرف و نیمه‌ژرف به تدریج جایگزین قنات‌ها شد که در کنار مزیت‌های نسبی، با آثار زیست‌محیطی فراوانی مانند افت سطح آب زیرزمینی و ایجاد فرونشست برای بیشتر مناطق بهره‌برداری همراه است. به تازگی مطالعاتی به منظور جایگزینی سدهای زیرزمینی به جای سدهای متوسط و کوچک برای ذخیره‌سازی و استفاده بهینه از آب و کاهش اثرات زیست‌محیطی صورت گرفته است. مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، فرایند کاملاً پیچیده‌ای است و عوامل زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی و آب‌شناسی نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. تعیین نقش و اهمیت متغیرهای مورد اشاره مبتنی بر نظرات گروه‌های کارشناسی است و معمولاً این اهمیت در قالب متغیرهای زبانی بیان می‌شود. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، امکان استفاده از متغیرهای زبانی در کنار متغیرهای کمی را دارد و اساساً مبتنی بر نظرات کارشناسی است. در سال‌های اخیر به منظور افزایش قابلیت روش AHP، این روش با روش فازی پیاده‌سازی شده و در قالب الگوریتم Fuzzy-AHP ارائه شده است. در این نوشتار، از دو روش AHP و Fuzzy-AHP در تعیین مناطق مناسب برای سدهای زیرزمینی استفاده شد. برای پیاده‌سازی روش Fuzzy-AHP از روش باکلی و بونیسون استفاده شد و برای غیرفازی کردن مقادیر مطلوبیت فازی \tilde{u}_j ، روش yager به کار گرفته شد. از مجموع ۵۶ نقطه خروجی زیرحوضه‌ها در روش AHP ۲۶ نقطه و در روش FUZZY-AHP ۱۵ نقطه با مناطق مناسب و قابل دسترس، همپوشانی داشتند. نتایج نشان داد که روش Fuzzy-AHP انعطاف‌پذیری بیشتر و قابلیت بالاتری در تعیین مناطق مناسب سد دارد.

کلید واژه‌ها: مکان‌یابی سدهای زیرزمینی، تصمیم‌گیری چند معیاره، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، الگوریتم ترکیبی Fuzzy-AHP، حوضه طالقان

E-mail: vahid.orman@yahoo.com

*نویسنده مسئول: وحید عیسوی

۱- مقدمه

(گلمایی و آشتیانی‌مقدم، ۱۳۸۴). امروزه استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در ذخیره‌سازی اطلاعات مکانی و غیر مکانی، مدیریت، ویرایش، قابل نمایش کردن و در نهایت امکان اعمال انواع تحلیل‌های فضایی، ابزار قدرتمندی را در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران در کمک به فرایند تصمیم‌گیری قرار داده است. برخلاف روش‌های سنتی که اولاً زمان‌بر بوده و ثانیاً امکان تحلیل هم‌زمان داده‌ها وجود ندارد، در محیط GIS افزون بر کاهش زمان، امکان داشتن یک نگاه جامع به منطقه و داده‌های مورد استفاده را می‌دهد.

۲- نگاهی به زمین‌شناسی منطقه طالقان

بر اساس مطالعات زمین‌شناسی در منطقه، لایه‌های پوسته زمین مربوط به دوره‌های کواترنری، ترسیر است که شامل سازندهای کرج و قرمز بالایی و کواترنری است (نقشه زمین‌شناسی ورقه شکران، سازمان زمین‌شناسی). سنگ‌های منطقه به‌طور کلی شامل نهشته‌های آبرفتی، شن، ژئیس، گدازه‌های بازی و ... است (فیض‌نیا و جعفری، ۱۳۸۱). این منطقه حوضه‌های بین کوهستانی است که در اثر حرکات زمین‌ساختی به شکل موجود درآمده است. سازند زمین‌شناسی حوضه متشکل از قدیمی‌ترین سازندهای متعلق به پرکامبرین تا جوان‌ترین سازند متعلق به کواترنری است. نهشته‌های کواترنری حوضه آبخیز طالقان ۹/۶ درصد از مساحت حوضه را تشکیل می‌دهند که این نهشته‌ها در مجاورت رودخانه‌ها، بستر مسیل‌ها و خشکه‌رودهاست. بیشترین مساحت نهشته‌های کواترنری حوضه را پادگانه‌های رودخانه‌ای تشکیل می‌دهند (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۶). در حوضه طالقان ژرفای رسوبات در خشکه‌رودها و مخروط‌افکنه‌های آبرفتی بین ۳ تا ۵۰ متر است که برای ساخت سدهای زیرزمینی کوچک مناسب است. دره‌های باریک و بستر خشکه‌رودها و رودخانه‌های موقتی امکان ذخیره حجم زیادی آب را فراهم می‌آورند و سبب کاهش افت‌های ناشی از

ایجاد سدهای مختلف بزرگ و کوچک در کنار مزیت‌های قابل توجه در کنترل و مدیریت آب‌های سطحی و استفاده چند منظوره در تأمین منابع آبی و انرژی برقی، موجب ایجاد تغییر کاربری‌های وسیع و اثرات زیست‌محیطی شده است. در سال‌های اخیر تلاش‌هایی در استفاده از فناوری‌های سازگار با طبیعت در کنترل و مدیریت منابع آب انجام شده که نمونه آن ایجاد سدهای زیرزمینی در مناطق مختلف است. از مزایای احداث این گونه سدها، جلوگیری از هدر رفت آب به واسطه کاهش تبخیر و تعرق به‌ویژه در مناطق گرم و خشک، جلوگیری از آلودگی آب در مقابل آلاینده‌های طبیعی و انسانی، عدم خسارت به منابع خاک و نبود تغییرات کاربری به واسطه زیرزمینی بودن آن و تقویت سفره‌های آب زیرزمینی و استفاده از منابع آبی بر اساس نیاز زمانی است. این مزیت‌های یاد شده، انجام مطالعات وسیع به‌ویژه در مناطق کم آب را برای انتخاب مناطق مناسب در ایجاد سدهای زیرزمینی را ضروری می‌نماید. سدهای زیرزمینی سازه‌هایی هستند که جریان طبیعی آب‌های زیرزمینی را مسدود کرده و سبب ایجاد ذخایر آبی در زیرزمین می‌شوند (Onder and Yilmaz, 2005). عوامل زمین‌شناختی و زمین‌ساختی، زمین‌ریخت‌شناسی، سامانه‌های زمین‌شناختی و شرایط اقلیمی از جمله عوامل اصلی در انتخاب مکان‌های مناسب برای احداث این گونه سدهاست. فناوری سدهای زیرزمینی شامل ساخت دیواره‌های ممتد زیرسطحی، عمود بر مسیر رودخانه برای ذخیره آب جریان‌های زیر سطحی در لایه‌های آبرفتی بستر رودخانه‌های فصلی است (Onder and Yilmaz, 2005). کمی شیب، وجود رسوبات با تخلخل درشت زیاد برای این نوع سدها بیشتر در دره‌های خشکه رودها، آبگذرهای باریک و مخروط‌افکنه‌های آبرفتی یافت می‌شود. مهم‌ترین مسئله در احداث سدهای زیرزمینی انتخاب محل مناسب برای احداث سد است و بهترین وسیله، مطالعات اولیه برای یافتن محل مناسب جهت احداث سدهای زیرزمینی، ترکیب عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای همراه با مطالعه نقشه‌ها و کنترل صحرائی است

عنوان مکان‌یابی محل دفن زباله در اطراف شهر رانسی، با استفاده از GIS و RS، ۵ محل جدا از هم را در اطراف این شهر برای دفن زباله انتخاب کردند. (Pi-Fang et al. 2008)، مکان‌یابی خانه سالمندان را با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام دادند.

در سال‌های اخیر از تئوری منطق فازی در توسعه الگوریتم AHP استفاده شده است که موجب افزایش قابلیت‌های این روش و همزمان مدل‌سازی خطاها و نبود دقت‌های مفهومی و داده‌ها شده است. در این زمینه نیز مطالعاتی انجام شده که به برخی از آنها اشاره می‌شود. (Vahidnia et al. (2009) با ترکیب GIS و Fuzzy-AHP اقدام به مکان‌یابی مناطق مناسب برای احداث بیمارستان کردند. (Gumus (2009) با استفاده از دو روش Fuzzy-AHP و Topsis شرکت‌های انتقال مواد زائد مخاطره‌آمیز را ارزیابی کرده است. قاجری و همکاران (۱۳۸۸) برای مکان‌یابی پارکینگ‌های شهری در ناحیه ۴ منطقه ۱۵ تهران از روش‌های Structured AHP و AHP three degree، Fuzzy AHP استفاده کردند. در این نوشتار، با استفاده از روش‌های یادشده، چهار سناریوی مکان‌یابی پارکینگ برای محدوده مورد مطالعه تهیه و مقادیر به‌دست آمده با استفاده از روش‌های استاندارد کردن به امتیازهای استاندارد تبدیل و با یکدیگر مقایسه شدند، که با توجه به وزن‌های محاسبه شده در بین چهار سناریو، سناریوی دوم که با روش Fuzzy AHP وزن‌دهی شده بود، مناسب‌ترین نتیجه را برای مکان‌یابی پارکینگ در منطقه مورد مطالعه ارائه کرده است.

۳- مواد و روش کار

۳-۱. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز طالقان در بین عرض‌های جغرافیایی ۵' ۳۶° تا ۲۳' ۳۶° شمالی و طول جغرافیایی ۲۰' ۵۰° تا ۱۰' ۵۰° خاوری قرار دارد (شکل ۱). مساحت حوضه آبخیز طالقان ۱۱۳۵۳۶ هکتار است. دره طالقان با ۱۰۰ کیلومتر طول و در حدود ۳۰ تا ۴۰ کیلومتر عرض امتداد خاوری-باختری دارد.

میانگین بارش سالانه حوضه ۵۶۰ میلی‌متر است. خاک‌های حوضه آبخیز طالقان شامل دو رده انتی سول و انسپتی سول است.

۳-۲. معیارهای مورد استفاده و آماده‌سازی آنها

– **نقشه زمین‌شناسی:** مطالعات زمین‌شناسی منطقه برای احداث سد زیرزمینی باید در دو مرحله انجام شود. یکی بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و مطالعات موجود برای مکان‌یابی اولیه و دوم مطالعات تکمیلی بعد از مکان‌یابی اولیه، که با استفاده از نمونه‌برداری‌های رسوب، گمانه‌های اکتشافی و کاوش‌های ژئوفیزیکی (برای تعیین ژرفای رسوبات، سطح آب زیرزمینی در فصل‌های مختلف سال، نفوذپذیری و ضریب آبگذری رسوبات محل اجرای سد و...) است. این مطالعات، هزینه‌بردار است و نمی‌توان آنها را در تمام سطح منطقه انجام داد و فقط در مناطقی آن را انجام می‌دهیم که توسط مکان‌یابی اولیه تعیین شده باشند. معمولاً نهشته‌های کواترنری، به دلیل نفوذپذیری بالایی که دارند، محلی مناسب برای احداث این گونه سدها هستند. با توجه به جنس زمین و مناسب بودن آن برای احداث سد، لایه زمین‌شناسی به ۵ زیرلایه با امتیازهای ۹ (کاملاً مناسب)، ۷ (مناسب)، ۵ (متوسط)، ۳ (کمی مناسب) و ۱ (نامناسب) رده‌بندی شد. برای دیگر لایه‌ها نیز بر همین اساس ۵ زیرلایه تشکیل و رده‌بندی انجام شد.

– **نقشه آبراهه:** نقشه آبراهه حوضه از نقشه توپوگرافی منطقه استخراج شد. بیشترین عرض رودخانه‌های حوضه حدود ۹۰ متر است، بنابراین با فاصله‌های ۱۰۰ متری حریم‌گذاری شدند. معمولاً سدهای زیرزمینی در بستر آبراهه‌ها و خشک‌رودها احداث می‌شوند.

– **نقشه شیب:** با استفاده از نقشه توپوگرافی، نقشه شیب منطقه تهیه شد. با مروری بر کارهای انجام شده، مناسب‌ترین شیب بین ۰/۲ تا ۸ درصد در نظر گرفته شده و زیرلایه ۹ از آن جدا شد. شیب‌های بالاتر از ۸ درصد، رتبه‌های پایین‌تر را کسب کرده و زیرلایه‌های (ویژگی‌ها Attribute) ۳، ۵، ۷ و ۱ از آن جدا شدند.

تراوش می‌شوند (یزدانی، ۱۳۸۳). وضعیت نهشته‌های کواترنری حوضه طالقان همراه با وضعیت نفوذپذیری و املاح موجود در آنها توسط احمدی و فیض‌نیا (۱۳۸۵) بررسی شده است. نهشته‌های این منطقه شامل Q3al نهشته‌های بستر امروزی با ۹۴۶/۵ هکتار مساحت، Q2af نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای، Qt4 یا T نهشته‌های پادگانه‌ای جنگ ترویا به دلیل نفوذپذیری مناسب و میزان خلل و خرج بالا و همچنین نبود املاح بالا مناسب تشخیص داده شد و دیگر نهشته‌های Ngm (گل‌سنگ، سیلت‌سنگ و مارن تبخیری)، Q1s (نهشته‌های حرکت توده‌ای یا کوه‌رفتی کواترنری زیرین)، Q2s (نهشته‌های حرکت توده‌ای یا کوه‌رفتی کواترنری بالایی)، gy1 (مارن شدیداً تبخیری زیرین)، gy2 (گل‌سنگ، سیلت‌سنگ و مارن شدیداً تبخیری بالایی) با توجه به ویژگی آنها که نفوذپذیری کم و ریزدانه بودن و املاح زیاد نامناسب در نظر گرفته شدند. مناطق زیادی از منطقه در روی نقشه زمین‌شناسی با علامت Q1 و Q2 نشان داده شده است و علامت نهشته‌های لغزشی دوره کواترنری را دارند، اما با بررسی‌های انجام شده، مشخص شد که در اصل این همان تیپ gy است (عباسی، ۱۳۸۷) که به علت رخداد حرکات توده‌ای در این سازند در دوران کواترنری در نقشه‌های زمین‌شناسی این بخش‌ها به عنوان نهشته‌های لغزش و سولیفولکسیون کواترنری نشان داده شده‌اند و دارای محدودیت برای ساخت سد زیرزمینی هستند. در تحقیق انجام شده توسط سلامی (۱۳۸۵) به منظور انتخاب مکان‌های مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی پس از ارزیابی‌های اولیه و تعیین معیارهای مناسب، بر اساس روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، عوامل مؤثر، الویت‌بندی شد که در آن شیب و زمین‌شناسی، مهم‌ترین عوامل در نظر گرفته شدند. در تحقیق انجام شده دیگر توسط چزگی و همکاران (۱۳۸۸)، ضمن بیان ضرورت استفاده از سدهای زیرزمینی، پس از ارزیابی‌های اولیه و تعیین معیارهای مناسب، بر اساس روش AHP، الویت‌بندی شده و در نهایت ۲۷ نقطه به عنوان مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی معرفی شده است و شیب و زمین‌شناسی، مهم‌ترین عوامل در نظر گرفته شده‌اند.

(Fozieri et al. (2008) در یک مطالعه موردی در منطقه kidal، واقع در mali، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و GIS، مکان‌های اولیه مناسب برای احداث سدهای سطحی و زیرزمینی کوچک را مشخص کرده‌اند.

برای مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در ایران کارهایی انجام شده است که از روش‌های حذفی و یا فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده و برای این کار از اعداد قطعی و صفر یا یک استفاده کرده‌اند در حالی که دنیای واقعی به شکل واقعیت خاکستری است و کارشناسان در اختصاص وزن‌های ارزش‌یابی در روش AHP با نبود اطمینان همراه است، بنابراین در تصمیمات، لزوم توجه به منطق فازی احساس می‌شود و در این نوشتار سعی می‌شود به تفاوت‌ها و مزیت‌های دو روش AHP و Fuzzy-AHP پرداخته شود.

در دهه‌های اخیر طیف متنوعی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه و توسعه یافته‌اند. از جمله این روش‌های تصمیم‌گیری، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است که برای اولین بار در توسط Saaty (1980) معرفی شد. مطالعات مختلفی در زمینه استفاده از AHP در زمینه تصمیم‌گیری و به‌ویژه مکان‌یابی انجام شده، که در ادامه به پاره‌ای از آنها اشاره می‌شود. از روش AHP در فرایندهای مختلف محیطی مانند پهنه‌بندی زمین لغزش (Vastava & Natwat, 2003) و مکان‌یابی (Komac, 2006; Chun et al., 2009) و Cheng et al., 2007) استفاده‌های فراوانی شده است. فخری (۱۳۷۸) ضمن تحقیق در مورد معیارهای مؤثر در مکان‌یابی پادگان‌های لجستیک و تحلیل وضع موجود، به بیان قابلیت‌های GIS نسبت به روش‌های سنتی مکان‌یابی پادگان‌ها و بیان مزیت مدل وزن‌دهی نسبت به مدل بولین پرداخته است. (Komac (2006) و Chun et al. (2009) مناطق مستعد زمین لغزش را در تایوان با استفاده از AHP تعیین کردند. (Cheng et al. (2007) برای انتخاب مکان بهینه برای احداث بیمارستان در تایوان از AHP و تحلیل حساسیت استفاده کردند. (Vastava & Natwat (2003) در پژوهشی با

می‌دهد. تمامی مقایسه‌ها در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، به صورت زوجی انجام می‌شود، که در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد. پس از تعیین اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر، نباید آهنگ سازگاری سامانه (Consistency ratio; CR) از ۰/۱ بیشتر باشد، که CR از تقسیم شاخص سازگاری (Consistency Index; CI) بر میانگین شاخص سازگاری (RI) محاسبه می‌شود. مقدار RI نیز توسط Vargas and Saaty (1991) برای ماتریس‌های در ابعاد مختلف آماده شده است (قدسی پور، ۱۳۸۴).

– الگوریتم فازی – فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Fuzzy-AHP): به‌رغم محبوبیت عام، AHP به دلیل ناتوانی در ترکیب ابهام ذاتی و نبود صراحت مربوط به نگاشت ادراک‌های تصمیم‌گیرندگان با اعداد دقیق، مورد نقد است (Deng, 1999). منطق فازی که در برابر منطق کلاسیک مطرح شد، ابزاری توانمند برای حل مسائل مربوط به سامانه‌های پیچیده‌ای به شمار می‌آید که در آنها مشکل و یا مسائلی وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری است (کوره‌پزان، ۱۳۸۷). پدیده‌های واقعی تنها سیاه یا تنها سفید نیستند، بلکه تا اندازه‌ای خاکستری هستند. پدیده‌های واقعی همواره فازی، مبهم و غیردقیق هستند (آذر و فرجی، ۱۳۸۷). برد توابع عضویت کلاسیک $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$ ، مجموعه دو عضوی صفر و یک بوده در حالی که برد توابع عضویت فازی $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$ ، بازه بسته صفر و یک است (کوره‌پزان، ۱۳۸۷).

نظریه مجموعه‌های فازی، یک نظریه ریاضی طراحی شده برای مدل کردن ابهام فرایندهای وابسته به دانش بشری انسان است (Lin et al., 2007). تصمیم‌گیرنده می‌تواند آزادانه دامنه مقادیر مورد نظر را انتخاب کند. قضاوت مردد کارشناس را می‌توان با عدد فازی بیان کرد (Vahidnia et al., 2009). بنابراین، FAHP دامنه‌ای از مقادیر را برای بیان عدم قطعیت تصمیم‌گیرندگان، به کار می‌گیرد (Lee et al., 2008). در این روش برای مقایسه زوجی گزینه‌ها، از اعداد فازی و برای به‌دست آوردن وزن‌ها و برتری‌ها از روش میانگین هندسی استفاده می‌شود. چرا که این روش به سادگی به حالت فازی قابل تعمیم است و همچنین جواب یگانه‌ای برای ماتریس مقایسات زوجی تعیین می‌کند. در این روش شخص تصمیم‌گیرنده می‌تواند مقایسات زوجی المان‌های هر سطح را در قالب اعداد فازی ذوزنقه‌ای بیان کند. برای تهیه ماتریس مقایسات زوجی از نظرات کارشناسان منابع طبیعی و زمین‌شناسی استفاده شد. وزن‌دهی و محاسبات مربوط به اعداد فازی در محیط EXEL و ترکیب لایه‌ها و تحلیل‌های مکانی در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام گرفت. الگوریتم این کار را می‌توان در سه گام بیان کرد. برای این کار، در گام‌های اول و دوم از روش باکلی (شکل ۴) و در گام سوم از روش بونیسون (شکل ۵) استفاده شده است.

گام اول) در این گام ماتریس‌های مقایسات زوجی توسط شخص تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود. المان‌های این ماتریس‌ها اعداد فازی ذوزنقه‌ای خواهد بود. برتری المان A_m بر المان A_n و همچنین برتری المان A_m بر المان A_n به صورت زیر خواهد بود.

$$\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}) \quad (1) \quad \tilde{a}_{ji} = \left(\frac{1}{d_{ij}}, \frac{1}{c_{ij}}, \frac{1}{b_{ij}}, \frac{1}{a_{ij}} \right) \quad (2)$$

گام دوم) در این گام، با استفاده از روش میانگین هندسی وزن هر کدام از ویژگی‌ها $\tilde{r}_{ij}(at)$ (زیرلایه‌ها) (۵) به صورت جداگانه و همچنین وزن (یا مقدار برتری) هر یک از معیارها \tilde{W}_j (لایه‌ها) (۶) محاسبه می‌شود. مراحل کار به صورت زیر است.

به صورت مشابه b_i, c_i, d_i و b_j, c_j, d_j را نیز می‌توان تعریف کرد. بدین ترتیب وزن فازی ویژگی‌ها و معیارها از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$a = \sum_{i=1}^s a_i \quad (4) \quad \left[a_i = \left[\prod_{j=1}^s a_{ij} \right]^{1/5} \right] \quad (3)$$

$$\tilde{W}_j = \left(\frac{a_i}{d}, \frac{b_i}{c}, \frac{c_i}{b}, \frac{d_i}{a} \right) \quad (6) \quad \tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_i}{d}, \frac{b_i}{c}, \frac{c_i}{b}, \frac{d_i}{a} \right) \quad (5)$$

– نقشه کاربری: در نقشه کاربری اراضی، نقاط مناسب یعنی مراکز، زمین بایر و جنگل تخریب شده از جمله مکان‌های مناسب و اراضی ساخته شده، اماکن مسکونی، خطوط ارتباطی و مناطق مرتفع کوهستان از مکان‌های نامناسب برای احداث سدهای زیرزمینی هستند.

– نقشه گسل: در مطالعات انجام شده توسط چزگی، حریم ۱۰۰ متر از گسل به عنوان منطقه نامناسب در نظر گرفته شده است و در این مطالعه نیز از این حریم استفاده شده و زیرلایه ۱ یا نامناسب از لایه گسل جدا شد. با فاصله از گسل زیرلایه‌های دیگر در لایه گسل تشکیل شد.

– شاخص پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI): پس از تصحیحات لازم و زمین مرجع کردن تصویر TM سال ۲۰۰۳، مقدار NDVI محاسبه شد که به عنوان شاخصی برای وجود گیاهان آب‌دوست در آبراه‌ها از آن استفاده شد. برای تطبیق پوشش گیاهی با وضع کنونی، بر روی NDVI به‌دست آمده از تصویر TM با NDVI به‌دست آمده از تصویر MODIS سال ۲۰۰۸، تحلیل همبستگی صورت گرفت که همبستگی بیش از ۰/۵۱ به دست آمد.

– موقعیت روستاها: دوری و نزدیکی به محل سکونت و مسئله دسترسی نیز می‌تواند به عنوان یکی از شرایط، در مکان مناسب برای احداث سد مطرح باشد. بنابراین با توجه به شبکه ارتباطی منطقه و حریم در نظر گرفته در تحقیقات چزگی و همکاران، حریم با فاصله یک کیلومتر از هر روستا ایجاد شد تا نقاط مناسب نسبت به این فاصله ارزیابی شوند. با توجه به مناسب بودن معیارهای (زمین‌شناسی، شیب، کاربری و ...) موجود، هر کدام از معیارها به ۵ رده کاملاً مناسب (۹)، مناسب (۷)، متوسط (۵)، کمی مناسب (۳) و نامناسب (۱) تقسیم می‌شوند. برای مثال زیرلایه ۱ (که ارزش یا Score یک دارد) در نقشه کاربری نشان‌دهنده مناطق نامناسب است (شکل ۲ و ۳).

وجود جریان زیرسطحی کافی به عنوان یکی از شرط‌های مطرح در نظر گرفته می‌شود. مشاهده گیاهان آب‌دوست در آبراه‌ها و خشکه‌رودها نشان‌دهنده وجود آب در ژرفای کم، در رسوبات آنهاست که به عنوان راهنما استفاده می‌شود. البته می‌توان با استفاده از مطالعات ژئوالکترونیک از وضعیت آب‌شناختی منطقه آگاه شد. دوری از گسل، کاربری اراضی و ویژگی‌های زمین‌شناسی از عوامل مؤثر در انتخاب منطقه برای ساخت سد زیرزمینی است (سلامی، ۱۳۸۵). از دیگر شرایط وجود لایه غیر قابل نفوذ به عنوان کف و دیواره‌های مخزن سد، ژرفای سنگ کف بستر و همچنین توپوگرافی سنگ بستر مخزن ذخیره است که میزان بازدهی مخزن و روش‌های ساخت سد را تعیین می‌کند. این موارد در مطالعات تکمیلی پس از مکان‌یابی اولیه، توسط کاوش‌های ژئوفیزیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. از سوی دیگر عامل شیب هم در انتخاب منطقه مهم است و بیشتر سدهای زیرزمینی جهان در شیب ۰/۲ تا ۱۰ درصد ساخته شده‌اند (یزدانی، ۱۳۸۳).

۳-۳. روش‌های مورد استفاده

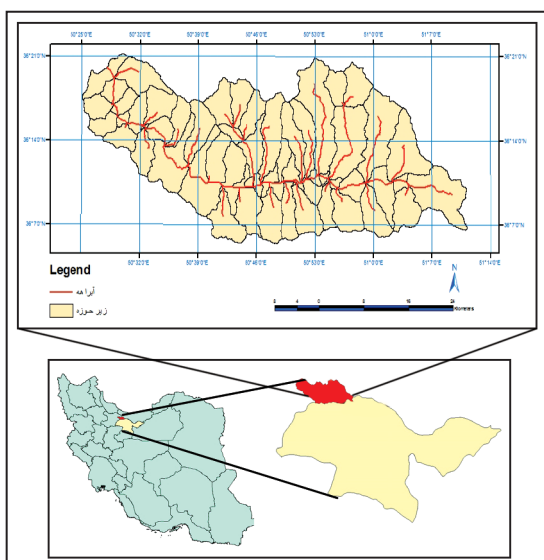
– فرایند تحلیل سلسله مراتبی: فرایند تحلیل سلسله مراتبی که توسط توماس ساعتی بنا نهاده شده است، یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، چرا که این روش امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد و گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد (قدسی پور، ۱۳۸۴). برای ارزیابی تعداد زیادی از معیارها و حل مسائل چند متغیره، AHP به صورت گسترده به کار می‌رود و این مدل به گروه تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد عضو هر گروهی که باشند از آزمون‌پذیری این مدل استفاده کنند و مسئله را به کمک آن حل کنند (Chang et al., 2008). AHP بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را آسان می‌کند، همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان

روش Fuzzy-AHP، استفاده از طیف‌های مختلف از روش‌های غیرفازی سازی (Defuzzification) براساس مسئله مورد مطالعه از حداقل‌گیری تا حداکثر‌گیری است. برای تبیین اثر روش‌های مختلف غیرفازی سازی، نمودار زیر ارائه شده است (شکل ۱۰). چنانکه از نمودار زیر مشخص است می‌توان طیف وسیعی از روش‌ها از AND (حداقل سازی ریسک) تا Or (حداکثر سازی ریسک) به کار برد. در این نوشتار از روش غیرفازی سازی میانه بیشینه yager استفاده شده است. در پایان نیز اعداد فازی دوزنقه‌ای مربوط به عبارت‌های زبانی (کوره پزان، ۱۳۸۷) نتیجه نهایی به چهار رده به شکل نقشه زیر برای هرگونه تصمیم‌گیری تبدیل شد (شکل ۱۱).

۵- نتیجه‌گیری

در مطالعات انجام شده توسط چزگی شیب و زمین‌شناسی به عنوان مهم‌ترین عوامل برای مکان‌یابی در نظر گرفته شده است و در این نوشتار نیز جریان زیرسطحی (آبراهه)، شیب و زمین‌شناسی مهم‌ترین معیارها را تشکیل می‌دهند. حوضه آبخیز طالقان از ۵۶ زیرحوضه تشکیل شده است که خروجی هر زیرحوضه بهترین نقطه برای احداث سد زیرزمینی است. در نتایج نشان می‌دهد که کارشناسان در اختصاص وزن‌های ارزشیابی در روش AHP با عدم اطمینان روبرو هستند، بنابراین نتیجه حاصل از روش AHP نیز قابل اعتماد نیست. در روش AHP مناطقی که در نهایت ارزش ۹ گرفتند، برای احداث سد مناسب تشخیص داده شدند که از مجموع ۵۶ نقطه خروجی زیرحوضه‌ها، ۲۶ نقطه در این مناطق قرار دارند. Fuzzy-AHP عدم اطمینان در رتبه‌بندی عملکردها و تصمیمات موجود در روش AHP را از بین برد. منطق فازی کمک کرد که ابهام موجود در قضاوت‌ها فرموله شده و به زبان ریاضی درآید. ۱۵ نقطه خروجی زیر حوضه‌ها در مناطقی قرار دارند که در روش Fuzzy-AHP مناسب تشخیص داده شده‌اند و چون عدم اطمینان در Fuzzy-AHP کمتر است، بنابراین این نقاط قابلیت اطمینان بیشتری نسبت به مناطق حاصل از روش AHP دارند. نتایج نشان داد که روش Fuzzy-AHP انعطاف‌پذیری بیشتر و قابلیت بالاتری در تعیین مناطق مناسب سد دارد.

با توجه به این که منطقه طالقان دارای سازندهای مارنی زیادی است، به همین دلیل برای ساخت این سدهای کوچک باید این ۱۵ نقطه انتخابی اولیه مورد بررسی‌های نهایی چاهک گمانه، رسوب‌شناسی و ژئوفیزیکی در محل احداث سد و مخزن سد صورت گیرد تا از بین این نقاط بهترین نقطه در نظر گرفته شود.



شکل ۱- حوضه آبخیز طالقان

گام سوم) در این گام از روش بونیسون برای محاسبه مقادیر مطلوبیت فازی \tilde{u}_j (۷) استفاده می‌شود.

$$\tilde{u}_j = \sum_{i=1}^5 \tilde{w}_j \tilde{r}_i \quad (7)$$

$$\tilde{w}_j \tilde{r}_i = (a_1 b_2, b_1 b_2, a_1 l_2 + a_2 l_1 - l_1 l_2, b_1 r_2 + b_2 r_1 + r_1 r_2) \quad (8)$$

برای غیرفازی کردن مقادیر مطلوبیت فازی \tilde{u}_j ، از روش میانه بیشینه استفاده شده است. در این روش مقدار Z^* با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Z^* = \frac{a+b}{2} \quad (9)$$

به گونه‌ای که a و b به ترتیب کران پایین و بالای بخشی از مجموعه فازی هستند که دارای بیشترین درجه عضویت است (کوره پزان، ۱۳۸۷).

۴- بحث و نتایج

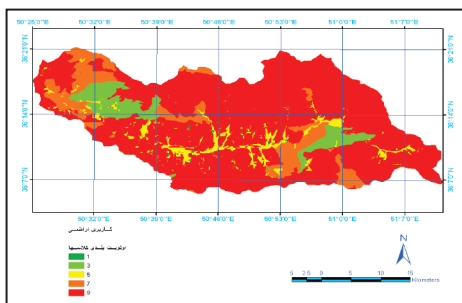
هدف از این نوشتار، بررسی و مقایسه دو روش AHP و FUZZY-AHP در مکان‌یابی سد زیرزمینی بود که در زیر به نتایج این مقایسه‌ها پرداخته می‌شود. ابتدا رده‌های متغیرهای مورد استفاده، به تناسب اهمیت‌شان در احداث سدهای زیرزمینی و براساس نظر کارشناسان به مقادیری بین ۱ تا ۹ رتبه‌بندی شدند. در ادامه برای نمونه، نقشه‌های زمین‌شناسی و کاربری آورده شده‌اند (شکل‌های ۳ و ۲).

پس از رتبه‌بندی رده‌های متغیرهای مورد استفاده، در مورد متغیرها نیز ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شد و وزن و اهمیت آنها تعیین شد (جدول ۱ و ۲). پس از اعمال وزن‌های مربوطه، نقشه نهایی اولویت‌بندی مناطق احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از روش AHP ایجاد شد (شکل ۶).

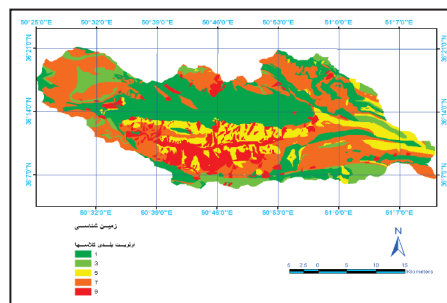
در روش Fuzzy-AHP ابتدا ماتریس مقایسه زوجی فازی برای رده‌های هر متغیر و همچنین متغیرها تهیه شد، سپس المان‌های تابع دوزنقه‌ای مطابق روش‌های باکلی و بونیسون محاسبه شد (رابطه ۳ و ۴). در این مرحله برای هر متغیر چهار لایه به تعداد المان‌های تابع دوزنقه‌ای تشکیل شد. در زیر، این المان‌ها برای نقشه کاربری دیده می‌شود (شکل ۷ و ۸). سپس برای محاسبه میزان مطلوبیت مناطق مختلف، ضرب توابع دوزنقه‌ای (رابطه ۸) بین رده‌های هر متغیر و متغیر مربوطه به شکل جدول ۳ صورت گرفت.

در مرحله بعد با استفاده از روش بونیسون، جمع توابع دوزنقه‌ای انجام شد و در پایان چهار المان a, b, l و r برای کل منطقه به دست آمد. در نهایت بر اساس روش میانه حداکثر (رابطه ۹) نتیجه نهایی به شکل نقشه زیر به دست آمد (شکل ۹). از آنجا که پوشش گیاهی می‌تواند معیار قابل قبولی از وجود منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی باشد و مقدار NDVI نیز در این نقاط بین ۰/۱۱۷۴ تا ۰/۵۶۱۴ است، بنابراین به منظور ارزیابی اولیه نتایج، بین نتیجه نهایی و شاخص NDVI تحلیل همبستگی صورت گرفت که ضریب همبستگی حدود ۰/۶۱۵ به دست آمد. همچنین به دلیل این که احداث سدهای زیرزمینی منوط به وجود منابع انسانی در نزدیکی سدهای یادشده، به منظور بهره‌برداری از آنها صورت می‌گیرد، بنابراین در مرحله‌ای دیگر، دوباره نتایج به دست آمده با مراکز سکونت روستایی مقایسه شد که پراکنندگی جمعیت با اولویت‌های انتخابی مطابقت نشان داد. تعداد ۴۰ روستا در محدوده این رده خیلی مناسب، برای احداث سد قرار گرفتند.

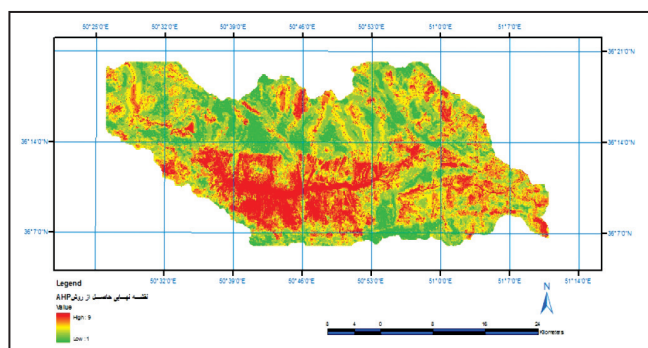
همان‌گونه که در مقدمه نیز اشاره شد، به‌رغم استفاده روش AHP از متغیرهای کیفی، این روش قابلیت و توانایی مدل‌سازی عدم قطعیت (Uncertainty) مربوط به قضاوت تصمیم‌گیرندگان را ندارد. برخلاف روش AHP، در Fuzzy-AHP امکان فرموله کردن عدم قطعیت‌های مربوط به کارشناسان امکان‌پذیر است و این عدم قطعیت در قالب توابع دوزنقه‌ای Or ارائه می‌شود. نکته حائز اهمیت دیگر در



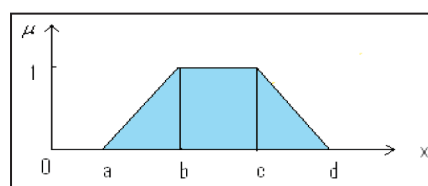
شکل ۳- نقشه کاربری منطقه که رده‌های کاربری آن بر اساس اهمیت آنها در احداث سدهای زیرزمینی اولویت‌بندی شده‌اند (برای مثال رده ۱ نشان‌دهنده مناطق نامناسب و ۹ نشان‌دهنده مناطق کاملاً مناسب است و رده‌های دیگر در میان این دو قرار دارند).



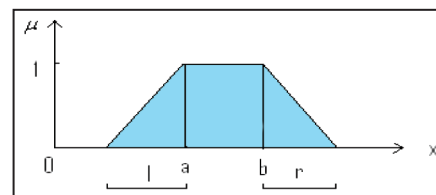
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه که واحدهای زمین‌شناسی آن بر اساس اهمیت آنها در احداث سدهای زیرزمینی اولویت‌بندی شده‌اند.



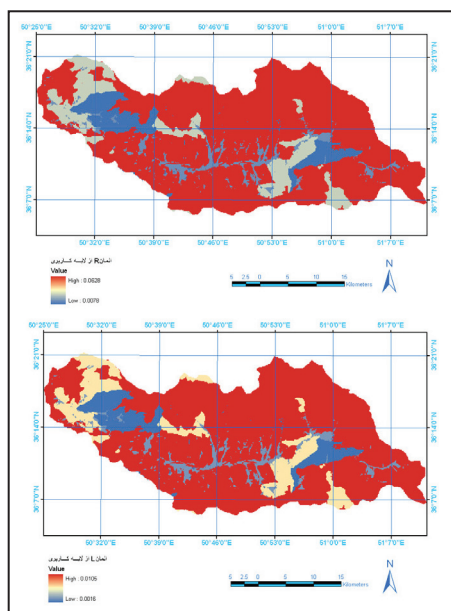
شکل ۶- نقشه نهایی حاصل از روش AHP



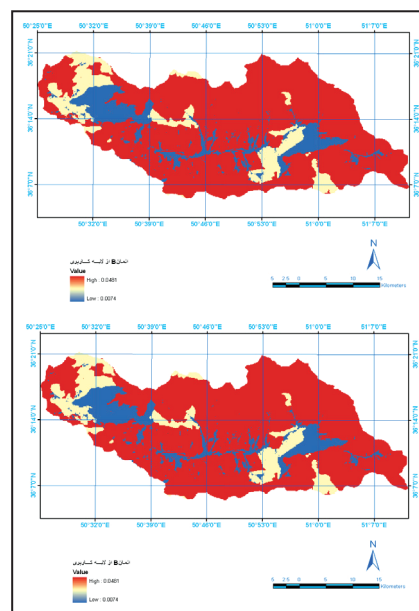
شکل ۴- اعداد فازی دوزنقه‌ای در روش باکلی (a,b,c,d)



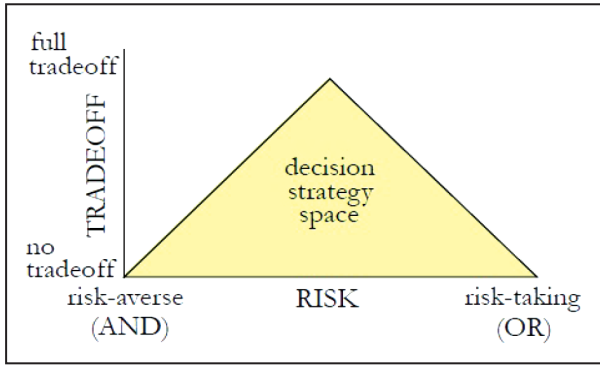
شکل ۵- اعداد فازی دوزنقه‌ای در روش بونیسون (a,b,l,r)



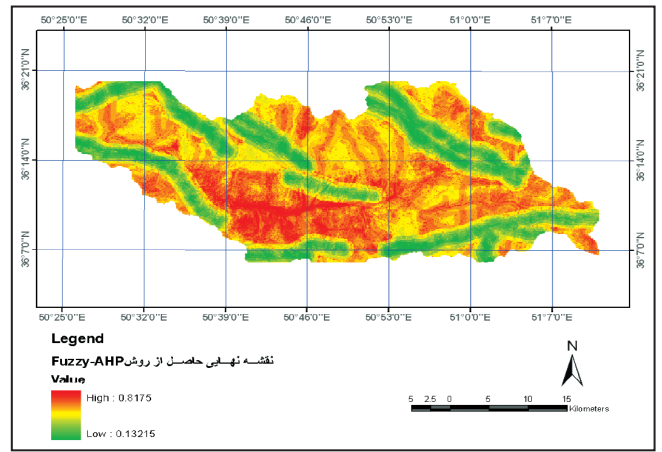
شکل ۸- المان‌های L و R تابع دوزنقه‌ای نقشه کاربری



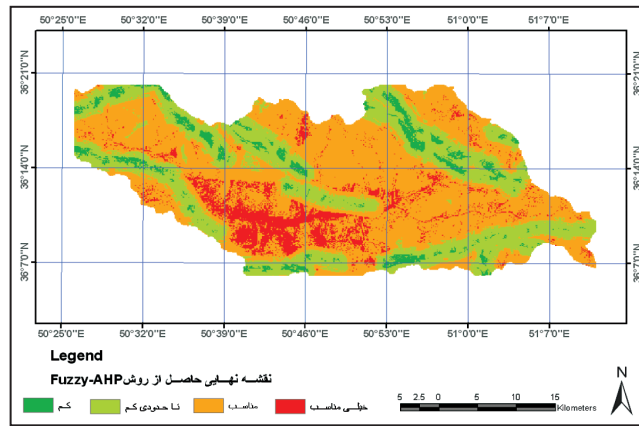
شکل ۷- المان‌های a و b تابع دوزنقه‌ای نقشه کاربری



شکل ۱۰- دامنه تصمیم‌گیری برای غیرفازی‌سازی (help نرم‌افزار IDRISI)



شکل ۹- نقشه نهایی حاصل از روش Fuzzy-AHP



شکل ۱۱- نقشه نهایی حاصل از روش Fuzzy-AHP پس از تبدیل به مقادیر کیفی

جدول ۱- ماتریس مقایسه زوجی بین متغیرها در روش AHP

معیارها	آبراهه	زمین شناسی	شیب	گسل	کاربری
آبراهه	۱	۳	۴	۴	۵
زمین شناسی	۰/۳۳۳۳	۱	۲	۳	۴
شیب	۰/۲۵	۰/۵	۱	۴	۳
گسل	۰/۲۵	۰/۳۳۳۳	۰/۲۵	۱	۳
کاربری	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳۳۳	۰/۳۳۳۳	۱

جدول ۲- محاسبه المان‌های تابع دوزنقه‌ای رده‌های متغیرها و خود متغیرها

STREAM(p1)	At1	At2	At3	At4	At5	a	b	c	d	a	b	l	r	
At1	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,3,4,5)	(5,6,7,7)	(7,8,8,9)	At1	۰/۲۷۸۵	۰/۴۱۳۹	۰/۴۹۲۳	۰/۷۰۳	۰/۴۱۳۹	۰/۴۹۲۳	۰/۱۳۵۴	۰/۲۱۰۷
At2	(1,3,1,2,1,2,1)	(1,1,1,1)	(2,3,3,4)	(4,4,5,6)	(5,6,7,8)	At2	۰/۱۸۴۳	۰/۲۷۳	۰/۳۲۰۶	۰/۵۱۱۲	۰/۲۷۳	۰/۳۲۰۶	۰/۸۸۷	۰/۱۹۰۶
At3	(1/5,1/4,1/3,1/3)	(1/4,1/3,1/3,1/2)	(1,1,1,1)	(2,3,3,4)	(3,4,5,6)	At3	۰/۰۸۶۳	۰/۱۳۳۳	۰/۱۶۰۸	۰/۲۳۵۶	۰/۱۳۳۳	۰/۱۶۰۸	۰/۰۴۷	۰/۰۷۴۸
At4	(1/7,1/7,1/6,1/5)	(1/6,1/5,1/4,1/4)	(1/4,1/3,1/3,1/2)	(1,1,1,1)	(1,2,2,3)	At4	۰/۰۳۹۴	۰/۰۶۰۳	۰/۰۷۱۲	۰/۱۰۶۳	۰/۰۶۰۳	۰/۰۷۱۲	۰/۰۲۰۹	۰/۰۳۵۱
At5	(1/9,1/8,1/8,1/7)	(1/8,1/7,1/6,1/5)	(1/6,1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1/2,1)	(1,1,1,1)	At5	۰/۰۲۶۱	۰/۰۳۷۶	۰/۰۴۴۱	۰/۰۷۰۴	۰/۰۳۷۶	۰/۰۴۴۱	۰/۰۱۱۵	۰/۰۲۶۳
CR	۰/۰۲۶۴													
GEOLOGY(p2)	At1	At2	At3	At4	At5	a	b	c	d	a	b	l	r	
At1	(1,1,1,1)	(1,2,2,3)	(2,3,4,5)	(5,6,6,7)	(7,8,8,9)	At1	۰/۲۵۴۵	۰/۴۲۲۶	۰/۴۷۶۷	۰/۷۴۷۳	۰/۴۲۲۶	۰/۴۷۶۷	۰/۱۸۸۱	۰/۲۷۰۶
At2	(1,3,1,2,1,2,1)	(1,1,1,1)	(2,3,3,4)	(3,4,5,6)	(5,6,6,7)	At2	۰/۱۶۸	۰/۲۷۸۸	۰/۳۱۰۴	۰/۵۲۹	۰/۲۷۸۸	۰/۳۱۰۴	۰/۱۱۰۸	۰/۲۱۸۶
At3	(1/5,1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/3,1/2)	(1,1,1,1)	(2,3,4,5)	(3,4,4,5)	At3	۰/۰۸۲۵	۰/۱۳۶۱	۰/۱۶۲۶	۰/۲۷۳۹	۰/۱۳۶۱	۰/۱۶۲۶	۰/۰۵۳۶	۰/۱۱۱۳
At4	(1/7,1/6,1/6,1/5)	(1/6,1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3,1/2)	(1,1,1,1)	(1,2,2,3)	At4	۰/۰۳۷۳	۰/۰۶	۰/۰۷۰۸	۰/۱۱۹۸	۰/۰۶	۰/۰۷۰۸	۰/۰۲۲۷	۰/۰۴۹
At5	(1/9,1/8,1/8,1/7)	(1/8,1/7,1/6,1/5)	(1/6,1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1/2,1)	(1,1,1,1)	At5	۰/۰۲۷۶	۰/۰۴۱۴	۰/۰۴۴	۰/۰۷۴۸	۰/۰۴۱۴	۰/۰۴۴	۰/۰۱۳۸	۰/۰۳۰۸
CR	۰/۰۲۶۴													

SLOPE(p3)	At1	At2	At3	At4	At5	a	b	c	d	a	b	l	r	
At1	(1,1,1,1)	(1,2,2,3)	(3,4,5,5)	(5,6,7,8)	(7,8,9,9)	At1	0.2792	0.4344	0.5248	0.7624	0.4344	0.5248	0.1552	0.2376
At2	(1/3,1/2,1/2,1)	(1,1,1,1)	(1,2,2,3)	(3,4,4,5)	(4,5,6,7)	At2	0.1459	0.2405	0.2773	0.4783	0.2405	0.2773	0.0966	0.2053
At3	(1/5,1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1,1)	(1,1,1,1)	(2,3,3,4)	(4,5,6,7)	At3	0.0916	0.137	0.1801	0.2755	0.137	0.1801	0.0454	0.0954
At4	(1/8,1/7,1/6,1/5)	(1/5,1/4,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/3,1/2)	(1,1,1,1)	(1,2,2,3)	At4	0.0398	0.0625	0.0706	0.1189	0.0625	0.0706	0.0227	0.0483
At5	(1/9,1/9,1/8,1/7)	(1/7,1/6,1/5,1/4)	(1/5,1/4,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1/2,1)	(1,1,1,1)	At5	0.0279	0.0392	0.0456	0.0777	0.0392	0.0456	0.0113	0.0221
CR	0.186													
FAULT(p4)	At1	At2	At3	At4	At5	a	b	c	d	a	b	l	r	
At1	(1,1,1,1)	(1,1,2,3)	(1,2,3,3)	(4,5,5,6)	(6,7,8,9)	At1	0.2115	0.3201	0.5005	0.7379	0.3201	0.5005	0.1086	0.2374
At2	(1/3,1/2,1,1)	(1,1,1,1)	(1,2,2,3)	(2,3,4,5)	(5,6,6,7)	At2	0.1425	0.244	0.3628	0.5431	0.244	0.3628	0.1015	0.1803
At3	(1/3,1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1/2,1)	(1,1,1,1)	(1,2,2,3)	(3,4,5,5)	At3	0.0899	0.145	0.2009	0.368	0.145	0.2009	0.0551	0.1671
At4	(1/6,1/5,1/5,1/4)	(1/5,1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1/2,1)	(1,1,1,1)	(2,2,3,4)	At4	0.0523	0.0724	0.085	0.1825	0.0724	0.085	0.0201	0.0497
At5	(1/9,1/8,1/7,1/6)	(1/7,1/6,1/6,1/5)	(1/5,1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2,1/2)	(1,1,1,1)	At5	0.0268	0.0448	0.0522	0.0753	0.0522	0.0448	0.018	0.0331
CR	0.201													
LANDUSE(p5)	At1	At2	At3	At4	At5	a	b	c	d	a	b	l	r	
At1	(1,1,1,1)	(1,1,2,3)	(2,3,3,4)	(4,5,5,6)	(6,6,7,8)	At1	0.2797	0.3541	0.5011	0.7533	0.3541	0.5011	0.1074	0.2522
At2	(1/3,1/2,1/2,1)	(1,1,1,1)	(1,2,2,3)	(2,3,4,4)	(3,3,4,5)	At2	0.1481	0.2234	0.344	0.492	0.2234	0.344	0.0753	0.1352
At3	(1/4,1/3,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1/2,1)	(1,1,1,1)	(1,2,2,3)	(2,3,3,4)	At3	0.0901	0.1439	0.172	0.3024	0.1439	0.172	0.0538	0.1304
At4	(1/6,1/5,1/5,1/4)	(1/4,1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1/2,1)	(1,1,1,1)	(1,1,2,3)	At4	0.0548	0.0888	0.1	0.1736	0.0888	0.1	0.014	0.0336
At5	(1/8,1/7,1/6,1/6)	(1/5,1/4,1/3,1/3)	(1/4,1/3,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1,1)	(1,1,1,1)	At5	0.0375	0.0516	0.0774	0.101	0.0516	0.0774	0.014	0.026
CR	0.076													
CRITERIA	p1	p2	p3	p4	p5	a	b	c	d	a	b	l	r	
p1	(1,1,1,1)	(1,2,2,3)	(1,2,3,3)	(2,3,3,4)	(3,4,5,6)	p1	0.172	0.3336	0.4459	0.7119	0.3336	0.4459	0.1616	0.266
p2	(1/3,1/2,1/2,1)	(1,1,1,1)	(2,2,3,4)	(2,3,3,4)	(2,3,4,5)	p2	0.1463	0.2387	0.3232	0.5837	0.2387	0.3232	0.0924	0.2606
p3	(1/3,1/3,1/2,1)	(1/4,1/3,1/2,1/2)	(1,1,1,1)	(1,2,2,3)	(2,2,3,4)	p3	0.084	0.1308	0.1966	0.3477	0.1308	0.1966	0.0468	0.1511
p4	(1/4,1/3,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1/2,1)	(1,1,1,1)	(1,1,2,3)	p4	0.0554	0.0862	0.1168	0.2293	0.0862	0.1168	0.0308	0.1125
p5	(1/6,1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3,1/2)	1/4,1/3,1/2,1/2)	(1/3,1/2,1,1)	(1,1,1,1)	p5	0.037	0.059	0.096	0.1473	0.059	0.096	0.022	0.0513
CR	0.283													

جدول ۳- ضرب تابع دوزنقهای رده‌های متغیرها و خود متغیرها به منظور محاسبه مطلوبیت فازی

ws(p1)	a	b	l	r	ws(p2)	a	b	l	r
At1	0.11128896	0.21951657	0.10538066	0.28094913	At1	0.10087462	0.15406944	0.06656777	0.2822043
At2	0.07963032	0.14295554	0.06933411	0.22096774	At2	0.06656956	0.10032128	0.04197116	0.20850892
At3	0.04363488	0.07170072	0.03490338	0.09602292	At3	0.0324807	0.05255232	0.02047132	0.1073505
At4	0.0285632	0.03174808	0.01568635	0.04392689	At4	0.014322	0.02288256	0.00886501	0.04705668
At5	0.0196824	0.01966419	0.00934561	0.03045357	At5	0.00988218	0.0142208	0.0058443	0.02944744
ws(p3)	a	b	l	r	ws(p4)	a	b	l	r
At1	0.05681952	0.10317568	0.03336672	0.1619108	At1	0.0188859	0.054584	0.01587552	0.1174207
At2	0.0314574	0.0536718	0.0192018	0.11263311	At2	0.014396	0.04237504	0.0131383	0.08215779
At3	0.0179196	0.0350766	0.0102252	0.06038369	At3	0.008555	0.02346512	0.00751854	0.06091728
At4	0.008115	0.01387996	0.0048318	0.02746157	At4	0.0042716	0.0123224	0.00334366	0.03014396
At5	0.00512736	0.00896496	0.00278376	0.01805133	At5	0.0030798	0.00523264	0.00260496	0.01033683
ws(p5)	a	b	l	r					
At1	0.0208919	0.0481056	0.010543	0.06285549					
At2	0.0131806	0.033024	0.0077009	0.03756216					
At3	0.0084901	0.016512	0.0051564	0.02803152					
At4	0.0040592	0.0096	0.0020316	0.01597128					
At5	0.0030444	0.0074304	0.0016532	0.00780042					

کتابکاری

- آذر، ع. و فرجی، ح.، ۱۳۸۷- علم مدیریت فازی، ناشر: مؤسسه کتاب مهربان نشر.
- احمدی، ح. و فیض‌نیا، س.، ۱۳۸۵- سازندهای دوره کوتاه‌تر. شماره ۲۴۲۴. انتشارات دانشگاه تهران.
- چزگی، ج.، مرادی، ح.، خیرخواه، م.، قاسمیان، د. و روستایی، ی.، ۱۳۸۸- مکان‌یابی سد زیرزمینی به روش معیارهای حذفی با استفاده از GIS (مطالعه موردی غرب تهران) پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران.
- سلامی، ه.، ۱۳۸۵- تعیین مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در مناطق آذرین با استفاده از دورسنجی (مطالعه موردی: دامنه شمالی کوه‌های کرکس)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آب‌شناسی (هیدروژئولوژی) دانشگاه شهید بهشتی، ۱۴۳ ص.
- عباسی، ع.، ۱۳۸۷- بررسی حرکات توده‌ای در مارن میوسن با استفاده از روش‌های آماری (مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان) پایان‌نامه کارشناسی ارشد آب‌خیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- فخری، م.، ۱۳۷۸- تحلیل تناسب اراضی برای مکان‌گزینی پادگان‌های لجستیک با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- فیض‌نیا، س. و جعفری، م.، ۱۳۸۱- مطالعه خاک‌شناسی منطقه طالقان با استفاده از روش زمین‌شناسی، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۵ (۳): ۳۰۵-۳۲۶.
- فیض‌نیا، س.، بهبهانی، ع. و زکی‌خانی، م.، ۱۳۸۶- بررسی حساسیت به فرسایش پادگان‌های کوتاه‌تر حوضه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۰، شماره ۲، ۴۵۴، شماره استاندارد بین‌المللی ۱۳۱۶-۱۰۲۵.
- قاجری، ن. و شهابی، ه.، ۱۳۸۸- مکان‌یابی پارکینگ‌های شهری با استفاده از الگوریتم‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) همایش سراسری سامانه اطلاعات مکانی. قدسی‌پور، ح.، ۱۳۸۴- فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران). مرکز نشر، ۱۴۳.
- کوره‌پزان، ا.، ۱۳۸۷- اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربرد آن در مدل‌سازی مسایل مهندسی آب، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۲۱۲-۲۲۵.
- گلمایی، ح. و آشتیانی‌مقدم، ق.، ۱۳۸۴- سدهای زیرزمینی برای ذخیره آب در مقیاس کوچک، ۹۷.
- نقشه زمین‌شناسی ورقه شکران، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- یزدانی، م.، ۱۳۸۳- (مترجم). سدهای زیرزمینی (برای تأمین آب در مقیاس کوچک)، آک نیلسون، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، شماره ۱۱۱-۲، ۱۰۶.

References

- Cheng, Ru. Wu., Chin, Tsai. Lin. & Huang, Chu. Chen., 2007- Optimal selection of location for Taiwanese hospitals to ensure a competitive advantage by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis, *Building and Environment*, 42: 1431-1444
- Chun, Hung. Wu. & Su, Chin. Chen., 2009- Determining landslide susceptibility in Central Taiwan from rainfall and six site factors using the analytical hierarchy process method, *Geomorphology xxx, xxx-xxx*
- Deng, H., 1999- Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparisons, *International Journal of Approximate Reasoning* 21:231-215
- Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F. & Castelli, F., 2008 - A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali, *Physics and Chemistry of the Earth* 33: 74-85
- Gumus, A. T., 2009- Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology. *Expert Systems with Applications* 36; 4067-4074
- Lee, A. H. I., Chen, W. C. & Chang, C. J., 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
- Lin, F., Ying, H., MacArthur, R. D., Cohn, J. A., Barth-Jones. D. & Crane, L. R., 2007- Decision making in fuzzy discrete event systems, *Information Sciences*, 177: 3749-3763.
- Komac, M., 2006- A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia, *Geomorphology*, 74 : 17-28
- Onder, H. & Yilmaz, M., 2005- Underground dams, *Journal of European Water* 45-35 : .
- Pi, Fang. Hsu., Cheng, Ru. Wu. & Zhao Rong, Li., 2008- Optimizing resource-based allocation for senior citizen housing to ensure a competitive advantage using the analytic hierarchy process, *Building and Environment*, 43: 90-97
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. & Alimohammadi, A., 2009- Hospital site selection using fuzzy AHP and derivatives, *Journal of Environmental Management* 90: 3048-3056
- Vastava, Sh. & Nathwat, 2003- Selection of potential waste disposal sites around Ranchi urban complex using remote sensing and GIS techniques, urban planning, map Asia conference
- Saaty, T. L., 1980- *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill: New York.

Comparison the AHP and FUZZY-AHP Decision Making Methods in Underground DAM Site Selection in Taleghan Basin

V. Esavi ^{1*}, J. Karami ², A. Alimohammadi ³ & S. A. Niknezhad ⁴

¹ Master of Science, Remote Sensing and GIS Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Remote Sensing and GIS Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, GIS Engineering Department, Faculty of Geodezy and Geomatic Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tahrán, Iran.

⁴ Master of Science, Combating Desertification Department, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

Received: 2010 March 15

Accepted: 2011 January 09

Abstract

In recent decades digging deep wells and a half deep flume was gradually replaced aqueduct that by the relative merits is attended the great environmental effects such as loss underground water level and creating subsidence phenomenon for most regions of interest. Recent studies have been accomplish in order to replace the underground dams instead of medium and small dams in order to optimize storage and use of water resources and reduce the environmental impacts. Site selection of underground dams quite complicated process due to geological, geomorphological and hydrological point of view. Determination of the role adjustment and importance of the variables is based on expert groups thoughts and usually this important is verbalize in linguistic variables form. Analytical Hierarchy process have possible in using the linguistic variables along quantitative variables and essentially is based on expert opinions. In recent years in order to increase the capability of AHP, this method combined with fuzzy method and in the Fuzzy-AHP algorithm is presented. In this paper two methods of AHP and Fuzzy-AHP were used in determining appropriate areas for underground dams. Buckley and Bonissone methodes was used for implementing Fuzzy-AHP method and Yager method was used for defuzzicating fuzzy utility values \tilde{u}_j . From totale 56 outputs points of subbasine in AHP method, 26 points and in Fuzzy-AHP method, 15 points were overlapping with suitable and accessible areas. The results showed that the Fuzzy-AHP method has more flexibility and greater ability to determine appropriate areas dam.

Keywords: Underground dams Site selection, Multi-criteria Decision making, Analytical Hierarchy Process, Fuzzy-AHP, Taleghan basin.

For Persian Version see pages 27 to 34

*Corresponding author: V. Esavi; E-mail: vahid.orman@yahoo.com