

اولویت‌بندی مناطق احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش میانگین هندسی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی

مهیار یوسفی^{۱*}، بهنوش فرخ‌زاده^۲ و سمیرا بساطی^۳

۱. استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ملایر

۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۷/۲۳؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۲/۲۵)

چکیده

یکی از راه‌های برطرف کردن کمبودهای فصلی آب، استفاده از آب‌های زیرزمینی است. از آنجا که انتخاب محل مناسب برای احداث سد زیرزمینی به‌منظور ذخیره‌سازی آب مسئله‌ای مهم و چالش‌برانگیز است، استفاده از روشی با کمترین خطا در مطالعه این مناطق ضروری است. هدف این پژوهش انتخاب بهینه مکان‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی، در حوضه آبخیز همدان- بهار با استفاده از یک روش جدید در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به‌منظور کاهش خطا بوده است. بر این اساس، ابتدا معیارهای لازم و تأثیرگذار در انتخاب مکان مناسب برای احداث سد زیرزمینی شامل چگالی آبراهه، فاصله از قنات، چشمه و چاه، زمین‌شناسی، شیب، فاصله از گسل، نزدیکی به جاده و روستا و کاربری اراضی شناسایی شد. سپس لایه‌های اطلاعاتی مختلف در محیط GIS و با استفاده از تابع لجستیکی (انتقال به دامنه صفر و یک)، وزن‌دار شدند و در نهایت همه نقشه‌های وزن‌دار با استفاده از رابطه میانگین هندسی تلفیق شدند تا مدل نشان‌دهنده مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی به صورت یک نقشه تولید شود. نتایج مطالعه نشان داد روش به کار گرفته شده می‌تواند به شکل مطلوبی محدوده مطالعه شده را کوچک کند و حدود ۱۰ درصد از کل آبراهه‌ها را به‌عنوان آبراهه‌های مناسب برای احداث سد زیرزمینی شناسایی و معرفی کند.

کلیدواژگان: تصمیم‌گیری چندمعیاره، تلفیق، حوضه آبخیز همدان- بهار، مکان‌یابی، وزن‌دهی به معیارها.

مقدمه

استفاده از سدهای زیرزمینی یکی از راه‌های مدیریت آب است که تا حدودی بحران کم‌آبی را به‌خصوص در مناطق روستایی برطرف می‌کند [۱]. سدهای زیرزمینی سازه‌هایی هستند که سبب مسدود کردن جریان طبیعی آب‌های زیرزمینی در مسیر زیرین آبراهه‌ها می‌شوند و ذخایر آبی در زیر زمین ایجاد می‌کنند [۱]. سد زیرزمینی می‌تواند به‌عنوان سازه‌ای برای انحراف آب زیرزمینی نیز استفاده شود. در مقایسه با سدهای معمولی که به‌منظور ذخیره در عرض رودخانه یا نهر ساخته می‌شوند و آب سطحی را در بالادست سد جمع‌آوری می‌کنند، سد زیرزمینی جریان آب زیرزمینی (زیرقشری) را مسدود کرده و آب را در زیرسطح ذخیره می‌کند [۲].

چگونگی شناسایی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی، مسئله‌ای چالش‌برانگیز است [۳-۷]؛ زیرا لازم است عوامل مختلفی از جمله شیب، گسل، وجود آبراهه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از چاه، چشمه و قنات، فاصله از روستا و جاده، به‌عنوان معیارهای شناسایی، در مکان‌یابی در نظر گرفته شوند [۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱]. بنابراین، استفاده از روشی با کمترین خطا در مطالعه این مناطق ضروری است.

محققان به‌منظور انتخاب بهتر مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی و کاهش خطا، به بررسی عوامل تأثیرگذار در مکان‌یابی سد زیرزمینی و سنجش اهمیت نسبی هر یک از این عوامل پرداخته‌اند. در این خصوص و همچنین برای رتبه‌بندی محدوده مطالعه‌شده، از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده کرده‌اند. بنابراین، روش‌های مختلفی در محیط GIS به‌منظور تولید مدل مکان‌یابی سد زیرزمینی توسعه داده شده است.

پیرمادیان و همکارانش [۸] در دشت ایوانکی به پهنه‌بندی اولیه مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی پرداختند. در این مطالعه با استفاده از وزن‌دهی به روش منطق بولین مناطق نامناسب حذف شده و در انتهای مدل‌سازی، مخروط‌افکنه ایوانکی به‌عنوان بهترین پهنه مکان‌یابی سد زیرزمینی انتخاب شد. عیسوی و همکارانش [۹] در منطقه طالقان از دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی^۱

(AHP) و همچنین تحلیل سلسله‌مراتبی- فازی (Fuzzy-AHP) در تعیین مناطق مناسب برای سدهای زیرزمینی بهره بردند و آبراهه‌های مناسب در خروجی زیرحوضه‌ها را معرفی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد Fuzzy-AHP انعطاف‌پذیری و قابلیت بیشتری در تعیین مناطق مناسب سد داشت. Forzieri و همکارانش [۴] در منطقه کایدال کشور مالی به تعیین مکان‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و تلفیق داده‌ها در محیط GIS پرداخته‌اند. پس از بررسی‌های اولیه خصوصیات مرفولوژی مثل وجود تنگه در مسیر آبراهه، طول آبراهه، سطح حوضه آبخیز، شاخص پوشش گیاهی و خصوصیات زمین‌شناسی مثل گسل‌ها، عمق سنگ بستر، تخلخل و نیز وجود ساکنان و افراد ذی‌نفع و میزان بارش، ۱۷ منطقه از ۶۶ منطقه معرفی شده انتخاب شد که بر اساس تخمین اهمیت آب‌بند و جنبه‌های کاربردی سه منطقه در اولویت برای ساخت سد در بهترین محل پیشنهاد شد. علاوه بر مطالعات یادشده، در موارد بسیاری از GIS برای مکان‌یابی سد زیرزمینی استفاده شده است [۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۰، ۱۱ و ۱۲].

مسئله مهم در خصوص مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از GIS این است که در کلیه منابع و روش‌های به‌کار گرفته‌شده به‌منظور وزن‌دهی به معیارها و عوامل مؤثر در مکان‌یابی از روش دانش‌محور بر اساس تجربه کارشناسی^۲ برای تخصیص وزن به شواهد و الگوهای مختلف و تلفیق داده‌ها استفاده شده است. از آنجا که در تخصیص وزن به روش دانش‌محور هیچ معیار کمی کاملاً دقیق و قطعی وجود ندارد و وزن‌ها طبق نظر کارشناس تخصیص می‌یابد، سبب بروز خطاهای تصادفی در خروجی این مدل‌ها شده و از اعتبار و دقت آنها کاسته می‌شود. علاوه بر این، در روش‌های دانش‌محور یادشده، داده‌ها ساده شده و به طبقه‌های مختلف، طبق نظر تحلیل‌کننده، طبقه‌بندی می‌شوند که این نوع تخصیص وزن و ساده‌سازی محیط‌های پیچیده زمین سبب بروز خطای مضاعف خواهد شد [۱۳ و ۱۴]. در این خصوص اگر به فواصل پیوسته وزن تخصیص یابد، روشی بهبودیافته تولید خواهد شد که در آن نیاز نیست داده‌ها ابتدا به طبقه‌های

می‌شود تا خطای تصادفی کاهش یابد. انتخاب حوضه آبخیز همدان - بهار به دلیل خشکسالی و توسعه اراضی کشاورزی در سال‌های اخیر، برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی و محدودیت در منابع آب این حوضه و مشکلات متعدد موجود در این منطقه بوده است. در این خصوص تقویت منابع زیرزمینی و جبران کاهش آب‌های زیرزمینی با استفاده از احداث سدهای زیرزمینی یکی از راه‌کارهای مفیدی است که لازم است با شناسایی و انتخاب مکان‌های مناسب برای احداث این سدها، اقدام کرد [۱۸].

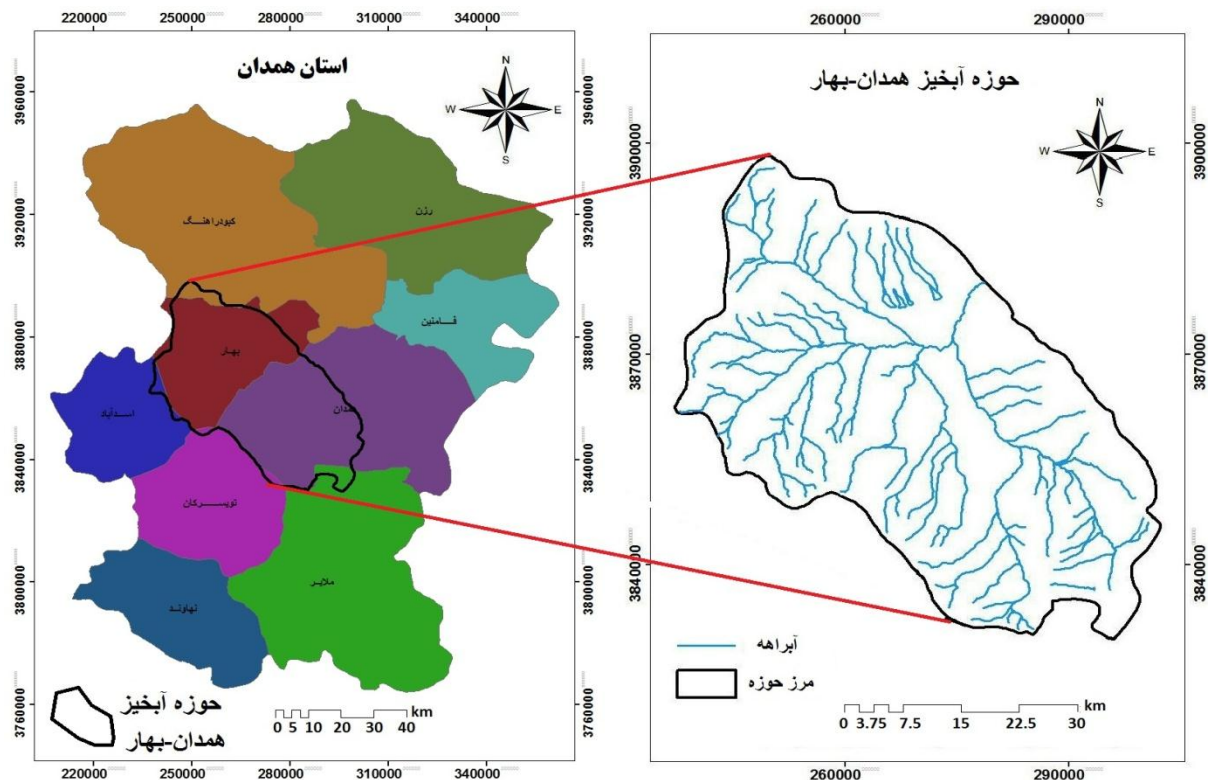
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

حوضه آبخیز همدان - بهار در دامنه شمالی کوه الوند با عرض جغرافیایی $34^{\circ}58'$ تا $35^{\circ}19'$ و طول جغرافیایی $48^{\circ}12'$ تا $59^{\circ}18'$ قرار دارد (شکل ۱). وسعت این حوضه آبخیز ۲۴۹۲ کیلومتر مربع است که ۱۵۹۴ کیلومتر آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. شیب عمومی منطقه جنوب غربی - شمال شرقی بوده و بیشترین و کمترین ارتفاع آن به ترتیب ۳۵۳۸ و ۱۶۷۵ متر از سطح دریاست [۱۸].

مختلف طبقه‌بندی شوند و سپس به همه اعداد هر طبقه یک عدد به عنوان وزن تخصیص یابد. بنابراین، روش‌های وزن‌دهی و کمی‌سازی روابط بین متغیرهای پیش‌گو (معیارها) و سد زیرزمینی، در حالت بدون یا با کمترین قضاوت کارشناسی و بدون ساده‌سازی و طبقه‌بندی داده‌ها به طبقه‌های مختلف، برای مدل کردن عدم قطعیت و کاهش خطای تصادفی، مسئله‌ای اساسی است تا بتوان مسئله جهت‌دار بودن تخصیص وزن در روش‌های دانش‌محور یادشده را مرتفع کرد [۱۵].

برای برطرف کردن مشکل یادشده و کاهش خطا، در مطالعه حاضر از تابع لجستیکی [۱۴، ۱۶ و ۱۷] به منظور تخصیص وزن به معیارهای شناسایی محل مناسب سد زیرزمینی و همچنین از روش میانگین هندسی [۱۳] برای تلفیق لایه‌های وزن‌دار، در حوضه آبخیز همدان - بهار، استفاده شده است. بدین‌منظور داده‌های پیوسته نظیر فاصله از عوارض، به طبقه‌های مختلف طبقه‌بندی نشده‌اند و همچنین وزن‌ها توسط کارشناس تخصیص نیافته و از نظر کارشناسی صرفاً برای تخصیص وزن به عوارض گسسته نظیر نقشه زمین‌شناسی و کاربری اراضی استفاده



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده در استان همدان، حوضه آبخیز همدان - بهار و آبراه‌های بررسی شده

تعریف مدل مفهومی، داده‌ها و اطلاعات استفاده‌شده

از جمله مهم‌ترین معیارهای مؤثر در احداث سد زیرزمینی، شیب منطقه است. شیب بسیار زیاد منطقه علاوه بر فرسایش، مانع نفوذ آب به زمین و تغذیه سد زیرزمینی می‌شود و شیب کمتر فرصت نفوذ آب را فراهم می‌آورد و به ذخیره مناسب آب کمک می‌کند [۳، ۵، ۶، ۷، ۹ و ۱۱]. در خصوص منطقه مطالعه‌شده، نقشه شیب از نقشه توپوگرافی تولید شد. محل عبور گسل‌ها معبرهای مناسبی برای زهکشی آب و خروج آن به مناطق خارج از دسترس هستند. از این‌رو، جزء مناطق نامناسب احداث سد زیرزمینی محسوب می‌شوند [۳، ۸، ۹ و ۱۰]. در مطالعه حاضر نقشه گسل از نقشه زمین‌شناسی تولید شد و سپس نقشه چگالی گسل تهیه شد. دوری و نزدیکی به محل سکونت و مسئله دسترسی نیز می‌تواند به‌عنوان یکی از شرایط در مکان‌یابی مناطق مناسب برای احداث سد زیرزمینی مطرح باشد. با توجه به اینکه در اجرای پروژه‌های سد زیرزمینی استفاده از نیروهای محلی در ساختن سد و حفاظت و نگهداری بعدی بیشتر به عهده روستاییان ساکن در مناطق مجاور سد است و این افراد به‌عنوان اولین کاربران از آب ذخیره‌شده در مخزن سد مطرح هستند، فواصل کمتر تا روستا امتیاز بیشتری دارند [۴]. در مطالعه حاضر نقشه روستاها از اداره کل منابع طبیعی تهیه شد و سپس نقشه فاصله از روستا در محیط GIS تولید شد. وجود جاده در محل احداث سد زیرزمینی سبب افزایش سرعت دسترسی و کاهش هزینه‌های مرتبط با ساخت و نگهداری سازه می‌شود. بنابراین، محورهایی که به جاده نزدیک‌تر هستند نسبت به سایر محورها اولویت دارند [۴]. بدین‌منظور نقشه جاده از نقشه راه‌ها نیز تهیه و سپس نقشه فاصله از جاده تولید شد.

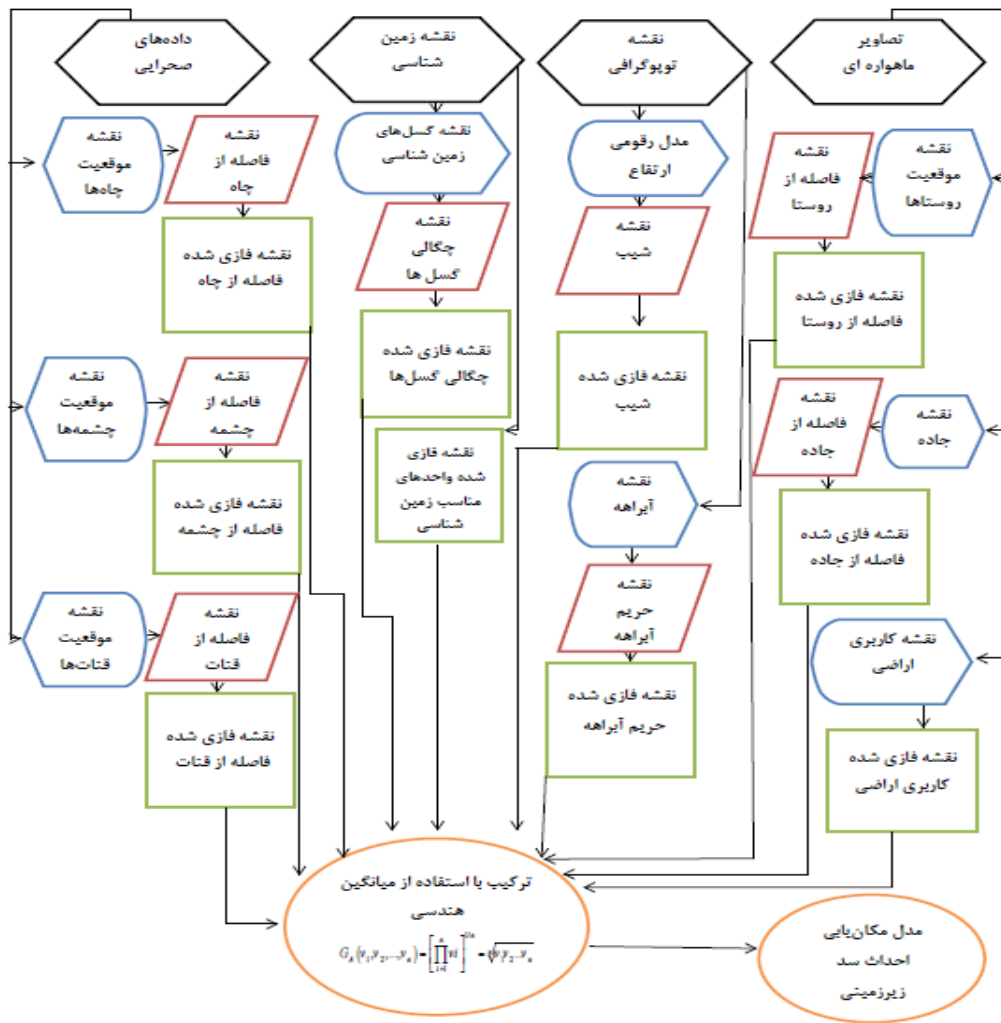
در احداث سد زیرزمینی باید در نظر داشت که ایجاد یک منبع آبی نباید به تخریب دیگر منابع آبی منجر شود، بنابراین مناطقی که در آن کوره قنات، چاه و چشمه وجود دارند در مکان‌یابی باید حذف شوند و محور سد زیرزمینی نباید کوره قنات و چشمه‌ها را قطع کند [۸، ۹، ۱۰ و ۱۱] بلکه باید از این مکان‌ها فاصله داشته باشد. در مطالعه حاضر نقشه‌های قنات، چاه و چشمه‌ها از اداره کل آب منطقه‌ای تهیه شد و سپس نقشه‌های فاصله از قنات، چاه و چشمه تولید شدند.

سدهای زیرزمینی و شنی در مقیاس کوچک در بستر آبراهه‌ها و خشکه‌رودها احداث می‌شوند [۳، ۹ و ۱۱]. در این مطالعه نقشه آبراهه‌ها از نقشه توپوگرافی تهیه شد. واحدهای زمین‌شناسی و کاربری اراضی نیز دو معیار مهم دیگر در احداث سد زیرزمینی هستند. در نقشه کاربری اراضی مراتع، زمین بایر و جنگل تخریب‌شده، از جمله مکان‌های مناسب هستند و مکان‌هایی نظیر اراضی ساخته‌شده، اماکن مسکونی، خطوط ارتباطی و مناطق مرتفع کوهستانی از مکان‌های نامناسب برای احداث سدهای زیرزمینی هستند [۴، ۵ و ۱۱]. نقشه کاربری اراضی از اداره کل منابع طبیعی تهیه شد. واحد زمین‌شناسی منطقه احداث سد زیرزمینی باید پتانسیل خوبی از نظر نفوذپذیری و ضریب انتقال داشته باشد تا هم بتواند مقدار آب زیادی را نفوذ دهد و هم آب نفوذ داده‌شده را به پشت سد انتقال دهد و ذخیره شود. احداث سد زیرزمینی در سازندهای زمین‌شناسی فاقد نفوذپذیری و دارای املاح فراوان و گنبد‌های نمکی امکان‌پذیر نیست [۳، ۵، ۷، ۸ و ۱۱]. در مطالعه حاضر نقشه زمین‌شناسی از اداره کل منابع طبیعی تهیه شد.

پس از مشخص شدن معیارهای شناسایی محل مناسب احداث سد زیرزمینی و جمع‌آوری داده‌های اولیه و نقشه‌های پایه در زمینه موضوع تحقیق از سازمان‌ها و ارگان‌های مختلف، در مرحله بعد کلیه نقشه‌ها و داده‌ها از جمله نقشه‌های آبراهه‌ها، قنات، چشمه و چاه، زمین‌شناسی، شیب، چگالی گسل، جاده و روستا و کاربری اراضی در یک بانک اطلاعاتی در محیط GIS به‌صورت رقمی ذخیره شدند.

طراحی شبکه استنتاج الگوهای شاهد

پس از ایجاد بانک اطلاعاتی داده‌های اولیه و تعیین متغیرهای مدل هدف و نیز شناسایی معیارهای قابل استفاده در مکان‌یابی سد زیرزمینی، فرایند استخراج الگوهای شاهد از داده‌های مختلف به‌صورت مرحله‌به‌مرحله به‌منظور دسترسی به مدل پیش‌بینی مکان‌یابی و شناسایی مناطق مناسب سد زیرزمینی برای متمرکز شدن در مراحل تفصیلی‌تر طراحی می‌شود. در شکل ۲ الگوریتم مرحله‌ای و شبکه استنتاج طراحی‌شده برای شناسایی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی نشان داده شده است.



شکل ۲. الگوریتم مرحله‌ای و شبکه استنتاج طراحی شده برای شناسایی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی

روش‌های استفاده‌شده

تابع لجستیکی

به‌منظور تولید مدل پتانسیل مکانی سد زیرزمینی، ابتدا کلیه لایه‌های شاهد نشان‌دهنده معیارهای شناسایی مختلف، فازی‌سازی شده و در بازه صفر و یک وزن‌دار شدند. در این خصوص در مطالعه حاضر از تابع لجستیکی [۱۴، ۱۶ و ۱۷] رابطه ۱ به‌منظور تخصیص وزن به معیارها استفاده شده است. علت استفاده از این تابع، تخصیص وزن به داده‌های پیوسته، بدون نیاز به طبقه‌بندی و گسسته‌سازی آنها و نیز دخالت‌ندادن قضاوت شخصی در تخصیص وزن (جلوگیری از بروز خطای تصادفی در مدل‌سازی) [۱۳، ۱۴ و ۱۹] بوده است.

$$F_{Ev} = \frac{1}{1 + e^{-s(Ev-i)}} \tag{1}$$

در این رابطه i و s به ترتیب نقطه عطف و شیب تابع، Ev مقدار عددی هریک از معیارها و F_{Ev} وزن فازی نظیر Ev هستند [۱۳ و ۱۴]. بنابراین، با استفاده از رابطه ۱ نقشه‌ها با استفاده از تابع لجستیکی بدون دخالت نظر سلیقه‌ای و بدون طبقه‌بندی داده‌ها وزن‌دار می‌شوند و وزنی بین صفر تا یک می‌گیرند. با توجه به اینکه این تابع تأثیر افزایشی^۱ دارد یعنی هر چه مقدار عددی معیار بیشتر باشد امتیاز نزدیک به یک و هر چه مقدار عددی آن کمتر باشد امتیاز نزدیک به صفر می‌گیرد. نیز با توجه به اینکه در برخی موارد مانند معیار شیب در مدل مفهومی یادشده، مقادیر عددی کمتر اهمیت بیشتری دارند، بنابراین برای تولید نقشه شاهد وزن‌دار این لایه‌ها می‌توان از رابطه ۲ استفاده کرد. با استفاده از رابطه ۲ به مقادیر کمتر وزن

1. Increasing effect

تهیه نقشه وزن دار، با استفاده از رابطه ۲ نقشه‌های شاهد به دست آمدند که در آن قسمت‌های مختلف منطقه مطالعه شده از ارزش زیاد برابر ۰/۹۹ نشان‌دهنده مناطق مناسب تا کمترین ارزش برابر ۰/۰۱ نشان‌دهنده مناطق نامناسب طبقه‌بندی شده است (شکل ۳).

در مرحله بعد برای وزن دار کردن نقشه فاصله از قنات، چشمه، چاه از تابع لجستیکی رابطه ۱ استفاده شد. بنابراین، نقشه‌های شاهد وزن دار فازی فاصله از قنات، چشمه، چاه تولید شدند که در آن وزن ۰/۹۹ نشان‌دهنده فاصله دورتر (مناطق مناسب) و وزن ۰/۰۱ نشان‌دهنده فاصله نزدیک (مناطق نامناسب) است (شکل ۳).

برای تولید نقشه شاهد آبراهه با توجه به اینکه شرط وجود بستر آبراهه یک شرط لازم و قطعی است و بیشترین امتیاز نسبت به سایر قسمت‌ها را دارد، صرفاً به بستر آبراهه‌ها وزن ۰/۹۹ و سایر مناطق وزن ۰/۰۱ تخصیص داده شد (شکل ۳) زیرا سد زیرزمینی باید حتماً در محل آبراهه‌ها احداث شود [۳، ۹ و ۱۱] و در مکان‌های دیگر قابل اجرا نیست. بدین منظور هدف اصلی مطالعه حاضر شناسایی آبراهه‌های مناسب، از میان همه آبراهه‌های منطقه مطالعه شده تعیین شده است.

برای تولید نقشه‌های شاهد وزن دار کاربری اراضی و زمین‌شناسی از آنجا که لایه‌های اطلاعاتی گسسته هستند از روش فازی دانش‌محور یعنی نظر کارشناس برای تخصیص وزن به واحدهای مختلف این لایه‌ها و تولید نقشه شاهد وزن دار استفاده شد (جدول ۱). در این نقشه‌ها وزن ۰/۰۱ نشان‌دهنده مناطق نامناسب و وزن ۰/۹۹ نشان‌دهنده مناطق کاملاً مناسب است و قسمت‌های دیگر اهمیت حد واسط بین دو مقدار یادشده را دارند (شکل ۳).

تلفیق نقشه‌های وزن دار با روش میانگین هندسی و شناسایی مناطق مستعد سد زیرزمینی

در مطالعه حاضر برای ترکیب نقشه‌ها از رابطه میانگین هندسی (رابطه ۳) استفاده شده است. مدل پتانسیل به دست آمده در شکل ۴- الف نشان داده شده است. در این نقشه مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی به ترتیب اولویت طبقه‌بندی شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این نقشه مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی (آبراهه‌های مناسب که حضور کلیه ویژگی‌های مدل هدف در آنها

بیشتری تخصیص می‌یابد. در این رابطه Fw مقدار وزن فازی نهایی است [۱۴].

$$Fw = 1 - F_{Ev} \quad (2)$$

تلفیق با استفاده از روش میانگین هندسی

تلفیق لایه‌های شاهد وزن دار حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مختلف با استفاده از میانگین هندسی مندرج در رابطه ۳ صورت گرفت [۱۳]:

$$G_A(v_1, v_2, \dots, v_n) = \left[\prod_{i=1}^n v_i \right]^{1/n} = \sqrt[n]{v_1 v_2 \dots v_n} \quad (3)$$

در رابطه ۳ v_1 تا v_n لایه‌های وزن دار تولیدشده با استفاده از معیارهای به کار گرفته شده هستند. n تعداد لایه‌ها، G_A میانگین هندسی و در واقع ارزش هر قسمت از منطقه به منظور احداث سد زیرزمینی است. دلیل استفاده از رابطه میانگین هندسی این است که این رابطه در مواردی که عدم قطعیت در مدل‌سازی وجود دارد، مانند مدل‌سازی محیط‌های متغیر و پیچیده زمین‌شناسی (دارای تغییرپذیری زیاد در معیارهایی مانند شیب، گسل، نوع خاک و سایر موارد قیدشده در مقاله حاضر) می‌تواند در کاهش خطا مؤثر واقع شود [۲۰-۲۳]. علاوه بر این، در شرایطی که وزن‌دهی به معیارهای شناسایی در مکان‌یابی به صورت پیوسته صورت گرفته، روش تلفیق میانگین هندسی به دلیل استفاده از ریشه n حاصل ضرب n لایه وزن دار، محدوده مطالعه شده را به گونه مطلوب‌تری برای بررسی‌های بیشتر کوچک کرده [۱۳] و بنابراین در تصمیم‌گیری چندمعیاره مدل‌های با قدرت پیش‌بینی مکانی بهتری تولید می‌کند [۲۴-۲۶].

نتایج و بحث

تولید لایه‌های شاهد وزن دار

در مطالعه حاضر برای تولید لایه‌های شاهد وزن دار شیب، چگالی گسل، روستا و جاده ابتدا با استفاده از تابع لجستیکی رابطه ۱ نقشه‌ها به یک لایه وزن دار تبدیل شدند و چون در این معیارها مقادیر کمتر اهمیت بیشتری دارد با توجه به اینکه تابع لجستیکی رابطه ۱ روند افزایشی دارد؛ ولی طبق مدل مفهومی مقادیر کمتر شیب، چگالی گسل و فاصله از جاده و روستا اهمیت بیشتری دارد؛ یعنی هر چه مقدار آن کمتر باشد، امتیاز نزدیک به یک و مقادیر بیشتر، امتیاز نزدیک به صفر می‌گیرند. بنابراین، پس از

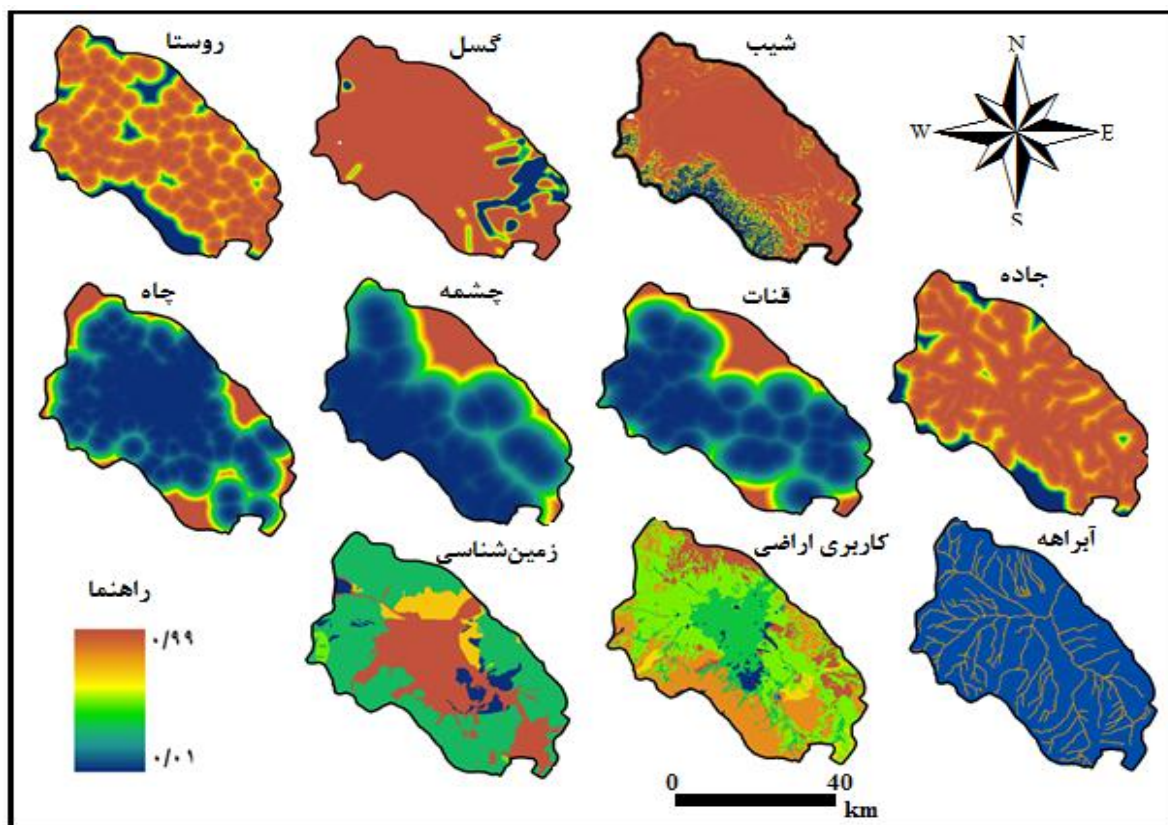
شکل (۴-الف) یک مرحله پردازش دیگر اجرا شد. به این صورت که آبراهه‌های با بیشترین ارزش به صورت یک نقشه دوباره طبقه‌بندی شدند (شکل ۴-ب).

تأیید شده باشد) با مقدار عددی بیشتر نسبت به سایر قسمت‌های منطقه مشخص شده‌اند. به منظور نمایش بهتر آبراهه‌های در اولویت برای احداث سد زیرزمینی روی نقشه

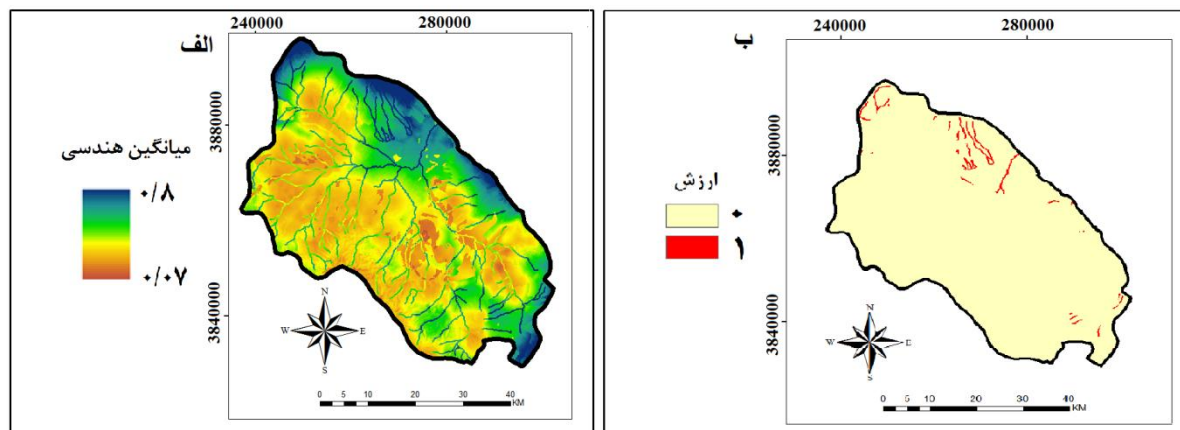
جدول ۱. وزن‌های تعیین‌شده برای زیرمعیارهای کاربری اراضی و زمین‌شناسی در حوزه مطالعه‌شده

وزن	نوع زمین‌شناسی	وزن	نوع کاربری اراضی
۰/۹۹	Qal - Qf - Qr - Qt2	۰/۹۹	مرتع نیمه‌متراکم
۰/۷	Ec	۰/۸	مرتع متراکم
۰/۵	Pg - Pjv	۰/۶	مرتع کم تراکم
۰/۳	A - D - Dg - E - H - J - JI - Jm - Jsh - Jssh - K - KIl - Km - Ks - kL - S - gg	۰/۵	زراعت
۰/۰۱	OMD - OMm - Omq1	۰/۳	جنگل دست‌کاشت
		۰/۰۱	مناطق مسکونی، بیرون‌زدگی سنگی، سطوح آبی

Qal: آبرفت عهد حاضر، Qf: کنگلومرا، Qr: نهشته‌های رودخانه‌ای، Qt2: شن و ماسه، Ec: کنگلومرای انوسن، Pg: پگماتیت، Pjv: ایگنبریت و ریولیت، A: آندالوزیت، گارنت، سیلیمانیت شیست، D: دیوریت، Dg: دیوریت-گابرو، E: آهک نومولیتی، H: هورنفلس و شیست، J: آهک سفید به صورت بخشی بلوری شده و اسلیت، Jsh: شیل، اسلیت و شیست، Jssh: ماسه‌سنگ به صورت بخشی کوارتزیت و شیل و کنگلومرا، K: رسوبات کرتاسه، KIl: آهک اوربیتولین‌دار، Km: آهک مارلی سبز، KS: ماسه‌سنگ، ماسه‌سنگ دولومیتی و کنگلومرا، KI: آهک قهوه‌ای، S: استارولیت شیست، GG: گرانیت و گرانودیوریت، OMD: آهک مارلی، OMm: مارل، Omq1: آهک، J: شیست و آهک بلوری، Jm: سنگ‌های دگرگونی.



شکل ۳. نقشه‌های شاهد وزن‌دار تولیدشده با استفاده از تابع لجستیکی



شکل ۴. الف) مدل پتانسیل مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی حاصل از ترکیب شواهد مختلف با رابطه میانگین هندسی؛ ب) آبراهه‌های در اولویت و مناسب برای کنترل زمینی

همان‌طور که در این نقشه مشاهده می‌شود، صرفاً آبراهه‌های پراهمیت مشخص شده‌اند. این آبراهه‌ها با کد ۱ (نشان‌دهنده حضور همه ویژگی‌های مورد نیاز) و یک رنگ جداگانه نسبت به سایر مکان‌ها (جاهایی که حتی یک ویژگی حضور نداشته و با کد صفر ذخیره شده) بارز شده‌اند. در این نقشه مناطق با کد یک مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی هستند، زیرا در آنها بیشترین شرایط لازم صدق می‌کند. مدل شکل ۴-ب توانسته هدف مکان‌یابی یعنی کوچک کردن محدوده مطالعه شده به منظور مطالعات بیشتر را مرتفع کند. با استفاده از این مدل، مکان‌های در اولویت برای احداث سد زیرزمینی در مقیاس ناحیه‌ای (در یک ناحیه وسیع) و با استفاده از نقشه‌های سطحی شبکه‌بندی شده (رستری)، به صورت دوبعدی شناسایی شده‌اند. بنابراین، هزینه عملیات صحرائی کمتر شده است، زیرا نیازی نیست تا کلیه سطوح (آبراهه‌های) منطقه بررسی شده بازبینی و کنترل صحرائی شوند. طبق مدل تولیدشده، بیشتر مناطق مناسب در قسمت شمال شرقی محدوده مطالعه شده قرار دارند. بنابراین، در مرحله بعدی، به منظور انتخاب بهترین نقطه یا نقاط برای احداث سد زیرزمینی لازم است در مناطق و آبراهه‌های مشخص شده در شکل ۴-ب، عملیات صحرائی و کنترل زمینی صورت گیرد تا معیارهای زیرسطحی و سه‌بعدی نیز ارزیابی و سنجش شوند.

نتیجه‌گیری

در روش‌های قدیمی به منظور وزن‌دهی به معیارها و عوامل مؤثر در مکان‌یابی از روش دانش‌محور بر اساس تجربه کارشناسی برای تخصیص وزن به شواهد و الگوهای مختلف استفاده شده است [۸ و ۹] دخالت نظرات شخصی

سبب بروز خطاهای تصادفی در خروجی این مدل‌ها شده و از اعتبار و دقت آنها کاسته شده است [۱۳ و ۱۴]. در حالی که در مطالعه حاضر از تابع لجستیکی به منظور تخصیص وزن به معیارهای شناسایی استفاده شده و داده‌های پیوسته به طبقه‌های مختلف طبقه‌بندی نشده‌اند. همچنین وزن‌ها توسط کارشناس تخصیص نیافته است و از نظر کارشناسی صرفاً برای تخصیص وزن به عوارض گسسته نظیر زمین‌شناسی و کاربری اراضی استفاده شده است تا خطاهای تصادفی کاهش یابد. بنابراین، روش پیشنهادی می‌تواند به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره [۱۷] بهبود یافته استفاده شود. در این خصوص توسط محققان مختلف ثابت شده است که استفاده از روش میانگین هندسی، عدم قطعیت متغیرهای زمین را مدل کرده [۲۰-۲۶] و عملکرد بهتری نسبت به روش‌های دانش‌محور [۲۷] در تلفیق نقشه‌های وزن‌دار پیوسته و تولید مدل‌های مکانی دارد، زیرا دخالت‌دادن نظر شخصی در وزن‌دهی و عدم طبقه‌بندی و ساده‌سازی داده‌های پیوسته، از بروز خطاهای تصادفی جلوگیری می‌کند [۱۳، ۱۴ و ۱۹].

اجرای روش پیشنهادشده در مقاله حاضر برای شناسایی معیارهای مناسب، پردازش، تلفیق لایه‌ها و استخراج داده‌ها نشان داد روش وزن‌دهی پیوسته در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، ابزاری مفید در تعیین محل‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی است. حوضه آبخیز همدان- بهار با داشتن عرصه‌های کشاورزی از مهم‌ترین

منابع

- حوضه‌های استان همدان به‌شمار می‌رود که مکان‌یابی مناسب و اجرای پروژه‌های سدهای زیرزمینی در آن می‌تواند برای توسعه منابع آب، حتی در مقیاس کوچک با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی و اجتماعی، مؤثر باشد. در این خصوص پیشنهاد می‌شود که نتایج به‌دست‌آمده از احداث سد زیرزمینی را با سایر سامانه‌های جمع‌آوری آب در یک حوضه مقایسه و نتایج به‌دست‌آمده از این طرح‌ها را به‌صورت اقتصادی و اجتماعی مشخص کنند تا بهترین روش با توجه به صرفه اقتصادی مشخص شود. با توجه به مطالعات صورت‌گرفته در مقاله حاضر، نتیجه‌گیری به‌صورت زیر جمع‌بندی می‌شود:
۱. مدل توصیفی و مفهومی تأثیر مهمی در انتخاب معیارهای شناسایی و پیرو آن داده‌های استفاده‌شده و پیش‌بینی صحیح مناطق مناسب، در مقاله حاضر مکان‌یابی برای احداث سد زیرزمینی دارد.
 ۲. تابع لجستیکی می‌تواند نقشه‌های وزن‌دار پیوسته را برای معیارهای شناسایی مناطق مساعد احداث سد زیرزمینی تولید کند که در آنها اعمال نظر سلیقه‌ای در تخصیص وزن، به کمترین حد رسیده و بنابراین خطای تصادفی و عدم قطعیت مدل‌های مکانی تولیدشده کاهش می‌یابد. بدین‌منظور لازم است پس از تعریف یک مدل مفهومی مناسب برای مکان‌یابی سد زیرزمینی، معیارهای شناسایی مستقیم با استفاده از تابع لجستیکی کمی و وزن‌دار شوند.
 ۳. عملگر میانگین هندسی می‌تواند به‌عنوان یک رابطه تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌منظور تلفیق معیارهای شناسایی مناطق مساعد احداث سد زیرزمینی در پروژه‌های مکان‌یابی به‌گونه مطلوبی استفاده شده و مناطق مناسب را برای کنترل زمینی کوچک و محدود کند.
 ۴. نتایج مدل‌سازی مکانی احداث سد زیرزمینی به روش توسعه داده‌شده در مقاله حاضر نشان داد آبراهه‌های در اولویت به‌منظور بررسی‌های صحرائی و زمینی زیرسطحی، بیشتر در شمال و شمال شرق منطقه مطالعه‌شده (حوضه آبخیز بهار- همدان) قرار دارند. بنابراین، منطقه مطالعه‌شده به‌گونه مطلوبی، با کاربرد یک فرایند مرحله‌ای در مکان‌یابی، کوچک شده و آبراهه‌های مناسب شناسایی شده‌اند.
- [1]. Kheirkhah Zarkesh MM, Naseri HR, Daodi MH, Salami H. Using the Analytic Hierarchy Process in the prioritization of right places for underground dam construction (Case study: northern slopes of the mountains karkas - natanz). Research and development on natural resources. 2009; (79): 93-101. (In Persian)
- [2]. PBO. Underground dams, new technique for underground water resource development, water resources and research project studies the optimal utilization of existing water facilities. 1993; No 8. 65p (In Persian)
- [3]. Dorfeshan F, Heidarnejad M, Bordbar A, Daneshian H. Locating Suitable Sites for the Construction of Underground Dams through Analytic Hierarchy Process. International Conference on Earth, Environment and Life Sciences Dec.23-24,2014 Dubai(UAE).
- [4]. Forzieri G, Gardenti M, Cuparrini F, Castelli F. A methodology for the Pre-Selection of Suitable Sites for Surface and underground Small in arid areas: A Case Study in the region of kidal, Mali. Physics and chemistry of the Earth. 2007; 33: 74-85
- [5]. Jamali IA, Mortberg U, Olofsson B, Shafique M. A Spatial Multi-Criteria Analysis Approach for Locating Suitable Sites for Construction of Subsurface Dams in Northern Pakistan. Water Resour Manage. 2014; 28: 5157-5174.
- [6]. Rezaei P, Rezaei K, Nazari-Shirkouhi, S, Jamalizadeh Tajabadi M R. Application of Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Analysis for Evaluating and Selecting the Best Location for Construction of Underground Dam. Acto Polytechnica Hungarica. 2013; 10(70).
- [7]. Salahaldin A, Foad, Al, Sarkawt G, Nadhir, Al. Evaluation of Selected Site Location for Subsurface Dam Construction Within Lsayi Watershed Using GIS and RS Garmiyan Area Kurdistan Region. Journal of Water Resource and Protection. 2014; 6: 972-987.
- [8]. Pirmoradian R, Behbahani MR, Nazaryfar MH, Velayati S. Initial locating of suitable area for underground dam construction in Eyvanakey plain. The first national conference on water resources and agricultural challenges. Iran, Islamic Azad University Khorasgan. 2013.
- [9]. Eisavi V, Cearami J, Ali-Mohammadi A, NikNezhad A. Comparison of AHP and Fuzzy-AHP decision making approaches in initial locating of suitable area for underground dam construction in Taleghan area. Journal of Earth Sciences. 2012; 22(85): 27-34. (In Persian)

- [10]. Mohebi tafreshi A, Kheirkhah Zarkesh M, mohebi tafreshi G. Application of GIS and RS techniques as decision support systems for locating suitable sites for underground dam construction (Case Study; Qazvin Province). *Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 2014; 8(26): 35-50. (In Persian)
- [11]. NikNezhad A. Locating underground dam (Case study: Coat basin). Master's thesis, University of Tarbiyat Modares. Tehran. 2011. (In Persian)
- [12]. Farokhzadeh B, Attaeian B, Akhzari D, Razandi Y, Bazrafshan O. Combination of Boolean Logic and Analytical Hierarchy Process Methods for Locating Underground Dam Construction. *ECOPERSIA*. 2015 Sep 1; 3(3):1065-75.
- [13]. Yousefi M, Carranza E.J.M. Geometric average of spatial evidence data layers: A GIS-based multi-criteria decision-making approach to mineral prospectivity mapping. *Computers & Geosciences*. 2015; 83: 72–79.
- [14]. Yousefi M, Carranza E.J.M. Fuzzification of continuous-value spatial evidence for mineral prospectivity mapping. *Computers & Geosciences*. 2015; 74: 97-109.
- [15]. Yousefi M, Kamkar-Rouhani A. Principle of Mineral Potential Modeling Techniques (In Geographic Information System), Amirkabir University Press; 2010. (in Persian)
- [16]. Porwal A. Mineral Potential Mapping with Mathematical Geological Models, Ph.D. Thesis, University of Utrecht, The Netherlands, ITC (International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation) Publication No. 130, Enschede. 2006. 289pp.
- [17]. Zimmermann H.J. *Fuzzy Set Theory – and Its Applications*, Kluwer Academic Publishing, Dordrecht. 1991; 399pp.
- [18]. Moien A. A justification report on extending the ban on exploitation of groundwater resources in the Hamedan-bahar basin, Office of Water resources, Office of water supply, Hamedan Regional Water Authority. 2009. (In Persian)
- [19]. Yousefi M, Carranza EJM. Prediction-area (P-A) plot and C-A fractal analysis to classify and evaluate evidential maps for mineral prospectivity modeling. *Computers & Geosciences*. 2015; 79: 69-81.
- [20]. Wang JQ, Zhang Z.H. Multi-criteria decision-making method with incomplete certain information based on intuitionistic fuzzy number, *Control and Decision*. 2009; 24: 226–230.
- [21]. Wang JQ, Zhang ZH. Aggregation operators on intuitionistic trapezoidal fuzzy number and its application to multi-criteria decision making problems, *Journal of Systems Engineering and Electronics*. 2009; 20: 321–326.
- [22]. Wang YM, Chin KS, Yang JB. Measuring the performances of decision making units using geometric average efficiency. *Journal of the Operational Research Society*. 2007; 58: 929–937.
- [23]. Wei GW. Some arithmetic aggregation operators with intuitionistic trapezoidal fuzzy numbers and their application to group decision making, *Journal of Computers*. 2010; 5: 345–351.
- [24]. Xu, Z.S., 2007. Models for multiple attribute decision-making with intuitionistic fuzzy information, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 15, 285–297.
- [25]. Xu ZS, Yager RR. Some geometric aggregation operators based on intuitionistic fuzzy sets, *International Journal of General Systems*. 2006; 35: 417–433.
- [26]. Xu, ZS. Approaches to multiple attribute group decision making based on intuitionistic fuzzy power aggregation operators, *Knowledge-Based Systems*. 2011; 24: 749–760.
- [27]. Chezgi J, Rahnema H, Moradi HR, Kheirkhah MM. Locating potential areas for construction of underground dam using multi-criteria decision making approach with special emphases on water resources (case study: west of Tehran province), *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 2011; 13: 65-68.