مکان‌یابی سد باطله معدن مس درآلو با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چند معیاره

محمود شمس الدینی نژاد*[1]، حجت اله رنجبر[2]، محمد رضا شایسته فر[3]، عباس سام[3]، محمود علیپور[4]

[1] کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن - گروه مهندسی معدن - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه شهید باهنر کرمان
mahmoud.shamsaddini@gmail.com

[2] استاد گروه مهندسی معدن - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه شهید باهنر کرمان
h.ranjbar@mail.uk.ac.ir

[3] دانشیار گروه مهندسی معدن - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه شهید باهنر کرمان
{shayeste, asam}@mail.uk.ac.ir

[4] کارشناس ارشد هیدرولوژی - مجتمع مس سرچشمه
alipour2000@gmail.com

(تاریخ دریافت اسفند ۱۳۹۳، تاریخ تصویب مهر ۱۳۹۵)

چکیده

کانسار مس درآلو در فاصله ۱۲۰ کیلومتری جنوب شهر کرمان و ۳۵ کیلومتری شمال شرقی رابر در منطقه ای کوهستانی، بین کوه هزار به ارتفاع ۴۴۶۵ متر و کوه لاله زار به ارتفاع ۴۳۵۱ متر قرار دارد. یکی از تاسیسات مورد نیاز برای بهره برداری از معدن، احداث سد باطله برای کارخانه فرآوری می باشد. محل احداث سدهای باطله تاثیر به سزایی بر سرمایه گذاری اولیه و هزینه تمام شده در عملیات معدنکاری می گذارد. در گذشته فرآیند انتخاب محل سدها مبتنی بر مسائل اقتصادی و معیارهای تسهیل در عملیات اجرایی بوده؛ ولی امروزه به علت لحاظ شدن ملاحظات زیست محیطی، فرآیند انتخاب محل سدهای باطله پیچیده شده است. در این مطالعه برای مکان‌یابی سد باطله معدن مس درآلو از سامانه اطلاعات جغرافیایی به عنوان نرم افزار پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده شده است. در تعیین محل سد باطله پارامترهای زیادی موثر هستند، که این امر باعث پیچیدگی در انتخاب محل سد باطله می‌شود. در این تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) - که بر اساس وزن دهی به پارامترها از سوی کارشناسان می‌باشد - استفاده شده است. پس از بررسی نظرات کارشناسان، لایه های اطلاعاتی در پنج گروه شامل زمین شناسی، زیست محیطی، هیدرولوژی، مورفولوژی و اقتصادی طبقه بندی شد. سپس، مقایسه زوجی بین لایه‌ها برای وزن‌دهی انجام شد. پس از تعیین وزن هر یک از معیارها، با استفاده از زوش مجموع وزنها، نقشه نهایی در سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. در نهایت با انجام عملیات کنترل صحرایی، چهار ناحیه جهت مطالعات تکمیلی در مناطق پیشنهادی مشخص گردید. این چهار ناحیه با استفاده از مدل تاپسیس با هم مقایسه شدند و گزینه مطلوب پیشنهاد شد.

واژگان کلیدی: سد باطله، مکان‌یابی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحلیل سلسله مراتبی، تصمیم گیری چند معیاره، تاپسیس

---

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

جهت تولید فلزات و سایر کانی‌های مورد نیاز، مقدار زیادی کانسنگ استخراج و فرآوری می‌شوند. معمولاً برای جداسازی این مواد با ارزش، ذرات باید تا ابعاد بسیار کوچک آسیا شوند؛ این مواد زائد بسیار ریز همان باطله‌ها هستند[۱]. باطله‌ها زائدات ریزی هستند که پس از استخراج فلزات و مواد معدنی از روش اقتصادی قابلیت بازیافت را ندارند. ترکیب فیزیکی و شیمیایی با طبیعت مواد فرآیند شده و همچنین نحوه فرآیند متفاوت می‌باشد. این تغییرات به همراه موقعیت محل بهره برداری میزان مدیریت مورد نیاز برای باطله‌ها و تسهیلات ذخیره باطله‌ها را تعیین می‌کند[۲]. پالپ باطله‌ای که در انتهای فرآیند فرآوری باقی می‌ماند، بایستی به طور ایمن و با کمترین هزینه ممکن دفع شود. معمولاً درصد آب پالپ به قدری زیاد است که می‌توان آن را بوسیله کانال یا خط لوله از محل کارخانه دور کرده و در محل مناسب دفع کرد[۳].

از آنجا که عمده‌ترین روش دفع باطله‌ها، حمل و ته نشین سازی آنها بصورت پالپ می‌باشد، بایستی در اطراف محل ته‌نشینی آنها حد و مرزهایی قرار داد. این حد و مرز مانع از گسترش باطله‌ها به خارج از ناحیه تعیین شده می‌شوند. معمولاً محل ته نشینی باطله‌ها همانند یک آبگیر است که شامل دو بخش اساسی خاکریز محدود کننده (سد باطله) و آبگیر باطله (محل ته نشینی باطله‌ها) می‌باشد[۴]. هدف نهایی از تجهیز سد باطله جمع آوری ذرات ریز و گاهاً با هدف ثانویه حفاظت از منابع آب موجود و واگردانی آب درسیستم معدن و کارخانه فرآوری می‌باشد[۵].

مطالعات مکان‌یابی یکی از مراحل مهم و اساسی اجرای سدهای باطله می‌باشد. در این ارتباط، معیارها و شاخص‌های متعددی جهت انتخاب محل مناسب سد باطله ارائه شده است، که هر یک محدودیت‌ها و شرایط خاصی را برای مکان‌یابی مناسب مطرح می‌سازد[۶]. مکان‌یابی از جمله مهمترین فعالیت‌های مدیریت فضا در جوامع انسانی است. این فعالیت به نوبه خود می تواند موجبات صرفه جویی در زمان، هزینه و فراهم نمودن فرصت و موجبات افزایش عدالت فضایی موجود و ترفیع آن را فراهم سازد[۷]. در فرایند مکان‌یابی پس از تعیین اهداف عملیاتی مکان‌یابی و تهیه گزینه‌های مختلف برای رسیدن به مکان بهینه، ارزیابی صورت می گیرد تا بر اساس شایستگی هر یک از گزینه ها، گزینه مطلوب، یا بهتر انتخاب شود [۸] هدف نهایی یک معیار مکان‌یابی، دستیابی به مناسب‌ترین محلی است که کمترین اثرات سوء را برای محیط زیست و منابع طبیعی اطراف سد داشته باشد و از نظر اقتصادی کمترین هزینه و از دیدگاه مهندسی نیز بهترین ویژگی را دارا باشد[۹]. دانشمندان و محققین فراوانی در سال‌های اخیر و با روش‌های متفاوت دست به مکان‌یابی برای اهداف مختلف زده‌اند. اما به جرأت می توان ادعا کرد که موفق‌ترین روش برای مکان‌یابی استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیائی و تصمیم‌گیری چند معیاره برای این منظور است. دلیل این ادعا این است که در این روش‌ها تاثیر عوامل مختلف در نظر گرفته شده و بهینه‌ترین مکان با تلفیق اثرات تمام این عوامل و فاکتورها انتخاب می‌شود. مهمترین عرصه‌هائی که مکان‌یابی در آنها نقش تعیین کننده دارد عبارتند از: خدمات شهری [۱۰]، محیط زیست [۱۱] و ابنیه‌های مهندسی[۱۲، ۱۳].

۲- نگاهی به زمین شناسی منطقه درآلو

محدوده کانسار درآلو از نظر ساختاری در پهنه ایران مرکزی و کمان ماگمایی ارومیه دختر و در بخش جنوب خاوری آن در زیر پهنه آتشفشانی نفوذی دهج- ساردوئیه قرار دارد. این مجموعه آتشفشانی-نفوذی شامل ترادف ضخیمی از سنگ‌های آتشفشانی و آواری- آتشفشانی ائوسن است که توسط توده‌های گرانودیوریت داسیتی و دیوریتی بعد از ائوسن قطع شده و در ارتباط با محلول‌های گرمابی مربوط به فازهای نهایی توده‌های مذکور و دگرسانی گرمابی به صورت سیلیسی و سریسیتی شدن و آرژیلی شدن و کلریتی و اپیدوتیتی شدن هم در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و هم در خود توده‌های مذکور به صورت گسترده ایجاد شده که بعضاً با کانی سازی مس (کانسارهای درآلو، بندر هنزا، سرمشک، لاله زار و ...) همراه است. مجموعه آتشفشانی و آواری-آتشفشانی ائوسن در زیر پهنه دهج-ساردوئیه شامل دو مجموعه بحرآسمان و رازک است، که مجموعه بحرآسمان به ضخامت تقریبی ۷ کیلومتر دارای زمان ائوسن زیرین میانی و با نهشته‌های نوع فلیش همراه با سنگ آهک آغاز و سپس مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی و توف با ترکیب داسیت ریوداسیتی ادامه یافته و بر روی آنها ترادف بازالت و آندزیت و توف‌های مربوطه قرار

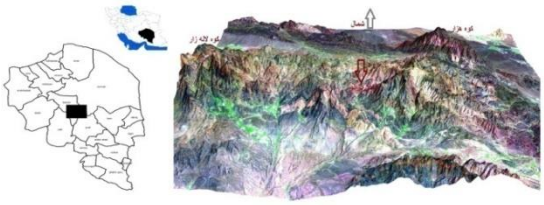
گرفته و در نهایت به ترادفی از گدازه‌ها و توف‌های اسیدی ختم می‌شود. بر روی مجموعه بحرآسمان، بطور ناهمساز مجموعه رازک قرار می‌گیرد که دارای زمان ائوسن میانی بالایی است که خود شامل سه زیر مجموعه گدازه‌های آندزیتی، بازالتی و تراکی آندزیتی تا داسیتی در زیر، توف-های اسیدی و ایگنمبریت در میان و ترادفی از گدازه‌های بازالتی و آندزیتی تا تراکی آندزیتی همراه با توف و آگلومرا در بالا می‌باشد. ضخامت کل مجموعه رازک بیش از ۲۵۰۰ متر است و محدوده کانسار درآلو در زیر مجموعه فوقانی مجموعه رازک قرار می‌گیرد.

توده‌های نفوذی قطع کننده مجموعه رسوبی-آتشفشانی ائوسن در زیر پهنه دهج-ساردوئیه بسیار متنوع بوده و در نواری به طول ۱۵۰ کیلومتر و عرض ۴۵ کیلومتر در این زیر پهنه رخنمون دارند. این توده‌های نفوذی که از رخساره عمیق تا نیمه عمیق و ترکیب گرانیت، گرانودیوریت، دیوریت و داسیت-ریوداسیت متغیراند. بیشترین رخنمون-های توده‌های گرانیتوئیدی، توده گرانودیوریتی (کوه تخت سرتشتک و گدار سنگ عشق) رخساره نیمه عمیق داسیتی دارد. توده‌های نفوذی کوچکتر عمدتاً ترکیب گرانودیوریت-دیوریت و داسیتی داشته و به نظر می‌رسد دارای زمان میوسن میانی باشند[۱۴].

۳- مواد و روش کار

۳-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

کانسار مس درآلو در فاصله ۱۲۰ کیلومتری جنوب شهر کرمان و ۳۵ کیلومتری شمال شرقی رابر؛ بین عرض‌های ′۲۲ °۲۹ تا ′۲۷ °۲۹شمالی و طول‌های ′۱ °۵۷ تا ′۱۰ °۵۶ شرقی قرار گرفته است. میانگین ارتفاع در محدوده کانسار ۳۱۰۰ متر و بلندترین نقطه آن در شمال شرق ۳۲۰۰ متر و پست ترین نقطه آن در بستر رودخانه درآلو ۲۹۰۰ متر است(شکل۱). راه دسترسی به کانسار از شهر کرمان از طریق جاده آسفالته کرمان بافت پس از طی ۳۳ کیلومتر در مجاورت روستای بهرامجرد یک جاده آسفالته باریک از آن به طرف جنوب جدا شده و پس از عبور از روستاهای گلزار، شیرینک، چهار طاق از طریق یک جاده خاکی کوهستانی به طول حدود ۳۰ کیلومتر به محدوده کانسار می‌رسد.



شکل۱- موقعیت جغرافیایی و مورفولوژی اطراف معدن مس درآلو

۳-۲- معیارهای مورد استفاده و آماده سازی آنها

با استفاده از اطلاعات به دست آمده از مطالعات اولیه، مصاحبه با کارشناسان و افراد متخصص و بررسی تجارب کشورهای دیگر در زمینه مکان‌یابی و احداث مراکز مشابه، عوامل موثر در مکان‌یابی فعالیت مورد نظر به همراه داده های مورد نیاز مربوط به این عوامل تعیین شد. در این مرحله یک تحلیل جامع روی مجموعه پارامترها انجام شد، تاثیر هر یک از پارامترها روی سایر عوامل به طور همه جانبه مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله نحوه آماده سازی داده‌ها برای ورود به مدل های GIS نیز به طور اجمالی مورد بررسی شد. در این تحقیق پارامترهای تاثیر گذار بر اساس سازگاری و ناسازگاری این معیارها با هدف مورد نظر -مکان-یابی سد باطله معدن درآلو-در پنج دسته؛ زیست محیطی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی، مورفولوژی و اقتصادی تعیین شدند(جدول۱).

- زیست محیطی: روند تکاملی صنعت معدنکاری و اثرات جانبی آن بر محیط، لزوم اجرای این فعالیت را ایجاب می کند و از طرفی نظارت زیست محیطی در جهان به صورت یک الزام جدی درآمده است. شاید در حال حاضر به دلیل وسعت کشور و بایر بودن بسیاری از نواحی معدنی لزوم اجرای آن احساس نشود ولی آیا قابل پیش بینی است که در آینده با در نظر گرفتن میزان رشد جمعیت در کشور از یک طرف و فعال شدن بسیاری از معادن غیر فعال و تجهیز و بهره برداری از معادن بکر و با توجه به پتانسیل بالای معدنی کشور و همچنین نیاز شدید به تولیدات معادن در جهت نفی اقتصاد تک محصولی باز هم لزومی بر نظارت های زیست محیطی نواحی معدنکاری شده نباشد. در مناطقی که فعالیت‌های معدنکاری انجام می‌گیرد و باطله‌های حاصل از فرآوری سنگ معدن پشت سد ذخیره باطله جمع می‌شوند، دو مکانیزم کلی برای انتقال آلودگی به محیط پیرامون وجود دارد.

جدول۱- معیارها و ضوابط استفاده شده

معیار	زیر معیار	گرفته شده از	ضوابط	معیار	زیر معیار	گرفته شده از	ضوابط
زیست محیطی	مناطق مسکونی	تصاویر ماهواره ای، نقشه های توپوگرافی	دوری از مناطق مسکونی	مورفولوژی	کاربری اراضی	سازمان منابع طبیعی	بر روی مناطق مساعد
زیست محیطی	مناطق حفاظت شده	سازمان محیط زیست	دوری از مناطق حفاظت شده	هیدرولوژی	آبراهه	نقشه توپوگرافی، تصاویر ماهواره ای	دوری از آبراهه ها
زیست محیطی	مناطق گردشگری	سازمان میراث فرهنگی و گردشگری	دوری از مناطق گردشگری	هیدرولوژی	رودخانه	نقشه توپوگرافی	دوری از رودخانه
زیست محیطی	اسکان عشایر	سازمان عشایری	دوری از مناطق اسکان عشایر	هیدرولوژی	چشمه	نقشه توپوگرافی	دوری از چشمه
زمین شناسی	سنگ شناسی	نقشه زمین شناسی	حداقل شکستگی و سنگ های نفوذناپذیر	هیدرولوژی	چاه	نقشه توپوگرافی، سازمان آب منطقه ای	دوری از چاه
زمین شناسی	خطواره ها	نقشه زمین شناسی، تصاویر ماهواره ای	دوری از خطواره ها	هیدرولوژی	قنات	نقشه توپوگرافی	دوری از قنات
زمین شناسی	گسل	نقشه زمین شناسی، تصاویر ماهواره ای	دوری از گسلها	هیدرولوژی	بارش	سازمان هواشناسی، سازمان آب منطقه ای	بارش کمتر
زمین شناسی	خاک	نقشه خاک شناسی	ریزدانه رسی سیلتی با حداقل نفوذپذیری	اقتصادی	دسترسی به جاده	نقشه توپوگرافی	نزدیکی به جاده
مورفولوژی	ارتفاع	نقشه توپوگرافی	ارتفاع کمتر	اقتصادی	دسترسی به راه آهن	نقشه توپوگرافی	نزدیکی به راه آهن
مورفولوژی	شیب	DEM منطقه	شیب کمتر	اقتصادی	پتانسیل معدنی	سازمان صنعت و معدن	روی مناطق دارای پتانسیل معدنی نباشد
مورفولوژی	جهت شیب	DEM منطقه	در جهت وزش باد نباشد	اقتصادی	فاصله تا کارخانه	----	نزدیکی به کارخانه فرآوری

مکانیزم اول انتقال ذرات باطله‌ی خشک توسط باد و نشست آن ها در منطقه پیرامون سد باطله می‌باشد که بعداً توسط آب باران زهکشی می‌شوند و مکانیزم دوم مربوط به نفوذ آب همراه باطله به شکل آب تراوشی به جریانات آب سطحی و زیر زمینی مجاور می‌گردد [۱۵]. در این تحقیق برای تمام پارامترهای زیست محیطی، نقشه حریم ساخته شد؛ بیشترین اهمیت به دوری از این پارامترها داده شد.

- معیار اقتصادی: به طور کلی برای سهولت و کاهش زمان حمل و نقل، مکان سد باطله تا حد امکان باید هم به محل کارخانه فرآوری که محل تولید باطله است و هم به راه های دسترسی منطقه نزدیک باشد. از طرف دیگر به منظور رعایت معیارهای زیست محیطی و جلوگیری از لطمه خوردن به زیبائی بصری محیط لازم است محل سد باطله حریمی مشخص تا راه‌های دسترسی اصلی داشته باشد. بر همین اساس بعد از رعایت حریم جاده‌ها بیشترین امتیاز را به مناطق نزدیک‌تر به جاده‌ها و راه‌های دسترسی منطقه داده شد. یکی از مسائل مهمی که در بحث محل احداث سد باطله باید درنظر گرفت، پتانسیل معدنی منطقه می‌باشد. به دین منظور نقشه پتانسیل معدنی منطقه تهیه شد. هدف از این کار این بود که با در نظر گرفتن این موضوع از بروز مشکلات در بحث توسعه معدن در آینده جلوگیری شود.

- معیار زمین شناسی: مطالعه زمین شناسی منطقه با هدف انتخاب بهترین سنگ بستر با کمترین نفوذپذیری بود. شرایط ایده‌آل زمانی است که سنگ به خودی خود (در حالت بکر) نفوذپذیری نداشته باشد و در حالت شکسته، دارای کمترین درز و شکاف باشد تا از نفوذ مواد باطله به آب زیر-زمینی و محیط اطراف جلوگیری شود[۱۶]. بر همین اساس واحدهای سنگ-شناسی منطقه دسته بندی شدند و به واحدهایی که نفوذناپذیرتر بودند امتیاز بیشتر تعلق گرفت.

توجه به موضوع خاک شناسی در ملاحظات مربوط به طراحی عملیات و چگونگی حفاظت از آبهای سطحی و زیر زمینی از ضرورت های اولیه در مکان‌یابی محل سد باطله به شمار می-آید. واحد¬های خاک منطقه از دیدگاه‌های مختلف از جمله؛ تعیین مشخصات و عمق خاک، تعیین نوع سنگ بستر، ضخامت، شناخت جنس و منشأ آن، تعیین الگوی چین خوردگی زمین، شناخت هوازدگی، بررسی امکان لغزش خاک و سنگ و مطالعه در خصوص تخلخل و نفوذپذیری خاک[۱۷] مورد بررسی قرار گرفت و به واحد-های مناسب‌تر امتیاز بیشتر تعلق گرفت.

گسل‌ها علاوه بر اینکه در پهنه گسلی موجب افزایش تراوایی سنگ بستر می شوند به علت ناپایداری‌هایی که ممکن است به وجود آورند جزو مناطق ممنوعه قرار می‌گیرند. در این تحقیق با ایجاد نقشه حریم گسل، به مناطق دورتر از گسل‌ها امتیاز بیشتر تعلق گرفت.

- معیار هیدرولوژی: آب‌های سطحی و زیرزمینی نقش بسیار مهمی در مکان‌یابی محل سد باطله ایفا می‌کنند، یکی از مهمترین اهداف مکان‌یابی آن است که مناطقی تعیین شود که از ورود آلودگی به داخل آب‌ها جلوگیری شود. در اغلب موارد نفوذ و جاری شدن آب عامل اصلی تحرک و انتقال باطله‌ها و آلاینده‌ها می‌باشند. در مطالعات هیدرولوژیکی نقشه حریم برای رودخانه‌ها، آبراهه‌ها، چاه‌ها، چشمه‌ها، و قنات‌ها ایجاد شد و در این پارامترها به مناطق با فاصله بیشتر از این پارامترها امتیاز بیشتر تعلق گرفت. متاسفانه به علت نبود اطلاعات مربوط به آب‌های زیر زمینی منطقه از این پارامتر در این تحقیق در مرحله اولیه نتوانستیم استفاده کنیم. اما برای احداث سد باطله در هر منطقه باید قبل از احداث مطالعات آب‌های زیرزمینی در منطقه صورت گیرد.

- معیار مورفولوژی: بکارگیری اطلاعات حاصل از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی برای انتخاب محل مناسب دفع، بخصوص در مناطق کوهستانی و جنگلی بسیار راه گشاست. با ایجاد نقشه‌های مورفولوژی منطقه با در نظر گرفتن سایر شرایط، هدف پیدا کردن مناطق غیر مرتفع و با شیب کم بود. و بر همین اساس نقشه‌های مورفولوژی امتیاز گرفتند. در نقشه کاربری اراضی، محدوده‌های فاقد کشاورزی و مرتعداری درجه ۳ از جمله مکان‌های مناسب و اراضی، جنگل‌ها، کشاوزی و کشت آبیاری مکان‌های نامناسب برای احداث سد باطله در نظر گرفته شدند

۳-۳- روش های مورد استفاده

فرایند تحلیل سلسله مراتبی: فرایند تحلیل سلسله مراتبی به عنوان یک روش چند معیاره، از مقایسه دوبه‌دوی معیارها استفاده می‌کند تا به درجه بندی اولویت‌های مربوط به گزینه‌های مختلف برسد[۱۸]. همه معیارها و عوامل شناسایی شده، در ماتریس مقایسه دوبه‌دو که مبین اولویت‌های نسبی معیارها است، بیان می‌شوند. بنابراین مقادیر عددی مربوط به اولویت‌بندی، و یا اهمیت نسبی یک معیار نسبت به دیگری، می‌بایستی اختصاص داده شوند. با تحقیقات انجام شده یک دامنه برای مقایسه معیارها پیشنهاد شد که شامل عددهای بین ۱ تا ۹ می‌شود[۱۸].

هر کدام از این اعداد نشان دهندهٔ درجهٔ اهمیت هستند به طوری که مقدار "۱"، نشان دهنده "اهمیت برابر" و مقدار "۹" نشان دهنده "اهمیت بسیار زیاد" یک معیاره نسبت به دیگری است. در مرحله بعدی، مقادیر اولویت بندی اختصاص داده شده برای تعیین رتبه بندی عوامل مربوط که همان مرحلهٔ وزن دهی است، ترکیب و تلفیق می شوند. به طور کلی می توان بیان کرد که روش AHP شامل سه گام اصلی می‌شود: (۱) ایجاد ساختار سلسله مراتبی (۲) مقایسه دوبه‌دوی المان‌های ساختار سلسله مراتبی (۳) ارزش دهی معیارها. البته مقادیر مربوط به مقایسه دوبه‌دو می‌باید کاملاً به صورت کارشناسی شده تعیین شوند و مقادیر اختیاری در نظر گرفته نشود. اما اولویت ها و سلایق افراد مختلف، متناقض و ناجور بوده و وابستگی این روش به آرای تحلیل گران ممکن است باعث آشفتگی و انحراف در محاسبات بشود. به همین دلیل، یک اندیس عددی منحصر به فردی برای بررسی استحکام ماتریس مقایسه دوبه‌دو مهیا کرد و نسبت CR به عنوان نسبت اندیس استحکام (CI) بر اندیس میانگین (RI) تعریف شد[۱۹]:

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad (۱)$$

Saaty (1980) مقدار اندیس میانگین استحکام را که برخی از مؤلفان به آن اندیس تصادفی نیز می گویند [۲۰]، به عنوان میانگین استحکام ماتریس مربعی از مرتبه‌های مختلف که با مقادیر کاملاً تصادفی مقدار دهی شده بودند، محاسبه کرد. بنابراین مقادیر استحکام متوسط این ماتریس‌ها از پیش تعیین شده‌اند. مقدار اندیس استحکام

مستقیماً از ماتریس اولویت بندی شده و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \qquad (۲)$$

که در آن λ_max بزرگترین مقدار ویژهٔ ماتریس اولویت بندی و n، مرتبه ماتریس هستند. طبق دانش و تجربیات حاصل از عمل کردن‌های مختلف AHP، پیشنهاد شده که اگر نسبت استحکام از مقدار "۰/۱" تجاوز کند، نیاز است که ماتریس مقایسه بازنگری شود[۱۸].

مدل تاپسیس: در دهه‌های اخیر، توجه محققین برای تصمیم گیری‌های پیچیده به سمت مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره معطوف گردیده است. در این تصمیم‌گیری‌ها به جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی، از چندین معیار سنجش، ممکن است استفاده گردد. این مدل‌های تصمیم-گیری به دو دسته عمده تقسیم می‌شود: (۱) مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه، (۲)مدل‌های تصمیم‌گیر چند معیاره. مدل‌های چند هدفه به منظور تصمیم سازی ارائه شده‌اند، و مدل‌های چند معیاره به منظور انتخاب گزینه بهینه از بین گزینه های پیشنهادی می باشد. مدل تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و از نوع مدل‌های جبرانی می‌باشد. این روش در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ ویون ارایه گردید. در شاخص مورد ارزیابی n گزینه بوسیله m معیار در این روش مورد بررسی قرار می‌گیرند[۲۱]. در این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه A_i از نقطه ایده‌آل، فاصله آن از نقطه ایده‌آل منفی هم در نظر گرفته می‌شود. بدان معنی که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از راه حل ایده‌آل بوده و در عین حال دارای دورترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی باشد[۲۲]. مدل تاپسیس روشی است که برای تحلیل مسائل تصمیم‌گیری پیچیده که در آنها ارزیابی گزینه ها تصمیم‌گیری بر پایه معیارهای متعارض و ناسازگار صورت می‌گیرد [۲۳].

اگر در یک مسأله تصمیم‌گیری چند شاخصه n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، مراحل انتخاب بهترین گزینه با استفاده از مدل تاپسیس، به شرح زیر است[۲۲]:

با توجه به تعداد معیارها و گزینه‌ها و ارزیابی همه گزینه‌ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

که در آن X_{ij} عملکرد گزینه i ام (i=1, 2, …, m) در رابطه با معیار یا شاخص j ام (j=1, 2, …, n) می‌باشد.

یک گزینه ممکن است توسط دو نوع شاخص توصیف شود: شاخص کمی (مانند، ظرفیت) و شاخص کیفی (مانند قابلیت در دید بودن). مقیاس اندازه گیری شاخص‌های کمی می توانند با یکدیگر متفاوت باشند، و به همین دلیل انجام عملیات اصلی ریاضی قبل از بی مقیاس کردن یا یکسان سازی مقیاس‌ها مجاز نیست. همچنین در اندازه گیری یک مقیاس کیفی ممکن است از مقیاس‌های فاصله‌ای و رتبه‌ای (از چهار مقیاس موجود) استفاده شود. یک روش عمومی در اندازه‌گیری یک شاخص کیفی با مقیاس فاصله‌ای استفاده از مقیاس دوقطبی فاصله‌ای است، به قرار زیر:

۰	۱	۳	۵	۷	۹	۱۰
	خیلی	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	

این اندازه‌گیری بر اساس یک مقیاس ده نقطه‌ای می-باشد به طوری که صفر مشخص کننده می‌نیمم ارزش ممکن و ده مشخص کننده ماکزیمم ارزش از شاخص مورد نظر است. همچنین نقطه وسط نیز نقطه شکست مقیاس بین مساعدها و نا مساعدهاست.

در مرحله بعد سعی می‌شود معیارهای با ابعاد مختلف به معیارهای بدون بعد تبدیل شوند و ماتریس R به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

در مدل تاپسیس معمولاً از فرمول زیر برای بی‌بعد کردن استفاده می‌کنند:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x^2{}_{ij}}} \qquad (۳)$$

در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، ماتریس وزن معیارها به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & w_n \end{bmatrix}$$

ماتریس W یک ماتریس قطری به ابعاد n×n است که فقط عناصر روی قطر اصلی آن غیر صفر و مقدار عناصر مساوی اهمیت بردار مربوطه است.

سپس تصمیم وزن دار از ضرب ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده در ماتریس وزن معیارها بدست می‌آید:

$$V = R \times W \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

مرحله بعد مشخص نمودن راه‌حل ایده‌آل و راه‌حل ایده‌آل منفی، برای گزینه ایده‌آل (A+) و ایده‌آل منفی (A-) خواهیم داشت:

$$A^+ = \{(\max V_{ij} / j \varepsilon J), (\min V_{ij} / j \varepsilon J'); i = 1, 2, \dots, m\}$$
$$A^- = \{(\min V_{ij} / j \varepsilon J), (\max V_{ij} / j \varepsilon J'); i = 1, 2, \dots, m\} \quad (۴)$$

سپس برای هر گزینه، فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضد ایده‌آل به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$d_{i+} = \left\{ \sum_{i=1}^{n} (v_{ij} - v^+_j)^2 \right\}^{0.5} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m$$
$$d_{i-} = \left\{ \sum_{i=1}^{n} (v_{ij} - v^-_j)^2 \right\}^{0.5} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (۵)$$

در روابط فوق اندیس های i و j به ترتیب معرف معیار و گزینه مورد نظر می‌باشند.

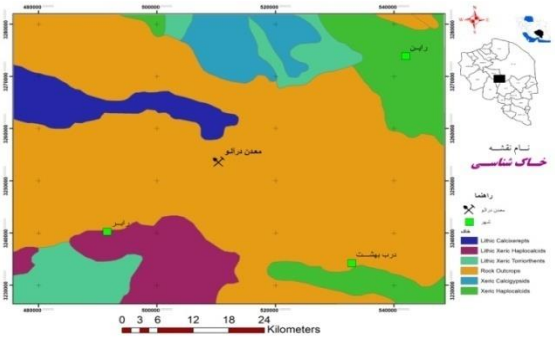
در آخرین مرحله شاخص شباهت (C_{i+}) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{i+} = \frac{d_{i-}}{d_{i+} + d_{i-}} \quad (۶)$$

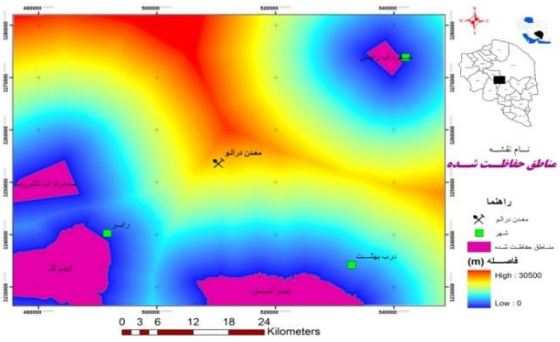
مقدار شاخص شباهت بین صفر و یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه مورد نظر به ایده‌آل مشابه تر باشد مقدار شاخص شباهت آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود.

۴- بحث و نتایج

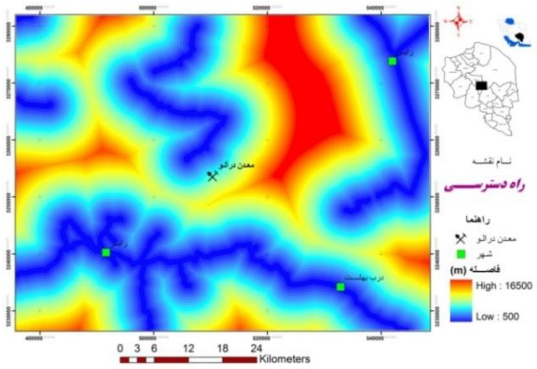
ابتدا نقشه هر یک از پارامترها تهیه و سپس رقومی سازی شدند. سپس رده‌های پارامترهای مورد استفاده به تناسب اهمیت هر پارامتر در احداث سد باطله معدن مس درآلو رتبه-بندی و سپس بدون بعد شدند. در ادامه برای نمونه، از هر دسته یک نقشه آورده شده است(شکل‌های ۲ تا ۶).



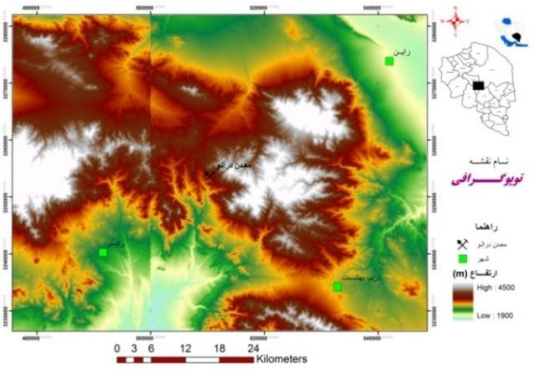
شکل۲- نقشه خاک



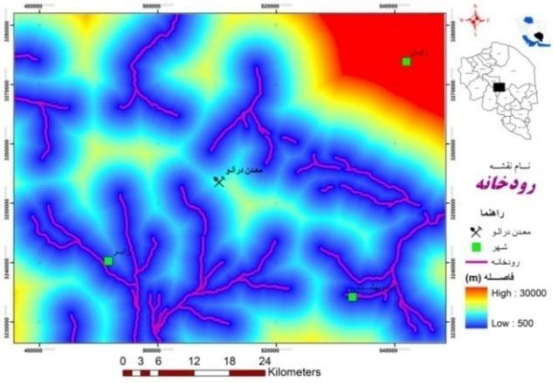
شکل۳- نقشه حریم مناطق حفاظت شده



شکل۴- نقشه حریم راه دسترسی



شکل۵- نقشه ارتفاع

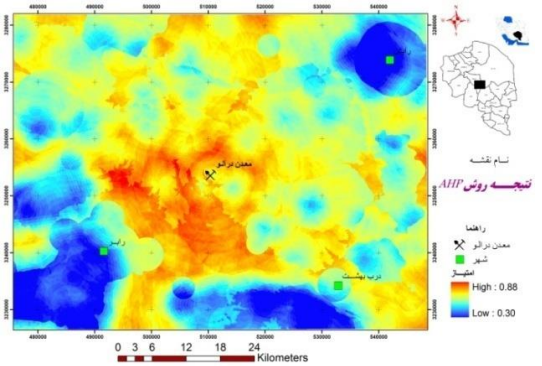


شکل۶- نقشه حریم رودخانه

پس از رتبه‌بندی رده‌های پارامترها مورد استفاده، در مورد پارامتر ها مقایسه زوجی تشکیل شد، همزمان با وزن-دهی به مجموعه‌ها تجزیه و تحلیل ناسازگاری قضاوت‌ها صورت گرفت که همه موارد زیر ۰/۱ بود. در نهایت وزن و اهمیت آنها با استفاده از نرم افزار Expert choice تعیین شد(جدول۲). پس از اعمال وزن‌های مربوطه، نقشه نهایی اولویت بندی مناطق احداث سد باطله با استفاده از روش وزن دهی شاخص ایجاد شد (شکل۷).

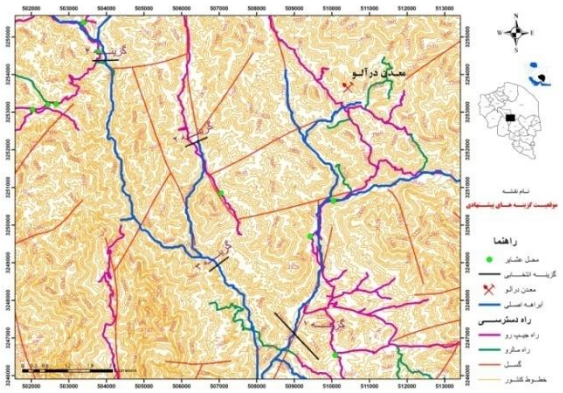
جدول۲- وزن های محاسبه شده با استفاده از روش AHP

معیار	وزن	معیار	وزن
فاصله از کارخانه	۰,۲۵۹۷	کاربری اراضی	۰,۰۴۱۰
مناطق حفاظت شده	۰,۲۳۱۸	اسکان عشایر	۰,۰۳۳۴
پتانسیل معدنی	۰,۱۶۰۳	سنگ شناسی	۰,۰۲۶۰
مناطق مسکونی	۰,۱۲۴۳	جهت شیب	۰,۰۲۲۱
مناطق گردشگری	۰,۱۲۴۳	ارتفاع	۰,۰۱۲۷
گسل	۰,۱۰۵۸	خاک	۰,۰۱۰۲
رودخانه	۰,۰۷۶۵	بارش	۰,۰۰۹۶
خطواره	۰,۰۶۹۶	قنات	۰,۰۰۹۳
راه آهن	۰,۰۶۴۲	آبراهه	۰,۰۰۸۹
جاده	۰,۰۵۵۶	چشمه	۰,۰۰۴۳
شیب	۰,۰۴۱۰	چاه	۰,۰۰۳۷



شکل۷- نقشه نهایی حاصل از روش وزن دهی شاخص

برای انتخاب گزینه‌های مناسب در مناطقی که پیشنهاد شده و با در نظر گرفتن عواملی چون موقعیت معدن، تجهیزات معدن، سازه‌های منطقه، پیش بینی کیفیت و نرخ تولید مورد انتظار پس ماند (بر حسب تن در روز)، عمر مورد انتظار معدن، ترکیب و نرخ تولید باطله‌های معدن، از مناطق پیشنهادی مرحله قبل بازدید صحرایی صورت گرفت. پس از بازدید صحرایی چهار گزینه پیشنهادی برای احداث سد باطله معدن مس درآلو انتخاب شد(شکل۸).



شکل۸- موقعیت گزینه‌های انتخابی احداث سد باطله نسبت به معدن

بعد از اینکه گزینه‌های پیشنهادی مشخص شد، برای اولویت بندی آنها از مدل تاپسیس استفاده شد. در ابتدا شاخص‌های هر یک از گزینه‌های پیشنهادی مشخص شد، به دلایل مشابه بودن بعضی از ویژگی تعدادی از این ویژگی‌ها برای مقایسه گزینه‌ها حذف شد (جدول ۳).

با توجه به ۱۱ شاخص و ۴ گزینه برای رتبه بندی، ابتدا ماتریس تصمیم به ابعاد ۱۱×۴ تعریف گردید. جهت محاسبه امتیاز شاخص‌های کیفی در ماتریس تصمیم، امتیاز هر گزینه بر اساس میانگین هندسی امتیازدهی صورت گرفته توسط کارشناسان بر مبنای مقیاس ۱ تا ۱۰ تعیین گردید. سپس در ادامه ماتریس تصمیم بی‌مقیاس و ماتریس وزن شاخص‌ها محاسبه شد. در نهایت گزینه‌های پیشنهادی رده‌بندی شدند. در این مرحله با توجه به ماتریس تصمیم بی‌مقیاس و ماتریس وزن شاخص‌ها، ماتریس وزن‌دار، حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل محاسبه شد و برای چهار گزینه پیشنهادی فاصله از حل ایده‌آل، فاصله از ضد ایده‌آل و شاخص شباهت با استفاده از روابط ۶ و ۷ بر اساس ۱۱ شاخص محاسبه گردید. جدول شماره ۴ نشانگر مقادیر فاصله از حالت ایده‌آل (d_{i+})، فاصله از ضد ایده‌آل (d_{i-})، شاخص شباهت (C_{i+}) و رتبه چهار گزینه پیشنهادی بر اساس مدل تاپسیس می‌باشد.

جدول۳- وضعیت شاخص‌های گزینه‌های پیشنهادی

شاخص	نوع	واحد	گزینه A_1	گزینه A_2	گزینه A_3	گزینه A_4
ظرفیت مخزن	کمی	متر مکعب	۹۴۰۰۰۰۰۰	۸۳۰۰۰۰۰۰	۶۵۰۰۰۰۰۰	۹۳۰۰۰۰۰۰
طول تاج	کمی	متر	۱۰۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۵۵۰
مساحت رویه سد	کمی	متر مربع	۲۶۰۸۰۰۰	۲۱۰۵۰۰۰	۱۷۵۰۰۰۰	۳۰۸۴۰۰۰
ارتفاع سد	کمی	متر	۵۰	۶۰	۵۰	۴۵
فاصله از معدن	کمی	متر	۶۷۰۰	۴۲۰۰	۵۶۰۰	۶۳۰۰
تغییرات بلندی نسبت به کارخانه	کمی	---	۰,۸۵	۰,۹۳	۰,۸۶	۰,۹۳
وضعیت گسل ها	کیفی	---	بد	بد	نسبتاً خوب	خوب
نزدیکی به محل زندگی انسان ها	کیفی	---	نزدیک	متوسط	متوسط	متوسط
نزدیکی به محل رودخانه	کیفی	---	نسبتاً نزدیک	خوب	خیلی بد	متوسط
مساحت زهکش بالادست	کمی	متر مربع	۴۴۰۰۰۰۰۰	۶۵۰۰۰۰۰	۳۵۲۶۰۰۰۰	۱۸۴۸۰۰۰۰
قابلیت در دید بودن	کیفی	---	بد	خوب	متوسط	متوسط

جدول۴- مقادیر امتیاز و رتبه گزینه‌های پیشنهادی

گزینه	d_{i+}	d_{i-}	C_{i+}	رتبه نهایی
A_1	۰,۲۴۵	۰,۰۶۷	۰,۲۱۵	۳
A_2	۰,۰۴۹	۰,۲۸۳	۰,۸۵۲	۱
A_3	۰,۲۵۳	۰,۰۵۶	۰,۱۸۲	۴
A_4	۰,۰۹۳	۰,۱۹۷	۰,۶۷۷	۲

۵- نتیجه گیری

با توجه به اینکه مطالعه در مورد انتخاب محل سد باطله از جهات گوناگون از قبیل فنی، اقتصادی و زیست محیطی حائز اهمیت است، در نتیجه عوامل زیادی وجود دارد که در تصمیمگیری برای انتخاب محل مؤثر می‌باشند. انتخاب محل بهینه نیاز به شناخت معیارهای مؤثر دارد تا از امکانات و توانایی‌های مناطق مختلف استفاده صحیح و مطلوب به عمل آید. در کشورهایی که با محدودیت منابع و امکانات مواجه هستند، تعیین و شناخت این معیارها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. مهمترین این معیار ها عبارتند از: فاصله از کارخانه فرآوری، مناطق حفاظت شده، پتانسیل معدنی منطقه، مناطق مسکونی و گردشگری، گسل‌ها و خطوارهها، رودخانه و آبراهه‌ها، کاربری اراضی، زمین شناسی، خاک شناسی، راه‌های دسترسی، میزان بارندگی و.... می‌باشند.

انتخاب این فاکتورها و در نتیجه تعداد لایه‌های اطلاعاتی تصمیم‌گیران را به سمت سامانه‌ای سوق می‌دهد که علاوه بر دقت بالا، از نظر سرعت عمل و سهولت انجام عملیات نیز در حد بالایی قرار داشته باشد، لذا جامع نگری در تصمیم‌گیری‌ها و بهره‌گیری از افراد مختلف با مشاغل، تخصص‌ها، تجربیات، سوابق و دیدگاه‌های علمی گوناگون، همراه با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری‌های گروهی و چند معیاره فازی را بیش از پیش ضروری کرده است. به علت قابلیت بالای تکنولوژی سامانه اطلاعات جغرافیایی در مدیریت و تحلیل لایه‌ها می‌توان از از این سامانه برای مکان‌یابی سد باطله نیز بهره برد. سامانه اطلاعات جغرافیایی اگر چه یک سیستم تصمیم‌گیری خودکار نیست، ولی ابزاری برای استخراج از پایگاه داده‌ها، تحلیل و به نقشه در آوردن داده‌ها در پشتیبانی از فرآیند تصمیم‌گیری است. برای مکان‌یابی سد باطله، سامانه اطلاعات جغرافیایی به دو روش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اول، برای ورود، ذخیره، سازمان-دهی و تحلیل داده‌های موجود. دوم، تحلیل فضایی، تجسم و توانایی استخراج اطلاعات از پایگاه داده‌ها.

بر اساس مقایسه های زوجی پارامترها، مهمترین عوامل، پارامتر های فاصله از کارخانه فرآوری، مناطق حفاظت شده و پتانسیل معدنی و کم اهمیت ترین عوامل، پارامتر های فاصله از چاه و چشمه تشخیص داده شدند. با مقایسه گزینه‌های انتخابی با استفاده از روش تاپسیس در نهایت گزینه A_2 مناسب‌ترین محل جهت احداث سد باطله معرفی شد.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از شرکت ملی صنایع مس ایران به دلیل همکاری و حمایت مالی در جهت انجام این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

[1] U. S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste Special Waste Branch; “Design and Evaluation of Tailing Dam”, Technical Report, August 1994.

[2] Bell, F.G. 1983, “Mining Subsidence Engineering”, Springer, New York. p 680.

[3] International Commission on Large Dams (ICOLD), Committee on tailing Dams and Waste Lagoons; 1996 “ A Guide to Tailing Dams and Impoundments -Design, Construction, Use and Rehabilitation”, Bulletin 106.

[4] International Commission on Large Dams (ICOLD), Committee on tailing Dams and Waste Lagoons; 2001, Tailing Dams, Risk of Dangerous Occurrences-Lesson Learnt from Practical Experiences”, Bulletin 121.

[5] Hoppe, R. 1986, “Operating hand book of surface mining”. Vol.2 Mc Graw-Hill Inc. p 583.

[6] Jambor, J. L. and Blows, D. W. 1998, “Theory and applications of mineralogy in environmental stulfide-baring mine waste. In: Short Course Handbook on Ore and Enviromental Mineralogy”. Cabri, L.J. and Vaughan, D. J. (Eds). Mineralogical Association of Canada, 27:367-401.

[7] Bell, Michael A. 2006, “Data Center Facility Site Selection Rating Template, Gartner for IT Leaders”, November.

[8] Dey, P. K., & Ramcharan, E. K. 2008. “Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados”. Journal of Environmental Management, 88(4), 1384-1395.

[9] Hawley, J.R. & Shikaze, K.H. 1971. “The Problem of Acid Mine Drainage in Ontario”. Canadian Mining Journal, 92(6): 82-93

[10] Antonio Rodríguez, A., Francisco Ortega, F., Ramiro Concepción, R., 2013. “A method for the selection of customized equipment suppliers. Expert Systems with Applications”, Volume 40, Issue 4, March 2013, Pages 1170-1176

[11] Tavares, G., Zsigraiová, Z., & Semiao, V. 2011. “Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste”. Waste management, 31(9), 1960-1972.

[12] Hasanzadeh,M,. Danehkar, A., 2014. “Environmental site selection for oil jetty using the analytical network process method case study: Boushehr, Iran”. Ocean Engineering, Volume 77, Pages 55-60

[13] Choudhary,D., Shankar, R., 2012. “ An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India”. Energy, Volume 42, Issue 1, Pages 510-521

[۱۴] "گزارش پایان عملیات اکتشاف کانسار مس درآلو"، اکتشافات و مهندسی توسعه، شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۹.

[15] Von der Heyden, C. J., & New, M. G. 2004. “Groundwater pollution on the Zambian Copperbelt: deciphering the source and the risk”. Science of the Total Environment, 327(1), 17-30.

[16] Langer, M. 1995, “Engineering geology and waste disposal, Bulletin of the international association engineering geology”, Paris, No, 51.

[۱۷] حیدرزاده، نیما؛ "معیارهای مکانیابی محل دفن مواد زائد جامد شهری"، انتشارات سازمان شهرداریهای کشور،۱۳۸۰.

[18] Saaty, T. L., & Vargas, L. G. 1991. “Prediction, projection, and forecasting: applications of the analytical hierarchy process in economics, finance, politics, games, and sports”. Kluwer academic Publishers, 251 p.

[19] Saaty, T.L. 1980. “The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation”. McGraw-Hill, New York, NY, 437 p.

[20] Wagner,E.D. 2002. “Public key infrastructure (PKI) and virtual private network (VPN) compared using a utility function and the analytic hierarchy process (AHP) ”. M.Sc. Thesis,Virginia Polytechnic Institute and State University, 50 pp.

[21] “Scotland County Division of Community Assistance”, 2006, North Carolina Parks and RecreationMaster Plan.

[۲۲] اصغر پور، محمد جواد؛ ۱۳۹۰؛ "تصمیم گیری چند معیاره"، دانشگاه تهران، چاپ نهم،.

[۲۳] پرهیزکار، اکبر؛ غفاری گیلانده، عطا؛ ۱۳۸۵؛"سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاره"، چاپ اول انتشارات سمت .۵۹۸ صفحه