کاربرد روش‌های تصمیم گیری چند معیاره *(AHP-TOPSIS)* در انتخاب و اولویت‌بندی گونه‌های گیاهی مناسب جهت بازسازی معدن مس سونگون

محمد علی فرجودی آهنگری*؛ احمد ادیب**؛ عباس آقاجانی بزازی***؛ امیرحسین بانگیان**؛
مریم شاپوری****

چکیده

وسعت زمین‌های تحت تاثیر فعالیت‌های معدن‌کاری به‌ویژه محل‌های انباشت باطله، روز به روز افزایش می‌یابد. در نتیجه هر روز ضرورت اجرای احیای معادن نیز بیشتر احساس می‌شود. جهت بازسازی معدن، به منظور هر نوع استفاده بعدی از زمین‌های تحت تاثیر و حفاظت از محیط‌زیست منطقه، انتخاب و کاشت گونه‌های گیاهی یکی از مراحل مهم بازسازی است. در این تحقیق، انتخاب گونه گیاهی مناسب برای بازسازی معدن مس سونگون با هدف حفظ محیط‌زیست انجام شده است. برای این کار ابتدا گونه‌های مناسب بر اساس عوامل اصلی (نوع استفاده مجدد از زمین‌های استخراج شده، شرایط اقلیمی منطقه و خصوصیات خاک منطقه) انتخاب شدند.سپس، براساس عوامل موضعی و با کمک پرسشنامه‌هایی که توسط افراد خبره تکمیل گردیدند معیارهای موثر در فرایند تصمیم گیری انتخاب گونه های گیاهی معادن روباز با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن-دهی شدند و در نهایت با کمک روش اولویت بندی ترجیحات بر اساس مشابهت با حل ایده آل (TOPSIS) بهترین گونه‌های گیاهی برای معدن مس سونگون انتخاب گردید. براین اساس گونه‌های درختی اقاقیا، افرا، غان، پیرو، سماق و اوجا برای خاک‌های اسیدی منطقه و گونه‌های گردو، زبان گنجشک و انجیر برای خاک قلیایی و خنثی منطقه به ترتیب اولویت پیشنهاد شدند.

واژه‌های کلیدی: ***بازسازی معادن؛ انتخاب گونه درختی؛ روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره؛ معدن مس سونگون؛ روش TOPSIS***

* کارشناس ارشد استخراج معدن؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
** استادیار گروه معدن؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
*** استادیار گروه معدن؛دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه، سوادکوه، ایران
**** استادیار گروه منابع طبیعی؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه، سوادکوه، ایران

۱- مقدمه

محیط‌زیست و حفظ آن، امروزه به میزان زیادی مورد توجه‌ی کشورهای صنعتی و حتی کشورهای در حال توسعه است. در مناطقی که معادن جدید تاسیس می شود، به جز ترقی وشکوفایی، اثرات زیست محیطی نیز الزاماً وجود خواهد داشت. از این رو عملیات بازسازی به عنوان بخش جدایی ناپذیر معدنکاری مطرح می‌گردد. بازسازی معادن فرآیندی است جهت ایجاد اراضی مفید از معادن متروکه که بتوانند نیازهای منطقه را برآورده کنند. موفقیت برنامه بازسازی به مقدار زیادی به انتخاب گونه گیاهی وابسته است [۱]. ایجاد پوشش گیاهی محل را تثبیت نموده، کاربری زمین قبل از تخریب را حفظ و توسعه‌ی مجموعه‌ی گیاهی طبیعی را تامین و امکان رویش خود به خودی را فراهم خواهد کرد [۲]. تاثیرات منفی فعالیت‌های معدن مس سونگون شامل به هم خوردن چشم انداز منطقه، فرسایش و ته نشینی، کاهش کمیت و کیفیت آب،آلودگی هوا، آلودگی خاک، آلودگی صوتی و همچنین نشست، ضرورت نیاز به بازسازی این معدن را نشان می‌دهد [۳]. هدف از این تحقیق انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب جهت بازسازی معدن مس سونگون می‌باشد تا با انتخاب بهترین گزینه برای جنگل‌کاری معدن، فواید متعددی از جمله حفظ سلامت و احیای محیط زیست، چشم انداز زیبا، محصول متناسب با کاربری جدید زمین، ایجاد رفاه و کسب درآمد برای مردم منطقه را در بر داشته باشد. تحقیقات زیادی در زمینه شرایط و عوامل محدود کننده رشد گیاهان و تاثیر آن‌ها بر تثبیت خاک معدن انجام شده است. Chen و همکاران در سال ۱۹۹۸ به بررسی عامل محدود کننده برای رشد گیاهان در بازسازی معادن پرداختند [۴]. در سال ۲۰۰۶ در تحقیقی توسط Tafi نتیجه گرفته شد که کاهش pH خاک ناشی از معدنکاری و افزایش فلزات و آرسنیک در خاک، از عوامل مضر و محدود کننده در ثبات بازسازی و ایجاد پوشش گیاهی خواهند بود [۵].

در زمینه بازسازی معدن، نوع استفاده مجدد از زمین های استخراج شده و انتخاب گونه گیاهی تحقیقات زیادی انجام گردیده است. جرجانی در سال ۱۳۸۰ نیاز به بازسازی معدن مس سونگون را مورد مطالعه قرار داد [۶]. Soltanmohammadi و همکاران در سال ۲۰۱۰ از دو روش تحلیل سلسله مراتبی و TOPSIS به ترتیب برای وزن دهی و رتبه‌بندی گزینه‌ها به منظور تعیین نوع استفاده مجدد از زمین های معدن کاری شده استفاده کردند [۷]. Bangian و همکاران در سال ۲۰۱۱ برای انتخاب بهترین گزینه برای زمین معدنکاری شده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده نمودند [۸].

۲- انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب جهت بازسازی معادن روباز

در این رابطه عوامل موثر بر انتخاب گونه‌های گیاهی به دو گروه اصلی یا اولیه و موضعی یا ثانویه تقسیم می-شوند. عوامل اصلی، آن دسته از عواملی هستند که گونه‌های گیاهی منتخب قطعاً باید دارای تناسب و هماهنگی لازم با آن‌ها باشند و شامل نوع استفاده مجدد از زمین‌های استخراج شده، شرایط آب و هوایی منطقه و کیفیت خاک منطقه می‌شود. عوامل موضعی، عواملی هستند که شرایط منطقه را شامل می‌شوند و بر اساس آن‌ها گونه‌های گیاهی منتخب نسبت به یکدیگر اولویت‌بندی خواهند شد [۱].

۲-۱- انتخاب اولیه گونه گیاهی براساس عوامل اصلی

انتخاب اولیه‌ی گونه‌های گیاهی برای بازسازی معادن، باید بطور قاطع بر مبنای عوامل اصلی انجام شود. در غیر این‌صورت گونه‌ی گیاهی منتخب دارای هیچ امتیازی برای برنامه‌ی بازسازی معادن نمی‌باشد. در مرحله اول

می‌بایست نوع استفاده مجدد از زمین‌های استخراج شده مشخص گردد. انواع استفاده‌های مجدد از زمین‌های استخراج شده شامل، کشاورزی، ایجاد مرتع، جنگل‌کاری، ایجاد جاذبه‌های توریستی و تفریحی، ساخت و ساز، حیات وحش و دریاچه یا آبگیر است [۷] و [۹].

گونه‌های مورد بررسی در انتخاب اولیه، فقط می‌توانند از گونه‌های گیاهی که با هر یک از موارد استفاده مجدد متناسب هستند، انتخاب شوند. در نتیجه در این مرحله، تنها گونه‌هایی که با نوع استفاده‌ی مجدد زمین، هماهنگی دارند به مرحله‌ی بعد راه می‌یابند. در مرحله‌ی بعد گونه‌های منتخب نسبت به عامل اصلی دوم یعنی شرایط اقلیمی منطقه ارزیابی می‌شوند. شرایط اقلیمی شامل شیب و نوع زمین، روشنایی و تابش آفتاب، آب و هوا، رطوبت، دما، باد و آلاینده های هوا می‌باشد. گونه‌های متناسب با شرایط آب وهوایی محل، انتخاب شده و بقیه گزینه‌ها مردود می‌شوند. در این مرحله گونه‌های بومی منطقه دارای برتری از نظر سازگاری با شرایط آب و هوایی هستند [۱۰]. مشخصات خاک شامل، بافت، pH، رطوبت، شوری، عناصر مغذی و فلزات سنگین به عنوان سومین عامل اصلی باید شناسایی شوند تا بر آن اساس گونه‌های گیاهی مناسب انتخاب شوند در این مرحله گونه‌های انتخاب شده بر اساس عامل اول و دوم نسبت به عامل سوم مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۲-۲ اولویت‌بندی گونه‌های انتخابی بر اساس عوامل موضعی

پس از انتخاب اولیه‌ی گونه‌های گیاهی بر اساس عوامل اصلی، گونه‌های برتر از میان آنها براساس عوامل موضعی انتخاب می‌شوند. برای تعیین عوامل موضعی می‌توان از مطالعات تطبیقی، آمارگیری‌های قبلی و همچنین گروه‌های کارشناسی که درگیر فعالیت‌های اجرایی در زمینه هدف مورد نظر هستند برای شناسایی و دسته‌بندی عوامل موضعی استفاده نمود. این افراد باید با استفاده از دانش خود، انجام مطالعات تکمیلی، تحقیقات میدانی و مصاحبه، اقدامات لازم را انجام دهند و سپس مجموعه عوامل موضعی را به‌صورت دقیق و قابل‌توجیه دسته‌بندی و تعریف نمایند [۱۱]. اولویت‌بندی درمرحله‌ی ثانویه به منظور تشخیص گونه‌های مناسب‌تر با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP-TOPSIS نسبت به عوامل موضعی و امتیازدهی گونه‌های مختلف نسبت به یکدیگر، انجام می‌گیرد.

۳- اولویت‌بندی گونه‌ها با روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP-TOPSIS

ابتدا معیارهای موثر در فرآیند تصمیم‌گیری انتخاب مناسب‌ترین گونه گیاهی برای باز سازی معادن روباز که در واقع همان عوامل موضعی هستند، انتخاب می‌شوند. سپس وزن این معیارها با استفاده از روش AHP محاسبه می‌گردد و در نهایت با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS گزینه ها اولویت‌بندی می شوند.

۳-۱ وزن دهی به روش AHP

تحلیل سلسله مراتبی)AHP(، ابزاری است که بطور گسترده در تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده و نخستین بار توسط ساعتی مطرح شد [۱۲]. اساس کار این روش را مقایسات زوجی بین معیارها تشکیل می-دهد که این مقایسات زوجی بین معیارها با استفاده از پرسشنامه‌هایی که توسط کارشناسان و افراد خبره تکمیل می‌شوند، انجام می‌گیرد. برای وزن‌دهی معیارها ابتدا یک ماتریس تصمیم گیری تشکیل می‌شود که معیارهای تصمیم‌گیری سطرها و ستون‌های این ماتریس را تشکیل می‌دهند. قطر اصلی این ماتریس برابر یک و برای مقایسه معیارها با یکدیگر از جدول امتیازدهی مقایسات زوجی معیارها استفاده می‌شود (جدول ۱). یکی از مزایای اصلی روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آوردن نرخ ناسازگاری می‌باشدکه این نرخ باید کمتر از ۰/۱

باشد. ماتریس‌های مقایسه زوجی باید سازگار باشند تا اعتبار پرسشنامه مورد تأیید قرار گیرد. چنانچه ناسازگاری ماتریس‌ها تأیید شود پرسشنامه‌ها دوباره توزیع می‌شود [۱۳].

جدول (۱): امتیاز دهی مقایسات زوجی

بیان کیفی	مقدار عددی
همانند یکدیگر	۱
به مقدار بسیار کمی ارجح تر	۳
کمی ارجح تر	۵
خیلی ارجح تر	۷
فوق العاده ارجح تر	۹
مقادیر حد واسط	۲و۴و۶و۸

۳-۲ روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS

مدل TOPSIS توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱، پیشنهاد شد این مدل، یکی از بهترین مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است و از آن، استفاده زیادی می‌شود. در این روش m گزینه به وسیله n شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اساس این تکنیک، بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی، باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد [۱۳]. پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری گزینه‌ها نسبت به معیارها، این ماتریس با کمک رابطه ۱ نرمال می‌شود.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}} \qquad (۱)$$

در این رابطه، a_{ij} درایه‌های ماتریس تصمیم، n_{ij} درایه‌های ماتریس بی‌مقیاس شده و m تعداد گزینه است.

از حاصلضرب ماتریس نرمال‌شده در ماتریس قطری وزن‌ها، ماتریس بی‌مقیاس موزون به‌دست می‌آید. در مرحله بعد راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی با توجه به این نکته که بهترین مقادیر برای شاخص‌های مثبت، بزرگترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی، کوچک‌ترین مقادیر است و بدترین مقادیر برای شاخص‌های مثبت، کوچکترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی بزرگترین مقادیر است، به دست می‌آیند. فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت (dj^+) و فاصله ی هر گزینه تا ایده‌آل منفی (dj^-)، براساس رابطه ۲ و ۳ محاسبه می‌شود. در مرحله نهایی نزدیکی نسبی یک گزینه به راه‌حل ایده‌آل (CL*) از رابطه ۴ به‌دست می‌آید که با توجه به نتایج آن، گزینه‌ای که CL* آن بزرگتر باشد در اولویت خواهد بود.

$$d_j^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^+)^2} \qquad (۲)$$

$$d_j^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2} \qquad (۳)$$

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \qquad (٤)$$

۴- مطالعه موردی معدن مس سونگون

معدن مس سونگون یکی از بزرگترین معادن مس کشور است که در شمال غربی کشور و در ۱۳۰ کیلومتری شمال تبریز و ۳۰ کیلومتری شهرستان ورزقان در منطقه‌ای کوهستانی واقع شده است. این معدن بصورت روباز استخراج می‌شود و ذخیره معدن ۳۸۴ میلیون تن مس با عیار متوسط ۰/۶۵۵ می‌باشد. این منطقه دارای طول جغرافیایی ۴۶ درجه و۴۳دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی است و شیب کلی معدن ۳۰ تا ۳۸ درجه است. جهت غالب وزش باد در این منطقه جنوب غربی است. ارتفاع در بلندترین نقطه‌ی معدن ۲۴۶۰ و در پست‌ترین نقطه ۱۷۰۰ متر از سطح دریای آزاد است و همچنین میزان بارندگی نیز در منطقه ۳۵۰ تا۴۰۰ میلیمتر در سال قابل پیش بینی است [۱۴]. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی معدن مس سونگون نشان داده می‌شود [۳].

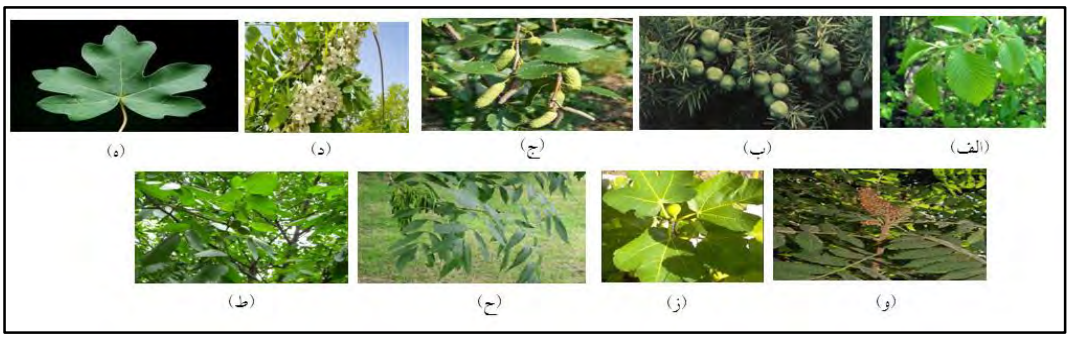
شکل (۱): موقعیت جغرافیایی معدن مس سونگون

۴-۱ بررسی عوامل اصلی و انتخاب گونه‌ها براساس این عوامل در معدن مس سونگون

در تحقیقی با عنوان "انتخاب مورد استفاده‌ی مجدد زمینهای استخراج شده با روش فرآیندتحلیل سلسله مراتبی، مطالعه‌ی موردی در معدن مس سونگون" جنگل‌کاری به عنوان گزینه‌ی مناسب برای استفاده‌ی مجدد زمین‌های استخراج شده دراین معدن انتخاب شد [۹]. با توجه به آثار زیست‌محیطی مخرب معدن مس سونگون هدف اصلی و عمده جنگل‌کاری در این تحقیق، جنگل‌کاری زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود و جنگل‌کاری اقتصادی در اولویت بعدی می‌باشد. شرایط آب و هوایی منطقه، کوهستانی است. دمای سالیانه در گرم‌ترین فصل ۱۵ + و در سردترین فصل ۲۰- درجه‌ی سانتیگراد و رطوبت نسبی۵۰ تا ۸۵ درصد می‌باشد. میزان بارندگی نیز در منطقه ۳۵۰ تا ۴۰۰ میلیمتر در سال قابل پیش‌بینی است در نتیجه انتخاب و پیشنهاد گونه‌های گیاهی برای طرح مورد نظر، بر اساس شرایط جوی فوق الذکر، متناسب و سازگار با دوره‌ی سرمای طولانی، مقاومت در برابر یخبندان، رطوبت نسبی زیاد، دوره‌ی کوتاه گرما، باران نسبتاً کم و بارش زیاد برف انجام می‌شود [۸]. با توجه به اینکه انتخاب گونه درختی برای بازسازی تمام نقاط معدن مس سونگون مورد نظر است. لذا خاک این منطقه به دو گونه می‌باشد. در خاک نوع اول با توجه به ترکیب کانی‌شناسی کانسار در قسمت‌های سوپرژن و هیپوژن، وجود عناصر سمی و مضر همچون پیریت و پیروتیت و مولیبدن در کانسار و سنگ‌های در برگیرنده آن محرز می‌باشد. در مورد ذخایر مس پورفیری عموماً ترکیب کانی شناسی باطله مشابه ترکیب کانی شناسی کانسنگ بوده و تنها درصد مس آن پایین‌تر است. لذا می‌توان انتظار داشت که دمپ‌های باطله نیز حاوی درصد بالایی از پیریت بوده و خاصیت اسیدزایی داشته باشند. بنابراین مشکل در امر بازسازی دمپ‌های باطله معدن، اسیدی بودن باطله‌هاست. دمپ‌های باطله کانه‌آرایی از دیدگاه بازسازی، از دو جهت قابل

بررسی است. یکی وجود مواد شیمیایی مصرف شده در فرآیند فلوتاسیون و دیگری وجود عناصر مضر و سمی در کانسنگ که پس از عملیات کانه‌آرایی به محل‌های دمپ باطله کارخانه منتقل می‌شود. کانی‌های مس موجود در کانسنگ از نوع سولفیدی و شامل کالکوپیریت، کوولیت و تتراهدریت می‌باشند. باطله‌ها نیز عموماً شامل پیریت، پیروتیت و گانگ سیلیکاته (میکا و مسکویت) و رس می‌باشد کلکتور مورد استفاده در فلوتاسیون سولفیدهای مس عموماً گزنتات‌ها می‌باشند. پیریت پس از انتقال به سد باطله باعث تولید اسید شده و حلالیت فلزات سمی را افزایش می‌دهد [۶]. از آن‌جا که مهمترین کانی‌های فلزی موجود در کانسارسونگون، کالکوپیریت، بورنیت، مالاکیت، پیریت، مولیبدنیت، مگنتیت، گالن و اسفالریت می‌باشند حضور فلزاتی همچون سرب و روی، آهن، همراه مس و مولیبدن قابل پیش بینی است [۸]. با توجه به ویژگی‌های بیان شده برای این نوع خاک گونه‌های گیاهی پیشنهادی بر اساس سازگاری و تحمل شرایط اسیدی انتخاب می‌شوند. همچنین گونه‌های انتخابی باید در مقابل عناصر سنگین و مضر مقاوم باشند.

خاک نوع دوم شامل محدوده‌هایی چون حواشی طرح بازسازی، زمین‌های تحت تأثیر فعالیت معدن‌کاری در بخش‌های تعمیرگاه‌ها، دپوآهن‌آلات و قراضه‌ها، پارکینگ ماشین‌آلات، حواشی مسیرها و جاده‌ها و زیربنای ساختمان‌های موقت و تخریبی، احتمال وجود آلاینده‌های موجود در خاک‌های نوع اول کم است. به همین دلیل طبیعت خاک این مناطق خنثی و یا قلیایی پیش بینی می‌گردد. با توجه به سه عامل اصلی بررسی شده گونه‌های درختی مناسب و سازگار با شرایط بیان شده برای خاک‌های نوع اول درختان اوجا، پیرو، غان، اقاقیا، افرا، سماق و برای خاک نوع دوم درختان انجیر، زبان گنجشک و گردو انتخاب شدند. این درختان در شکل ۲ نشان داده می‌شوند [۱۵]. شرایط و مشخصات قابلیت رشد گونه‌های درختی مناسب برای استفاده در بازسازی معادن توسط اصانلو بررسی شده است که انتخاب درختان پیشنهادی با توجه به سه عامل اصلی در معدن مس سونگون بر اساس آن انجام گرفته است [۱]. مقاومت گونه‌های درختی انتخابی در برابر عناصر سنگین در جدول ۲ نشان داده می‌شود.



شکل (۲): الف) اوجا ب) پیرو ج) غان د) اقاقیا ه) افرا و) سماق ز) انجیر ح)زبان گنجشک ط)گردو

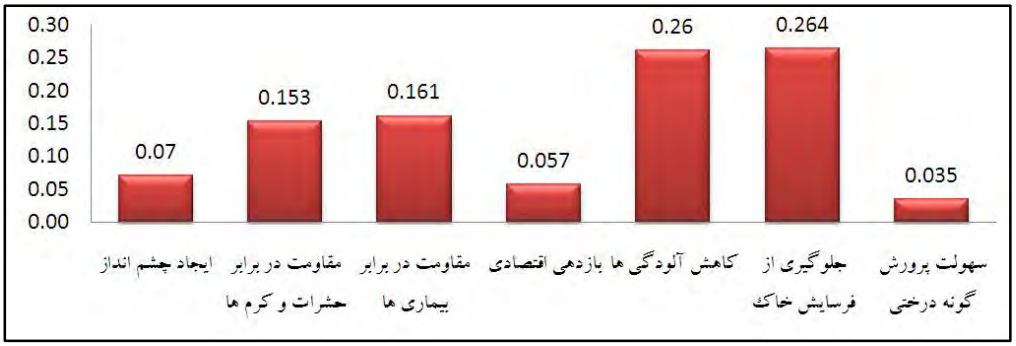
۴-۲ انتخاب عوامل موضعی و وزن دهی به این عوامل به روش AHP

انتخاب عوامل موضعی بر اساس تلفیقی از عوامل موضعی استفاده شده در تحقیقات قبلی و عوامل پیشنهاد شده توسط کارشناسان علوم جنگل و مرتع‌داری انجام شده است. معیارهای انتخاب شده با توجه به بیشترین داده آماری از تلفیق انجام شده، شامل ایجاد چشم انداز، مقاومت در برابر حشرات، مقاومت در برابر بیماری‌ها، بازدهی اقتصادی، کاهش آلودگی‌ها، جلوگیری از فرسایش خاک و سهولت در پرورش گونه درختی هستند. برای وزن‌دهی به این عوامل، از مقایسات زوجی بین معیارها استفاده شده است و مقایسات زوجی با استفاده از ۸ پرسش‌نامه که توسط کارشناسان جنگل‌داری و جنگل‌شناسی، مرتع‌داری و کارشناس احیای اکوسیستم‌های

تخریب یافته تکمیل شده‌اند، انجام گرفت. پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی جامع و به‌هنجار معیارها با استفاده از رابطه ۱و۲، وزن نسبی هریک از معیارهای با استفاده از رابطه ۳ به دست آمد که در نمودار ۱ نمایش داده می‌شود. نرخ ناسازگاری عدد ۰۱۱/. به دست آمد که نشان‌دهنده وجود سازگاری بالایی بین مقایسات زوجی انجام گرفته، است.

جدول ۲- نام علمی و مقاومت گونه های انتخاب در برابر عناصر سنگین [۱۶]

اندام جذب کننده	نوع عنصر سنگین	خانواده	نام علمی	گونه
ساقه	مس، آرسنیک، سدیم، آهن، منگنز، نیکل، سرب و روی	اولماسه	*Ulmus minor*	اوجا
ریشه, ساقه و برگ	مس، نیکل، منگنز و کروم	کوپرسوساسه	*Juniperuscommunis*	پیرو
برگ	مس، مولیبدن، روی، آهن و منگنز	بتولاسه	*Betulapendula*	غان
برگ	مس،سرب، روی، آرسنیک وسدیم	فاباسه	*RobiniaPseudocacia*	اقاقیا
ریشه, ساقه و برگ	مس	آسراسه	*Acer campestre*	افرا
برگ	مس، آهن،روی،سرب، روی، منگنز، کبالت، نیکل و کروم	موراسه	*Ficuscarica*	انجیر
برگ	مس، سرب، روی، آرسنیک و سدیم	اوله آسه	*Fraxinus excelsior*	زبان گنجشک
برگ	مس، روی، منیزیم، مولیبدن، منگنز، آهن	یوگلانداسه	*Juglansregia*	گردو



نمودار (۱): وزن نسبی عوامل موضعی به روش AHP

۴-۳ اولویت‌بندی گونه‌های درختی انتخابی با روش TOPSIS

ماتریس تصمیم‌گیری با کمک کارشناسان جنگل‌داری، جنگل‌شناسی و مرتع‌داری آگاه به شرایط منطقه معدن مس سونگون و مطالعه‌ی شرایط رشد و مشخصات گونه‌های درختی و درختچه‌ای تکمیل گردید. با توجه به کیفی بودن عناصر ماتریس، این عناصر با استفاده از مقیاس دو قطبی فاصله‌ای به شاخص‌های کمی تبدیل شدند و سپس ماتریس تصمیم‌گیری بی مقیاس به‌دست آمد که در جداول ۳ و ۴ نشان داده می‌شود.

در مرحله بعد ماتریس تصمیم بی‌مقیاس وزنی که از حاصل‌ضرب اوزان شاخص‌ها (به دست آمده به روش ترکیبی) در ماتریس نرمال شده به دست می‌آید، محاسبه شد که جداول ۵ و۶ نشان دهنده ماتریس تصمیم بی‌مقیاس موزون در خاک نوع اول و خاک نوع دوم می‌باشند.

جدول (۳): ماتریس تصمیم‌گیری بی مقیاس شده برای خاک نوع اول

نام گونه ها	ایجاد چشم انداز	مقاومت در برابر حشرات	مقاومت در برابر بیماری	بازدهی اقتصادی	کاهش آلودگی	جلوگیری از فرسایش خاک	سهولت پرورش
اوجا	۰/۴۲۵	۰/۲۵۵	۰/۲۰۴	۰/۴۳۱	۰/۴۴۵	۰/۱۸۵	۰/۴۵۴
پیرو	۰/۴۹۶	۰/۵۰۹	۰/۴۰۸	۰/۲۸۷	۰/۳۹۰	۰/۳۰۸	۰/۳۲۴
غان	۰/۵۶۷	۰/۳۱۸	۰/۳۴۰	۰/۵۰۳	۰/۳۹۰	۰/۴۳۱	۰/۳۲۴
اقاقیا	۰/۲۸۴	۰/۵۷۳	۰/۶۱۲	۰/۱۴۴	۰/۵۰۱	۰/۴۹۲	۰/۵۸۳
افرا	۰/۳۵۴	۰/۳۱۸	۰/۲۷۲	۰/۵۷۴	۰/۴۴۵	۰/۵۵۴	۰/۴۵۴
سماق	۰/۲۱۳	۰/۳۸۲	۰/۴۷۶	۰/۳۵۹	۰/۲۲۳	۰/۳۶۹	۰/۱۹۵

جدول (۴): ماتریس تصمیم گیری بی مقیاس شده برای خاک نوع دوم

نام گونه	ایجاد چشم انداز	مقاومت در برابر حشرات	مقاومت در برابر بیماری	بازدهی اقتصادی	کاهش آلودگی	جلوگیری از فرسایش	سهولت پرورش
انجیر	۰/۳۸۴	۰/۶۵۵	۰/۶۲۹	۰/۳۴۷	۰/۵۷۴	۰/۴۹۲	۰/۶۴۶
زبان گنجشک	۰/۶۹۰	۰/۵۷۴	۰/۵۵۰	۰/۵۲۰	۰/۴۹۲	۰/۵۷۴	۰/۵۷۴
گردو	۰/۶۱۴	۰/۴۹۲	۰/۵۵۰	۰/۷۸۰	۰/۶۵۵	۰/۶۵۵	۰/۵۰۳

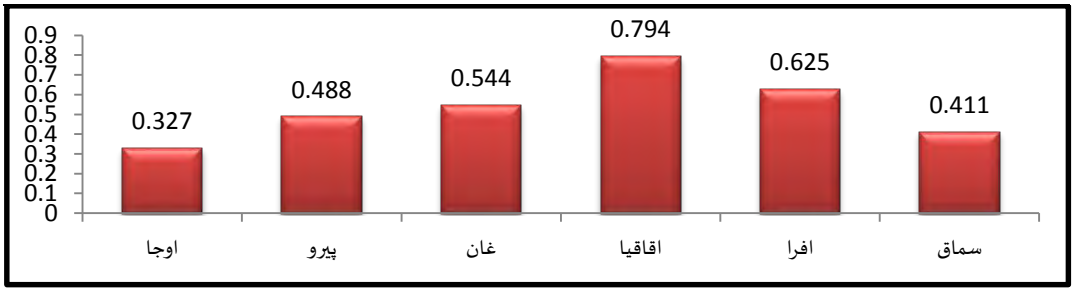
جدول (۵): ماتریس بی مقیاس موزون برای خاک نوع اول

نام گونه ها	ایجاد چشم انداز	مقاومت در برابر حشرات	مقاومت در برابر بیماری	بازدهی اقتصادی	کاهش آلودگی	جلوگیری از فرسایش خاک	سهولت پرورش
اوجا	۰/۰۳۰	۰/۰۳۹	۰/۰۳۳	۰/۰۲۵	۰/۱۱۶	۰/۰۴۹	۰/۰۱۶
پیرو	۰/۰۳۵	۰/۰۷۸	۰/۰۶۶	۰/۰۱۶	۰/۱۰۱	۰/۰۸۱	۰/۰۱۱
غان	۰/۰۴۰	۰/۰۴۹	۰/۰۵۵	۰/۰۲۹	۰/۱۰۱	۰/۱۱۴	۰/۰۱۱
اقاقیا	۰/۰۲۰	۰/۰۸۸	۰/۰۹۹	۰/۰۰۸	۰/۱۳۰	۰/۱۳۰	۰/۰۲۰
افرا	۰/۰۲۵	۰/۰۴۹	۰/۰۴۴	۰/۰۳۳	۰/۱۱۶	۰/۱۴۶	۰/۰۱۶
سماق	۰/۰۱۵	۰/۰۵۸	۰/۰۷۷	۰/۰۲۱	۰/۰۵۸	۰/۰۹۸	۰/۰۰۷

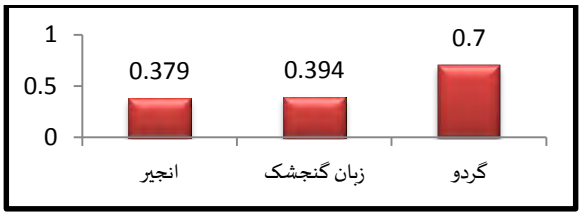
جدول(۶): ماتریس بی مقیاس موزون برای خاک نوع دوم

نام گونه	ایجاد چشم انداز	مقاومت در برابر حشرات	مقاومت در برابر بیماری	بازدهی اقتصادی	کاهش آلودگی	جلوگیری از فرسایش	سهولت پرورش
انجیر	۰/۰۲۷	۰/۱۰۰	۰/۱۰۱	۰/۰۲۰	۰/۱۵۰	۰/۱۳۰	۰/۰۲۳
زبان گنجشک	۰/۰۴۸	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹	۰/۰۳۰	۰/۱۲۸	۰/۱۵۱	۰/۰۲۰
گردو	۰/۰۴۳	۰/۰۷۵	۰/۰۸۹	۰/۰۵۰	۰/۱۷۰	۰/۱۷۳	۰/۰۱۸

پس از تعیین راه حل ایده‌آل مثبت و منفی و فاصله هر یک از گزینه‌ها تا ایده‌آل‌ها، در نهایت نتایج اولویت‌بندی گونه‌های درختی انتخابی برای بازسازی معدن مس سونگون با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS در نمودار۲ و ۳ نمایش داده می‌شود.



نمودار۲: امتیاز نسبی گونه های درختی انتخابی برای خاک نوع اول



نمودار۳: امتیاز نسبی گونه های درختی انتخابی برای خاک نوع دوم

۵. نتیجه گیری

شیوه AHP که مبتنی بر تصمیم‌گیری‌های گروهی هست می‌تواند به عنوان راهکار جدید استفاده شود زیرا این روش علاوه بر در نظرگرفتن و بررسی فاکتورها و معیارهای مختلف، از دانش و مهارت افراد خبره به عنوان یک بعد مدیریتی در فرآیند تصمیم‌گیری استفاده می‌کند. همچنین این روش توانایی و قابلیت بالایی در مدل-سازی مسایل واقعی را دارد و برای استفاده‌کنندگان قابل فهم و آسان می‌باشد.

مهم‌ترین تاثیرات منفی معدن مس سونگون مربوط به تخریب محیط‌زیست است و به عبارتی دیگر هدف عمده جنگل‌کاری در معدن مس سونگون، حفظ محیط‌زیست می‌باشد. با توجه به اینکه حفظ محیط‌زیست هدف اصلی در نظر گرفته شد لذا معیارهای کاهش آلودگی‌ها و جلوگیری از فرسایش خاک از دیدگاه کارشناسان به عنوان مهم‌ترین معیارها در نظر گرفته شدند. می‌توان گفت که از بین گونه‌های درختی انتخابی برای این منطقه، گونه‌هایی که از لحاظ کاهش آلودگی‌ها و جلوگیری از فرسایش خاک موفق‌تر بودند در اولویت هستند. درخت اقاقیا از درختان بومی منطقه به شمار نمی‌رود ولی با توجه به این که نسبت به درختان دیگر از لحاظ حفظ محیط‌زیست موفق‌تر می‌باشد به عنوان گونه برتر برای این منطقه انتخاب شد. در بین گونه‌های بومی منطقه نیز درخت افرا با توجه به هدف حفظ محیط‌زیست در اولویت است.

منابع

[۱] اصانلو، م. (۱۳۸۷). بازسازی معادن. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[۲] هوسترولید، و; کوچتا، م. (۱۳۸۳). طراحی و برنامه ریزی معادن روباز. ترجمه: ع. ا. خدایاری، م. یاوری شهرضا، تهران: دانشگاه صنایع و معادن ایران

[۳] سمیعی، ع; آقازاده، و; خدادادی، ا. (۱۳۸۶). بررسی اثرات زیست محیطی معدن مس سونگون, بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین, تهران: وزارت صنایع و معادن سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

[4] - Chen, H., Zheng, C., & Zhu, Y. (1998). Phosphorus: a limiting factor for restoration of soil fertility in a newly reclaimed coal mined site in Xuzhou, China. Land Degradation & Development, 9(2), 115-121

[5] - Tafi, T. C. (2006). Reclamation effectiveness at three reclaimed abandoned mine sites in Jefferson County, Montana (Doctoral dissertation, MONTANA STATE UNIVERSITY Bozeman)

[۶] جرجانی، ا. (۱۳۸۰). نیاز به بازسازی در معدن مس سونگون اهر. اولین کنفرانس معادن روباز ایران. کرمان: دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[7] - Soltanmohammadi, H., Osanloo, M., &Aghajani.B, A. (2010). An analytical approach with a reliable logic and a ranking policy for post-mining land-use determination.Land Use Policy, 27(2), 364-372.

[8] - Bangian, A. H., &Osanloo, M. (2008). Multi attribute decision model for plant species selection in mine reclamation plans: Case study sungun copper mine. Post-Mining, February6-8, Nancy, France. pp. 1-11

[9] - Akbari, A. D., Osanloo, M., &Hamidian, H. (2006). Selecting post mining land use through analytical hierarchy processing method: case study in Sungun copper open pit mine of Iran. In 15th international symposium of MPES, Torino, Italy .pp. 1-12.

[01]- Redente, E.F., &Baker,D.A.,(1996).Dierctrevegetation of mine tailing: A case study in Colorado .In Planning, Rehabilitation and Treatment of Disturbed lands, Billings Symposium, pp.183-191

[۱۱]- آزادی نجات، س.، جلالی، س. غ.، قدسی پور، س. (۱۳۸۸). کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در ارزیابی جنگل کاری های شهری به منظور انتخاب گونه درختی مناسب در مناطق خشک و نیمه خشک، سومین همایش ملی جنگل، کرج: انجمن جنگلبانی ایران.

[01]- Saaty, T.L., (1980). The Analytic Hierarchy Process, New York, Ny: MC Grow Hill

[۱۳]- مومنی، م. (۱۳۸۹). مباحث نوین تحقیق در عملیات. تهران، انتشارات دانشگاه تهران

[04]- Aghajani. B. A., Osanloo, M., &Soltanmohammadi, H. (2008). Loading-haulage equipment selection in open pit mines based on fuzzy-TOPSIS method.GospodarkaSurowcamiMineralnymi, 24.

[۱۵]- فرجودی آهنگری، م.(۱۳۹۲). انتخاب گونه گیاهی مناسب برای بازسازی معادن روباز با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره TOPSIS وELECTRE و مقایسه نتایج آن ها (معدن مس سونگون). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

[۱۶]- تمرتاش، ر.، طاطیان، م.، بخشنده لاریمی، س.، شکریان، ف. (۱۳۸۸). مطالعه درختان و درختچه های جاذب فلزات سنگین در نواحی خزری. سومین همایش و نمایشگاه تخصصی محیط زیست. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.