Environmental Education and Sustainable Development
First national conference on: Environmental Science & Engineering and Sustainable Development
2014, Tehran, Iran
انجمن علمی آموزش محیط زیست و توسعه پایدار ایران
۱۶و ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۲
اولین کنفرانس ملی علوم و مهندسی محیط زیست و توسعه پایدار

انتخاب و اولویت‌بندی گونه‌های گیاهی مناسب جهت بازسازی معدن مس سونگون با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره AHP-ELECTRE

محمد علی فرجودی آهنگری[1*]، احمد ادیب[1]، عباس آقاجانی بزازی[2]

۱*- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، گروه مهندسی معدن، تهران، ایران

Mfarjodi239@yahoo.com

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سوادکوه، گروه مهندسی معدن، سوادکوه، ایران

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، شامل نوع استفاده مجدد از زمین‌های استخراج شده، شرایط اقلیمی منطقه و خصوصیات خاک منطقه انتخاب شدند و سپس گونه‌های انتخاب شده، براساس عوامل موضعی و با کمک پرسشنامه‌هایی که توسط افراد خبره تکمیل گردیدند، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن‌دهی و در نهایت با کمک روش ELECTRE اولویت‌بندی شدند. 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.

کلمات کلیدی: بازسازی معادن، انتخاب گونه درختی، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، روش تحلیل سلسله مراتبی، روش ELECTRE

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 (اصانلو،۱۳۸۷). 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 (هوسترولید و کوچتا، ۱۳۸۳). 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 نشست، ضرورت نیاز به بازسازی این معدن را نشان می‌دهد (سمیعی و همکاران، ۱۳۸۶).

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. Holl در سال ۲۰۰۲ بازیابی پوشش گیاهی را در درازمدت مورد بررسی قرار داد. 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. فاکتورهای محدود کننده رشد گیاهان روی خاک معدنکاری شده توسط Krüger و Carrick در سال ۲۰۰۷ مورد بررسی قرار گرفتند. Mendez و Maier در سال ۲۰۰۸ گیاه پالایی و پوشش گیاهی را برای بازسازی سد باطله معادن مورد بررسی قرار دادند. بازسازی خاک معدن استخراج شده باکمک پوشش گیاهی توسط Sheoran و همکاران در سال ۲۰۱۰ مورد مطالعه قرار گرفت.

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. قوانین و مقررات لازم برای بازسازی زمین های معدن در کشورهای در حال توسعه توسط Cao در سال ۲۰۰۷ ارائه گردید. Hendrychová در سال ۲۰۰۸ عوامل ایجاد موفقیت در بازسازی را به صورت مطالعه‌ی موردی ارزیابی نمود. 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. Bangian و همکاران در سال ۲۰۱۱ برای انتخاب بهترین گزینه برای زمین معدنکاری شده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده نمودند. Alavi و Alinejad در سال ۲۰۱۱ برای انتخاب گونه گیاهی مناسب برای بازسازی معدن مس سونگون از روش های تصمیم گیری چند معیاره TOPSIS و AHP فازی استفاده کردند.

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 می‌شوند. 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 (اصانلو،۱۳۸۷).

۲-۱ انتخاب اولیه گونه گیاهی براساس عوامل اصلی

انتخاب اولیه‌ی گونه‌های گیاهی مورد بررسی 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 (Soltanmohammadi et al. 2010; Akbari et al. 2007).

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 مرحله ی 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 (Redente & Baker, 1996). 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 می گیرند.

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 می شوند. 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 در این زمینه به انجام برسانند و سپس مجموعه عوامل موضعی را به‌صورت دقیق و قابل‌توجیه دسته‌بندی و تعریف نمایند (آزادی نجات و همکاران، ۱۳۸۸). اولویت‌بندی درمرحله‌ی ثانویه به منظور تشخیص گونه‌های مناسب‌تر با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP-ELECTRE نسبت به عوامل موضعی و امتیازدهی گونه‌های مختلف نسبت به یکدیگر، انجام می گیرد.

۳- اولویت‌بندی گونه‌ها با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP-ELECTRE

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 ELECTRE 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 (Saaty,1980). اساس کار این روش را مقایسات زوجی بین معیارها تشکیل می‌دهد که این مقایسات زوجی بین معیارها با استفاده از پرسشنامه‌هایی که توسط کارشناسان و افراد خبره تکمیل می‌شوند، انجام می‌گیرد. در روش تحلیل سلسله مراتبی اگر اهمیت یک معیار(i) نسبت به معیار دیگر(j) برابر a_{ij} باشد در آن صورت اهمیت معیار(j) نسبت به معیار(i) برابر $\frac{1}{a_{ij}}$ می‌باشد. همچنین اهمیت هر معیار نسبت به همان معیار در ماتریس تصمیم‌گیری برابر یک می‌باشد. برای وزن‌دهی معیارها ابتدا یک ماتریس n*n تشکیل می‌شود که معیارهای تصمیم‌گیری سطرها و ستون‌های این ماتریس را تشکیل می‌دهند. قطر اصلی این ماتریس برابر یک است و برای مقایسه معیارها با یکدیگر از جدول امتیازدهی مقایسات زوجی معیارها استفاده می‌شود (مومنی،۱۳۸۹). ماتریس مقایسات زوجی جامع، بی مقیاس و وزن نسبی هر یک از معیارها به ترتیب با استفاده از رابطه های ۱ الی۳ به دست می‌آید (Saaty,1980).

$$x'_{ij} = (\prod_{l=1}^{k} x_{ijl})^{\frac{1}{k}} \quad i,j = 1,2,...,n \quad i \neq j \qquad (۱)$$

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \qquad (۲)$$

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} n_{ij}}{n} \qquad (۳)$$

i شماره تصمیم گیرنده ، k تعداد تصمیم گیرندگان, (i,j) شاخص‌ها یا گزینه‌های مورد مقایسه است.

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 (مومنی، ۱۳۸۹).

۳-۲ روش تصمیم‌گیری چند معیاره ELECTRE

روش ELECTRE یکی از مهم‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندشاخصه و از دسته مدل‌های جبرانی است که در آن‌ها تبادل بین شاخص‌ها صورت می‌گیرد. کاربرد ELECTRE که روش مجموعه‌های هماهنگ نیز نامیده می‌شود بر مبنای مفهوم روابط غیررتبه ای است. اهمیت این تکنیک نسبت به دیگر روش‌ها در ایجاد تعامل با تصمیم‌گیرنده است. پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری گزینه‌ها نسبت به معیارها، این ماتریس با کمک رابطه ۴ نرمال می‌شود.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}} \qquad (۴)$$

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

در مرحله بعد، از طریق ضرب ماتریس اوزان شاخص‌ها (وزن به دست آمده به روش AHP) در ماتریس نرمال شده، ماتریس بی‌مقیاس وزنی (V) به دست می‌آید که با کمک ماتریس بی‌مقیاس وزنی مجموعه هماهنگ و مجموعه ناهماهنگ تشکیل می‌شود. مجموعه هماهنگ مشتمل بر کلیه شاخص‌هایی از ماتریس بی‌مقیاس وزنی خواهد بود که در آن‌ها، گزینه A_k بر گزینه A_L به ازای آن‌ها مطلوبیت بیشتری داشته باشد و مجموعه ناهماهنگ نیز شامل شاخص‌هایی است که در آن‌ها گزینه A_K نسبت به گزینه A_L مطلوبیت کمتری داشته باشد و در صورت منفی بودن معیارها تعاریف گفته شده معکوس می‌شوند (اصغرپور، ۱۳۸۵). در مرحله بعد ماتریس هماهنگ و ناهماهنگ تشکیل می‌شوند. ماتریس هماهنگ (I_{KL})، ماتریسی است به ابعاد $m*m$ که قطر آن فاقد عنصر و سایر عناصر از مجموع وزن‌های به دست آمده برای شاخص‌های متعلق به مجموعه هماهنگ حاصل می شود. ماتریس ناهماهنگ نیز از رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$NI_{KL} = \frac{Max|V_{KJ} - V_{KJ}| J \in D_{KL}}{Max|V_{KJ} - V_{KJ}| J \in all\ j} \qquad (۵)$$

در مرحله بعد برای تشکیل ماتریس هماهنگ موثر و ناهماهنگ موثر، ابتدا حد آستانه تصمیم‌گیری ماتریس هماهنگ موثر ($\bar{I}$) و مقدار آستانه تصمیم‌گیری ماتریس ناهماهنگ موثر($\overline{NL}$) با استفاده از رابطه‌های ۶ و ۷ به دست می‌آیند.

$$\bar{I} = \frac{m(m-1)}{\sum_{L=1}^{m}\sum_{K=1}^{m} I_{KL}} \qquad (۶)$$

چنانچه هر عنصر ماتریس I_{KL} بزرگتر از آستانه باشد، آن عنصر واحد در ماتریس H (ماتریس هماهنگ موثر) مقدار یک و در غیراین صورت صفر خواهد گرفت.

$$\overline{NI} = \frac{m(m-1)}{\sum_{L=1}^{m}\sum_{K=1}^{m} NI_{KL}} \qquad (۷)$$

چنانچه هر عنصر ماتریس N_{KL} بزرگتر از آستانه باشد، آن عنصر واحد در ماتریس G (ماتریس ناهماهنگ موثر) مقدار صفر و در غیر این صورت مقدار یک خواهد گرفت.

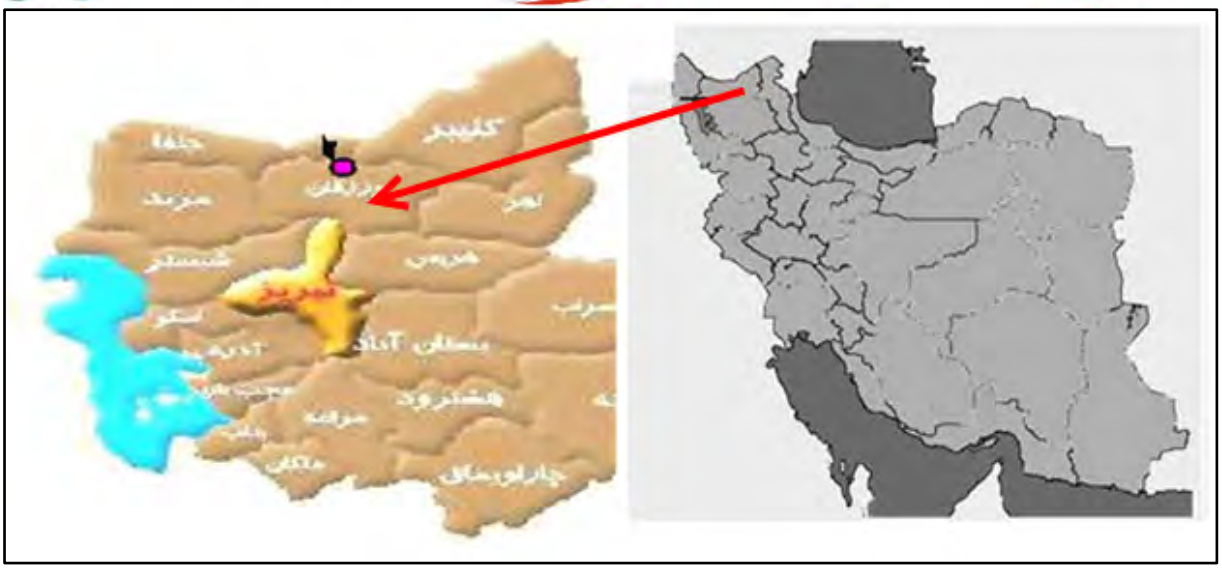
ماتریس F عناصر مشترک دو ماتریس H و G می باشند و از حاصلضرب عناصر متناظر این دو ماتریس به دست می‌آید. این ماتریس نشان دهنده ترتیب برتری‌های نسبی از گزینه‌ها می‌باشد بدان معنی که اگر $F_{kl}=1$ باشد یعنی گزینه K بر گزینه L هم از نظر معیار هماهنگی و هم از نظر معیار برتری دارد. گزینه مطلوب و برتر گزینه‌ای است که ستون آن دارای حداکثر صفر یا سطر آن دارای حداکثر یک باشد (مومنی،۱۳۸۹).

٤- 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 ۳۰کیلومتری شهرستان ورزقان در منطقه‌ای کوهستانی واقع شده است. این معدن بصورت روباز استخراج می‌شود و ذخیره معدن ۳۸۴ میلیون تن مس با عیار متوسط ۶۵۵/. می‌باشد (Aghajani et al., 2008). 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 می‌باشد. ارتفاع در بلندترین نقطه‌ی معدن ۲۴۶۰ و در پست‌ترین نقطه ۱۷۰۰ متر از سطح دریای آزاد است، دمای سالیانه در گرم‌ترین فصل ۱۵ + و در سردترین فصل ۲۰- درجه‌ی سانتیگراد است. همچنین میزان بارندگی نیز در منطقه ۳۵۰ تا ۴۰۰ میلیمتر در سال قابل پیش بینی است (Bangian&Osanloo, 2008). در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی معدن مس سونگون نشان داده می‌شود (سمیعی و همکاران، ۱۳۸۶).

٤-۱ 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 (Akbari et al. 2007). 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.

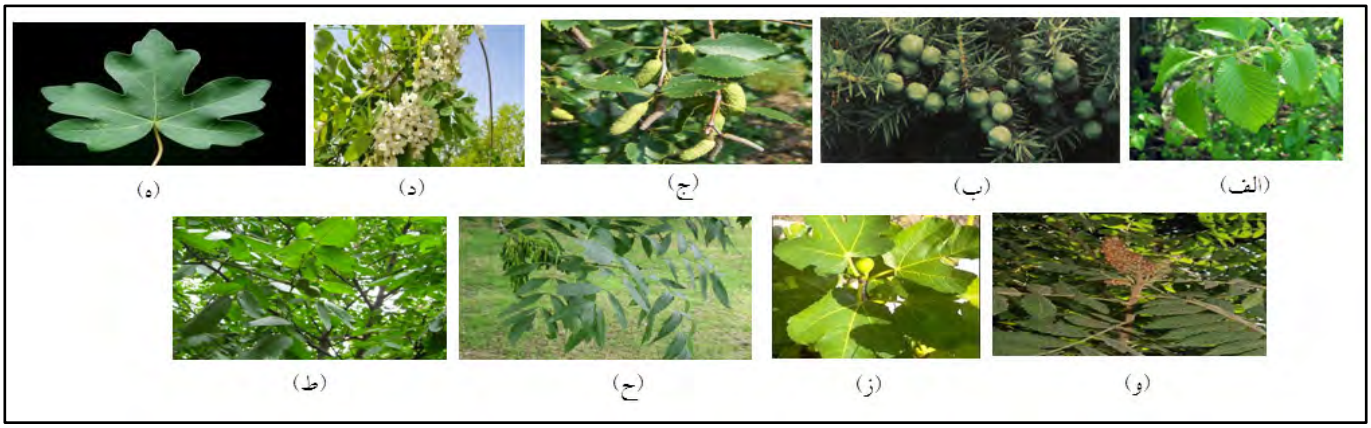


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی معدن مس سونگون

شرایط آب و هوایی منطقه، کوهستانی است. دمای سالیانه در گرم‌ترین فصل ۱۵ + و در سردترین فصل ۲۰- درجه‌ی سانتیگراد و رطوبت نسبی ۵۰ تا ۸۵ درصد می‌باشد. همچنین 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 (Bangian&Osanloo, 2008).

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 (جرجانی،۱۳۸۰). 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 (Bangian&Osanloo, 2008).

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، زمین-های 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 (فرجودی آهنگری، ۱۳۹۲).



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

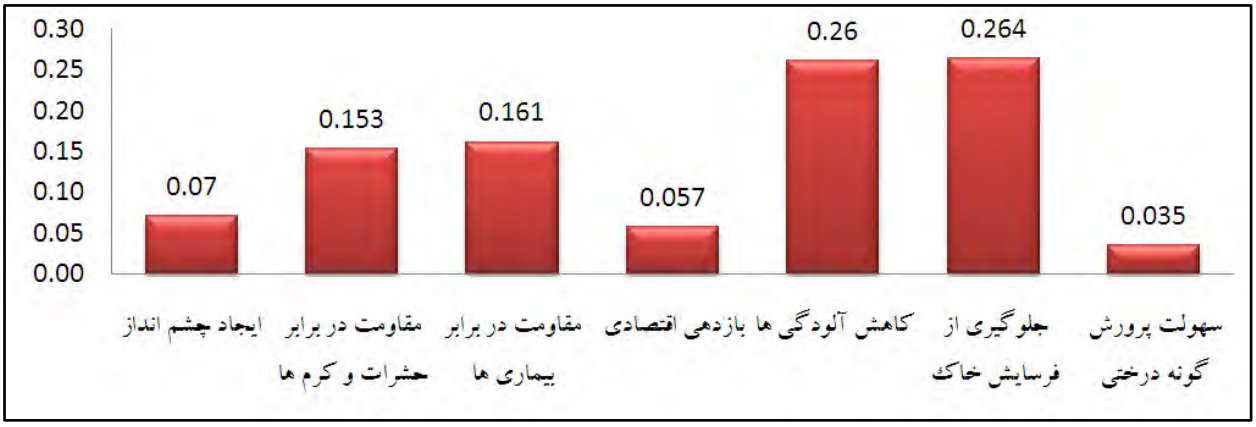
اصانلو(۱۳۸۷)، شرایط و مشخصات قابلیت رشد گونه‌های درختی مناسب برای استفاده در بازسازی معادن را بررسی کرد که انتخاب درختان پیشنهادی با توجه به سه عامل اصلی در معدن مس سونگون بر اساس آن انجام گرفته است. مقاومت گونه‌های درختی انتخابی در برابر عناصر سنگین در جدول ۱ نشان داده می‌شود (تمرتاش و همکاران، ۱۳۸۸).

جدول ۱- نام علمی و مقاومت گونه های انتخاب در برابر عناصر سنگین

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

٤-٢ 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.



نمودار ۱- وزن نسبی عوامل موضعی به روش AHP

٤-٣ اولویت‌بندی گونه‌های درختی انتخابی با روش ELECTRE

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 در جدول ۲ و ۳ نشان داده می‌شود.

جدول ۲- ماتریس تصمیم‌گیری 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	۶	۴	۳	۶	۸	۳	۷
پیرو	۷	۸	۶	۴	۷	۵	۵
غان	۸	۵	۵	۷	۷	۷	۵
اقاقیا	۴	۹	۹	۲	۹	۸	۹
افرا	۵	۵	۴	۸	۸	۹	۷
سماق	۳	۶	۷	۵	۴	۶	۳

جدول ۳-ماتریس تصمیم گیری 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	۵	۸	۸	۴	۷	۶	۹
زبان گنجشک	۹	۷	۷	۶	۶	۷	۸
گردو	۸	۶	۷	۹	۸	۸	۷

پس از تشکیل ماتریس تصمیم نرمال شده با کمک رابطه ۵ و ماتریس تصمیم بی مقیاس وزنی که از حاصل ضرب اوزان شاخص‌ها (به دست آمده به روش AHP) در ماتریس نرمال شده محاسبه شد، مجموعه هماهنگ و مجموعه ناهماهنگ و ماتریس هماهنگ و ماتریس ناهماهنگ به دست آمدند. مقادیر حد آستانه برای ماتریس هماهنگ مطابق با رابطه ۶ (۵۲۵/. برای خاک نوع اول و ۵۷۱/. برای خاک نوع دوم) و مقادیر حد آستانه برای ماتریس ناهماهنگ مطابق با رابطه ۷ (۷۲۶/. برای خاک نوع اول و ۶۴۳/. برای خاک نوع دوم) به‌دست آمدند. ماتریس هماهنگ موثر با توجه به این نکته که چنانچه هر عنصر ماتریس هماهنگ بزرگتر از آستانه باشد،آن عنصر در ماتریس هماهنگ موثر مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر خواهد گرفت، تشکیل شد و ماتریس ناهماهنگ موثر با توجه به این نکته که چنانچه هر عنصر ماتریس ناهماهنگ بزرگتر از آستانه باشد، آن عنصر در ماتریس ناهماهنگ موثر مقدار صفر و در غیر این صورت مقدار یک خواهد گرفت، تشکیل شد. ماتریس کلی که عناصر مشترک دو ماتریسH و G می‌باشند از حاصل‌ضرب عناصر متناظر این دو ماتریس به دست آمد. ماتریس کلی برای خاک نوع اول و دوم در جداول ۴ و ۵ نشان داده می‌شود.

جدول ۴- ماتریس کلی برای خاک نوع اول

ماتریس هماهنگ	اوجا	پیرو	غان	اقاقیا	افرا	سماق	تعداد یک در سطر
اوجا	–	۰	۰	۰	۰	۰	۰
پیرو	۱	–	۰	۰	۰	۰	۱
غان	۱	۰	–	۰	۰	۱	۲
اقاقیا	۱	۱	۱	–	۱	۱	۵
افرا	۱	۱	۱	۰	–	۱	۴
سماق	۰	۰	۰	۰	۰	–	۰

جدول ۵- ماتریس کلی برای خاک نوع دوم

تعداد یک در سطر	گردو	زبان گنجشک	انجیر	ماتریس ناهماهنگ
۰	۰	۰	–	انجیر
۰	۰	–	۰	زبان گنجشک
۲	–	۱	۱	گردو

گزینه مطلوب و برتر گزینه‌ای است که ستون آن دارای حداکثر صفر یا سطر آن دارای حداکثر یک باشد. بنابراین درختان اقاقیا، افرا، غان، پیرو، (سماق = اوجا) برای خاک نوع اول و درختان گردو و (انجیر = زبان گنجشک) برای خاک نوع دوم به ترتیب اولویت انتخاب شدند.

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 مدل‌سازی 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.از آنجایی که دو شاخص کاهش آلودگی‌ها و جلوگیری از فرسایش خاک مهم‌ترین شاخص برای اولویت‌بندی گونه‌های درختی انتخاب شدند، در وزن‌دهی معیارها به روش AHP، این دو معیار بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. 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

- اصانلو، م. (۱۳۸۷). *بازسازی معادن*. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
-اصغر پور، م. (۱۳۸۵). *تصمیم گیری های چند معیاره*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران
- 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.
- 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.
- جرجانی، ا. (۱۳۸۰). *نیاز به بازسازی در معدن مس سونگون اهر*. اولین کنفرانس معادن روباز ایران. کرمان: دانشگاه شهید باهنر کرمان.

- 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

- 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

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

- هدایتی،م.(۱۳۷۹). *سیر تحول جنگلکاری در ایران*. مجله جنگل و مرتع، شماره پنجاه و دوم، صفحه ۳۹-۲۴

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

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

- 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.

- Alavi, I., Alinejad, R. H. (2011). Comparison of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods for Plant Species Selection (Case study: Reclamation Plan of Sungun Copper Mine; Iran). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5*(12), 1104-1113.

- 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

- Holl, K. D. (2002). Long-term vegetation recovery on reclaimed coal surface mines in the eastern USA. *Journal of Applied Ecology*, *39*(6), 960-970.

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

- 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.

- Sheoran, V., Sheoran, A.S., &Poonia.P. (2010). Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review,International Journal of Soil, *Sediment and Water,3* (2), 1-20

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

- 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

- Hendrychová, M. (2008). Reclamation success in post-mining landscapes in the Czech Republic: a review of pedological and biological studies. *Journal of Landscape Studies*, *1*, 63-78.

- 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

- Carrick, P. J., &Krüger, R. (2007). Restoring degraded landscapes in lowland Namaqualand: Lessons from the mining experience and from regional ecological dynamics.*Journal of Arid Environments, 70*(4), 767-781.

- Cao, X. (2007). Regulating mine land reclamation in developing countries: the case of China. *Land Use Policy, 24*(2), 472-483.

- Mendez, M. O., & Maier, R. M. (2008). Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments—an emerging remediation technology.*Environmental Health Perspectives*, *116*(3), 278.