فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

۱۹۸-۱۸۵

مقاله پژوهشی

انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای بازسازی معدن مس سونگون با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره ترکیبی AHP-SMARTER-TOPSIS

عباس آقاجانی بزازی[۱]، احمد ادیب[۲]، مریم شاپوری[۳*]، محمد علی فرجودی آهنگری[۲] و امیرحسین بانگیان تبریزی[۲]

[۱] گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

[۲] گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

[۳] گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سوادکوه، سوادکوه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۲۵

آقاجانی بزازی، ع.، ا. ادیب، م. شاپوری، م.ع. فرجودی آهنگری و ا.ح. بانگیان تبریزی. ۱۴۰۱. انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای بازسازی معدن مس سونگون با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره ترکیبی AHP-SMARTER-TOPSIS. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۲): ۱۹۸-۱۸۵.

سابقه و هدف: وسعت زمین‌های تحت تأثیر فعالیت‌های معدن‌کاری بویژه محل‌های انباشت باطله، روز به روز افزایش می‌یابد. در نتیجه هر روز ضرورت اجرای احیای معادن نیز بیشتر احساس می‌شود. جهت بازسازی معدن، به‌منظور هر نوع استفاده بعدی از زمین‌های تحت تأثیر و حفاظت از محیط‌زیست منطقه، انتخاب و کاشت گونه‌های گیاهی یکی از مرحله‌های مهم بازسازی است.

مواد و روش‌ها: 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 براساس عامل‌های اصلی، شامل نوع استفاده دوباره از زمین‌های استخراج شده، شرایط اقلیمی منطقه و ویژگی‌های خاک منطقه انتخاب شدند و سپس گونه‌های انتخاب شده، براساس عامل‌های موضعی و با کمک پرسش‌نامه‌هایی که توسط افراد خبره تکمیل گردیدند، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و همچنین روش روش رتبه بندی ساده چند معیاره (SMARTER) وزن‌دهی و در نهایت با کمک روش اولویت بندی براساس شباهت به راه حل ایده آل (TOPSIS)، اولویت‌بندی شدند.

نتایج و بحث: 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.

نتیجه‌گیری: 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، به‌عنوان گونه برتر برای این منطقه انتخاب شد. در بین گونه‌های بومی منطقه

* Correspopnding Author: *Email Address*. m_shapoori@iausk.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs. 2021.1067
http://dorl.net/dor/ 20.1001.1.17351324.1401.20.2.7.8

نیز درخت افرا با توجه به هدف حفظ محیط‌زیست در اولویت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره، تحلیل سلسله مراتبی، انتخاب گونه درختی، بازسازی معادن، SMARTER TOPSIS.

مقدمه

محیط‌زیست و حفظ آن، امروزه به میزان زیادی مورد توجه کشورهای صنعتی و حتی کشورهای در حال توسعه است. در منطقه‌هایی که معادن جدید آماده بهره‌برداری می‌شود، به جز ترقی و شکوفایی، اثرهای محیط زیستی نیز ناگزیر وجود خواهد داشت. از این رو عملیات بازسازی به‌عنوان بخش جدایی‌ناپذیر معدنکاری مطرح می‌گردد. بازسازی معادن فرآیندی است جهت ایجاد زمین‌های مفید از معادن متروکه که بتوانند نیازهای منطقه را برآورده کنند. موفقیت برنامه بازسازی به مقدار زیادی به انتخاب گونه گیاهی وابسته است (Lyle, 1986). برای موفقیت برنامه بازسازی بایستی در ابتدا پوشش گیاهی محل را تثبیت نموده، کاربری زمین قبل از تخریب را حفظ و توسعه مجموعه گیاهی طبیعی را تامین و امکان رویش خود به خودی را فراهم نمود (Hustrulid *et al.*, 2013). تأثیرهای منفی فعالیت‌های معدن مس سونگون شامل بر هم خوردن چشم‌انداز منطقه، فرسایش و ته‌نشینی، کاهش کمیت و کیفیت آب، آلودگی هوا، آلودگی خاک، آلودگی صوتی و نشست، ضرورت نیاز به بازسازی این معدن را نشان می‌دهد (Bangian *et al.*, 2012). هدف از این تحقیق، انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب جهت بازسازی معدن مس سونگون است تا با انتخاب بهترین گزینه برای جنگل‌کاری معدن، فایده‌های زیادی از جمله حفظ سلامت و احیای محیط‌زیست، چشم‌انداز زیبا، محصول متناسب با کاربری جدید زمین، ایجاد رفاه و کسب درآمد برای مردم منطقه را در بر داشته باشد.

تحقیق‌های زیادی در زمینه شرایط و عامل‌های محدود کننده رشد گیاهان و تأثیر آن‌ها بر تثبیت خاک معدن انجام شده است. در سال (1998) Chen *et al.* به بررسی عامل محدود کننده برای رشد گیاهان در بازسازی معادن پرداختند. در مطالعه موردی دیگری (2002) Holl بازیابی پوشش گیاهی را در درازمدت مورد بررسی قرار داد. در تحقیقی نتیجه گرفته شد که کاهش pH خاک ناشی از معدن‌کاری و افزایش فلزها و آرسنیک در خاک، از عامل‌های مضر و محدود کننده در ثبات بازسازی و ایجاد پوشش گیاهی خواهند بود(Carrick and Kruger, 2007). در تحقیق دیگری گیاه پالایی و پوشش گیاهی، برای بازسازی سد باطله معادن مورد بررسی قرار داده شد (Mendez and Maier, 2008). بازسازی خاک معدن استخراج شده با کمک پوشش گیاهی توسط (2010) Sheoran *et al.* مورد مطالعه قرار گرفت.

در زمینه بازسازی معدن، نوع استفاده دوباره از زمین‌های استخراج شده و انتخاب گونه گیاهی تحقیق‌های زیادی انجام گردیده است. در تحقیق دیگری (2006) Akbari *et al.* نیاز به بازسازی معدن مس سونگون را مورد مطالعه قرار داد. قوانین و مقررات لازم برای بازسازی زمین‌های معدن در کشورهای در حال توسعه در سال ۲۰۰۷ ارائه گردید (Cao, 2007). در مطالعه دیگری Hendrychová(2008) عامل‌های ایجاد موفقیت در بازسازی را به‌صورت مطالعه موردی ارزیابی نمود. در تحقیق دیگری (2010) Soltanmohammadi *et al.* از دو روش تحلیل سلسله مراتبی و TOPSIS به‌ترتیب برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی گزینه‌ها به‌منظور تعیین نوع استفاده دوباره از زمین‌های معدن‌کاری شده استفاده کردند. در مطالعه دیگری (۲۰۱۱) Bangian *et al.* برای انتخاب بهترین گزینه زمین معدن‌کاری شده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده نمودند. محققانی در سال ۲۰۱۱ برای انتخاب گونه گیاهی مناسب برای بازسازی معدن مس سونگون از روش‌های تصمیم‌گیری TOPSIS و AHP فازی

استفاده کردند (Alavi and Alinejad, 2011).

انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب جهت بازسازی معادن روباز

در این رابطه عامل‌های مؤثر بر انتخاب گونه‌های گیاهی به دو گروه اصلی یا اولیه و موضعی یا ثانویه تقسیم می‌شوند. عامل‌های اصلی، آن دسته از عامل‌هایی هستند که گونه‌های گیاهی منتخب به‌طور قطع باید دارای هماهنگی لازم با آن‌ها باشند و شامل نوع استفاده دوباره از زمین‌های استخراج شده، شرایط آب و هوایی منطقه و کیفیت خاک منطقه می‌شود. عامل‌های موضعی، عامل‌هایی هستند که شرایط منطقه را شامل می‌شوند و براساس آن‌ها گونه‌های گیاهی منتخب نسبت به یکدیگر اولویت‌بندی خواهند شد (Lyle, 1986).

انتخاب اولیه گونه گیاهی براساس عامل‌های اصلی

انتخاب اولیه گونه‌های گیاهی مورد بررسی برای بازسازی معادن، باید به‌طور قاطع بر مبنای عامل‌های اصلی انجام شود. در غیر این‌صورت گونه گیاهی منتخب دارای هیچ امتیازی برای برنامه‌ی بازسازی معادن نمی‌باشد. در مرحله اول باید نوع استفاده دوباره از زمین‌های استخراج شده مشخص گردد. انواع استفاده‌های دوباره از زمین‌های استخراج شده شامل، کشاورزی، ایجاد مرتع، جنگل‌کاری، ایجاد جاذبه‌های توریستی و تفریحی، ساخت و ساز، حیات وحش و دریاچه یا آبگیر است (Akbari *et al.*, 2006; Soltanmohammadi *et al.*, 2010). گونه‌های مورد بررسی در انتخاب اولیه، فقط می‌توانند از گونه‌های گیاهی که با هر یک از موارد استفاده مجدد از زمین معدنکاری شده متناسب هستند، انتخاب شوند. در نتیجه در این مرحله، تنها گونه‌هایی که با نوع استفاده دوباره زمین، هماهنگی دارند به مرحله بعد راه می‌یابند. در مرحله 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 آلاینده‌های هوا می‌باشد. گونه‌های متناسب با شرایط آب وهوایی محل، انتخاب شده و بقیه گزینه‌ها مردود می‌شوند (Behdarvand *et al.*, 2010). در این مرحله گونه‌های بومی منطقه دارای برتری از نظر سازگاری با شرایط آب و هوایی می‌باشند. ویژگی‌های خاک شامل، بافت، pH، رطوبت، شوری، عناصر مغذی و فلزهای سنگین به‌عنوان سومین عامل اصلی باید شناسایی شوند تا بر آن اساس گونه‌های گیاهی مناسب انتخاب شوند در این مرحله گونه‌های انتخاب شده براساس عامل اول و دوم نسبت به عامل سوم مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

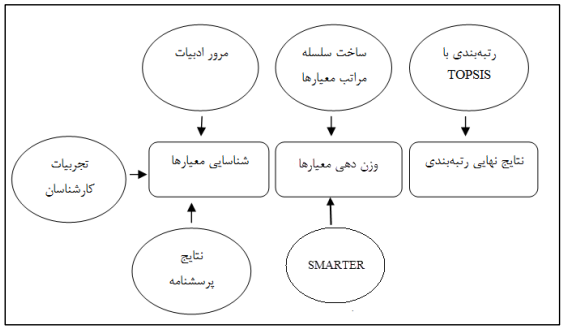
اولویت‌بندی گونه‌های انتخابی براساس عامل‌های موضعی

پس از انتخاب اولیه گونه‌های گیاهی براساس عامل‌های اصلی، گونه‌های برتر از میان آن‌ها براساس عامل‌های 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، تحقیق‌های میدانی و مصاحبه، اقدام‌های لازم را در این زمینه به انجام برسانند و در نهایت مجموعه عامل‌های موضعی را به‌صورت دقیق و قابل‌توجیه دسته‌بندی و در نهایت تعریف نمایند (Tzeng and Huang, 2011; Azadi Nejat *et al.*, 2009). اولویت‌بندی درمرحله ثانویه به‌منظور تشخیص گونه‌های مناسب‌تر با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره ترکیبی AHP-SMARTER-TOPSIS نسبت به عامل‌های موضعی و امتیازدهی گونه‌های مختلف نسبت به یکدیگر، انجام می‌گیرد.

اولویت‌بندی گونه‌ها با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره ترکیبی AHP-SMARTER-TOPSIS

ابتدا معیارهای مؤثر در فرآیند تصمیم‌گیری انتخاب مناسب‌ترین گونه گیاهی برای بازسازی معادن روباز که در واقع همان عامل‌های موضعی هستند، انتخاب می‌شوند.

سپس وزن این معیارها با استفاده از روش AHP و SMARTER محاسبه می‌گردد و در نهایت با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS گزینه‌ها اولویت‌بندی می‌شوند. فرایند استفاده از روش ترکیبی AHP-SMARTER-TOPSIS در شکل ۱ نمایش داده می‌شود.



شکل ۱- مدل AHP-SMARTER-TOPSIS

Fig. 1- AHP-SMARTER-TOPSIS model

وزن دهی به روش AHP

تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، ابزاری است که به‌طور 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 مقایسه‌های 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 $1/a_{ij}$ است. 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 مقایسه‌های زوجی معیارها استفاده می‌شود (Taha, 2017). ماتریس مقایسه‌های زوجی جامع، بی مقیاس و وزن نسبی هر یک از معیارها به ترتیب با استفاده از رابطه های ۱و ۲ و۳ به‌دست می‌آید (Saaty, 1980).

$$a_{ij} = (\prod_{l=1}^{k} a_{ijl})^{\frac{1}{k}} \; i,j = 1,2,\dots,ni \neq j \qquad (۱)$$

l شماره تصمیم گیرنده، k تعداد تصمیم گیرندگان و i و j به ترتیب معرف سنجه‌ها و گزینه‌های مورد مقایسه است.

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

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

یکی از مزیت‌های اصلی روش تحلیل سلسله مراتبی به‌دست آوردن نرخ ناسازگاری است که 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 (Taha, 2017).

روش رتبه بندی ساده چند معیاره (SMARTER)

این روش توسط Edwards در سال ۱۹۷۷ به‌عنوان روشی برای وزن‌دهی معیارها و همچنین رتبه‌بندی گزینه‌ها پیشنهاد گردید (Edwards, 1977). از افراد تصمیم‌گیرنده در این روش درخواست می‌شود تا براساس اهمیت معیارها آن‌ها را از بدترین به بهترین رتبه‌بندی کنند. سپس عدد ۱۰ به بدترین معیار اختصاص می‌یابد و سپس اعداد بزرگتر از ۱۰ به سایر معیارها به‌طور نسبی و نسبت به بدترین معیار تخصیص می‌یابد. در انتها وزن‌ها به نحوی نرمالیزه می‌شوند که مجموع آن‌ها برابر با یک گردد. Edwards

و Barron (۱۹۹۴) به معایب روش SMART اشاره کردند و این روش را بهبود داده و روش SMARTER را پیشنهاد دادند که در این روش از تکنیک میانگین حسابی بهره گرفتند و وزن معیارها را از رابطه ۴ محاسبه نمودند:

$$w_i = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\frac{1}{k} \qquad (۴)$$

که در رابطه بالا n برابر تعداد معیارها است.

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 به‌وسیله n سنجه 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 (Taha, 2017). پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری گزینه‌ها نسبت به معیارها، این ماتریس با کمک رابطه ۵ نرمال می‌شود.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}} \qquad (۵)$$

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 سنجه‌های مثبت، بزرگترین مقادیر و برای سنجه‌های منفی، کوچک‌ترین مقادیر است و بدترین مقادیر برای سنجه‌های مثبت، کوچکترین مقادیر و برای سنجه‌های منفی بزرگترین مقادیر است، به‌دست می‌آیند. فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت (dj^+) و فاصله هر گزینه تا ایده‌آل منفی (dj^-)، براساس رابطه ۶ و ۷ محاسبه می‌شود.

$$d_j^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^+)^2} \qquad (۶)$$

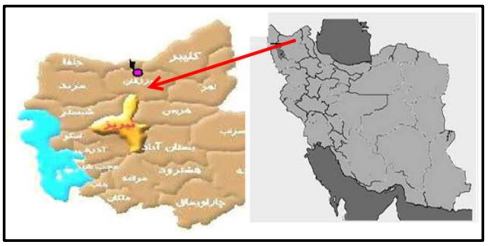
$$d_j^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^-)^2} \qquad (۷)$$

در مرحله نهایی نزدیکی نسبی یک گزینه به راه‌حل ایده‌آل (CL^*) از رابطه ۸ به‌دست می‌آید که با توجه به نتایج آن، گزینه‌ای که CL^* آن بزرگتر باشد در اولویت خواهد بود.

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \qquad (۸)$$

مواد و روش‌ها

معدن مس سونگون یکی از بزرگترین معدن‌های 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 به‌صورت روباز استخراج می‌شود و ذخیره معدن ۳۸۴ میلیون تن مس با عیار متوسط ۰/۶۵۵ است (Bazzazi *et al.*, 2008; Azimi, 2009). این منطقه دارای طول جغرافیایی ۴۶ درجه و۴۳ دقیقه 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 نقطه 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 تا۴۰۰ میلیمتر در سال قابل پیش بینی است (Bangian and Osanloo, 2008). در شکل ۲ موقعیت جغرافیایی معدن مس سونگون نشان داده می‌شود (Bangian *et al.*, 2012).



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی معدن مس سونگون
Fig. 2- Geographical location of Sungun copper mine

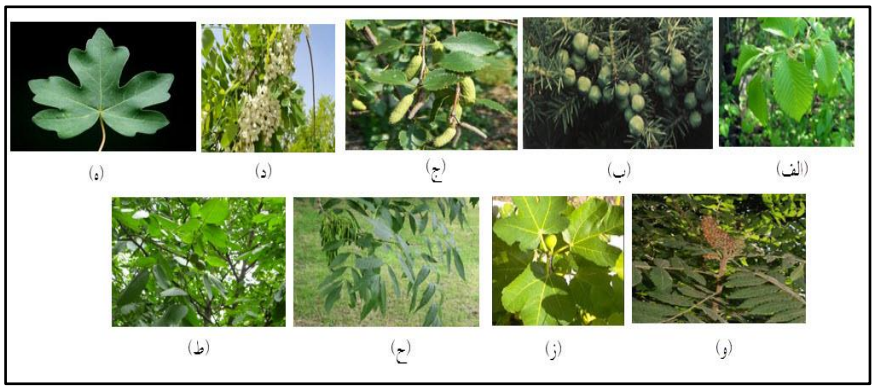
بررسی عامل‌های اصلی و انتخاب گونه‌ها براساس این عامل‌ها در معدن مس سونگون

در تحقیقی با عنوان" انتخاب مورد استفاده مجدد زمین‌های استخراج شده با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی در معدن مس سونگون" جنگل‌کاری به‌عنوان گزینه مناسب برای استفاده دوباره زمین‌های استخراج شده دراین معدن انتخاب شده است (Akbari *et al.*, 2006). با توجه به آثار محیط زیستی مخرب معدن مس سونگون هدف اصلی و عمده جنگل‌کاری در این تحقیق، جنگل‌کاری محیط زیستی در نظر گرفته می‌شود و جنگل‌کاری اقتصادی در اولویت بعدی است (Bangian *et al.*, 2011).

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 است. 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، براساس شرایط جوی بیان شده، متناسب و سازگار با دوره سرمای طولانی، مقاومت در برابر یخبندان، رطوبت نسبی زیاد، دوره کوتاه گرما، باران نسبتاً کم و بارش زیاد برف انجام می‌شود (Bangian and Osanloo, 2008). با توجه به اینکه انتخاب گونه درختی برای بازسازی تمام نقاط معدن مس سونگون مورد نظر است، بنابراین 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 است. در مورد ذخیره‌های مس پورفیری به‌طور عموم ترکیب کانی شناسی باطله مشابه ترکیب کانی‌شناسی کانسنگ بوده و تنها درصد مس آن پایین‌تر است. بنابراین می‌توان انتظار داشت که دمپ‌های باطله نیز حاوی درصد بالایی از پیریت بوده و خاصیت اسیدزایی داشته باشند (Redente and Baker, 1996). بنابراین مشکل در امر بازسازی دمپ‌های باطله معدن، اسیدی بودن باطله‌ها است. 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 به‌طور عموم شامل پیریت، پیروتیت و گانگ سیلیکاته (میکا و مسکویت) و رس هستند. کلکتور مورد استفاده در فلوتاسیون سولفیدهای مس به‌طور عموم گزنتات‌ها هستند. پیریت پس از انتقال به سد باطله سبب تولید اسید شده و حلالیت فلزهای سمی را افزایش می‌دهد (Akbari *et al.*, 2006). از آن‌جا که مهمترین کانی‌های فلزی موجود در کانسارسونگون، کالکوپیریت، بورنیت، مالاکیت، پیریت، مولیبدنیت، مگنتیت، گالن و اسفالریت هستند، حضور فلزهایی همچون سرب و روی، آهن، همراه مس و مولیبدن قابل پیش بینی است (Bangian and Osanloo, 2008). با توجه به ویژگی‌های بیان شده برای این نوع خاک گونه‌های گیاهی پیشنهادی براساس 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 منطقه‌ها خنثی و یا قلیایی پیش‌بینی 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 ۳ نشان داده شده‌اند (Afradi *et al.*, 2017)



شکل ۳: الف) اوجا ب) پیرو ج) غان د) اقاقیا ه) افرا و) سماق ز) انجیر ح)زبان گنجشک ط)گردو

Fig. 3- a) *Ulmus minor*, b) *Juniperus communis*, c) *Betula pendula*, d) *Robinia pseudoacacia*, e) *Acer compestre*, f) *Rhus coriria*, g) *Ficus carica*, h) *Fraxinus excelsior*, and i) *Juglans regia*

Lyle (1986) 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، براساس آن انجام گرفته است. مقاومت گونه‌های درختی انتخابی در برابر عناصر سنگین در جدول ۱ نشان داده می‌شود (Tamartash *et al.*, 2010)

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

Table 1. Scientific names and resistance of selected species to heavy elements

گونه Species	نام علمی Scientific name	خانواده Family	نوع عنصر سنگین Heavy element	اندام جذب کننده Absorbing organ
اوجا	*Ulmus minor*	اولماسه	مس، آرسنیک، سدیم، آهن، منگنز، نیکل، سرب و روی Cu, As, Na, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	ساقه Stem
پیرو	*Juniperus communis*	کوپرسوساسه	مس، نیکل، منگنز و کروم Cu, Ni, Mn, Cr	ریشه، ساقه و برگ Root, Stem, Leaf
غان	*Betula pendula*	بتولاسه	مس، مولیبدن، روی، آهن و منگنز Cu, Mo, Zn, Fe, Mn	برگ Leaf
اقاقیا	*RobiniaPseudocacia*	فاباسه	مس،سرب، روی، آرسنیک وسدیم Cu, Pb, Zn, As, Na	برگ Leaf
افرا	*Acer campestre*	آسراسه	مس Cu	ریشه، ساقه و برگ Root, Stem, Leaf
انجیر	*Ficus carica*	موراسه	مس، آهن،روی،سرب، منگنز، کبالت، نیکل و کروم Cu, Fe, Zn, Pb, Mn, Co, Ni, Cr	برگ Leaf
زبان گنجشک	*Fraxinus excelsior*	اوله آسه	مس، سرب، روی، آرسنیک و سدیم Cu, Pb, Zn, As, Na	برگ Leaf
گردو	*Juglans regia*	یوگلانداسه	مس، روی، منیزیم، مولیبدن، منگنز، آهن	برگ Leaf

نتایج و بحث

انتخاب عامل‌های موضعی و وزن دهی به این عامل-ها به روش AHP

انتخاب عامل‌های موضعی براساس تلفیقی از عامل‌های موضعی استفاده شده در تحقیق‌های قبلی و عامل‌های 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 حشره‌ها، مقاومت در برابر بیماری‌ها، بازدهی اقتصادی، کاهش آلودگی‌ها، جلوگیری از فرسایش خاک و سهولت در پرورش گونه درختی هستند. معیارهای پیشنهاد شده توسط کارشناسان علوم جنگل‌داری شامل کارشناس جنگل‌شناسی، مرتعداری، کارشناس احیای اکوسیستم‌های جنگلی تخریب شده تکمیل شد و در جدول ۲ نشان داده می‌شود.

در پایان و براساس نظرهای کارشناسان هفت معیار زیر انتخاب شدند:

ایجاد چشم‌انداز

مقاومت در برابر حشره‌ها و کرم‌ها

مقاومت در برابر بیماری‌ها

بازدهی اقتصادی: محصول‌های درختان به نوع درخت بستگی دارد و افزون بر تولید الوار می‌تواند شامل میوه، سقز، روغن، موادچسبنده، چرم، جوهر مازو، شاخ و برگ، شیره و ... باشد.

کاهش آلودگی‌ها: درختان می‌توانند سبب از بین رفتن آلودگی هوا و خاک ناشی از معدنکاری شوند.

کاهش فرسایش: جنگل به کمک شاخ و برگ درختان، از سرعت باد می‌کاهد و با ریشه گیاهان، خاک را حفظ می‌کند و مانع ایجاد فرسایش می‌شود. به‌دلیل آرام بودن هوای داخل جنگل تبخیر بسیار ناچیز بوده و خطر خشک شدن خاک که از شرایط مهم آغاز فرسایش است از بین می‌رود.

سهولت پرورش درخت: از زمان مراقبت از بذر و کاشت نهال تا زمان محصول دهی نیاز به مراقبت دارد.

جدول ۲- معیارهای پیشنهادی کارشناسان

Table 2. Criteria proposed by experts

شماره کارشناسان Number of experts	معیارهای پیشنهادی Recommended criteria
کارشناس ۱ Expert 1	۱- مقاومت در برابر حشرات ۲- فایده‌های اقتصادی ۳- سهولت پرورش درخت ۴-سرعت رشد ۵-کاهش فرسایش خاک ۶-چشم‌انداز ۷- مقاومت در برابر بیماری 1- Resistance to insects 2- Economic efficiency 3- Ease of breeding 4- Growth rate 5- Erosion reduction 6- Aesthetic outlook 7- Plant disease resistance
کارشناس ۲ Expert 2	۱- مقاومت در برابر حشرات ۲- چشم انداز ۳- مقاومت در برابر بیماری ۴-اقتصادی بودن ۵- جلوگیری از رانش زمین ۶-کاهش آلودگی ۷- سهولت پرورش 1- Resistance to insects 2- Aesthetic outlook 3- Plant disease resistance 4- Economic efficiency 5- Landslide prevention 6- Pollution prevention 7- Ease of breeding
کارشناس ۳ Expert 3	۱-ایجاد چشم‌انداز ۲- کاهش آلودگی ۳- سهولت پرورش درخت ۴- اقتصادی بودن ۵- مقاومت در برابر بیماری ۶- مقاومت در برابر حشرات ۷- تعدی 1- aesthetic outlook 2- pollution prevention 3- ease of breeding 4- economic efficiency 5- plant disease resistance 6- resistance to insects 7- trespass
کارشناس ۴ Expert 4	۱- بازدهی اقتصادی ۲- کاهش آلودگی ۳- مقاومت در برابر بیماری‌ها۴- جلوگیری از فرسایش خاک۵- ایجاد چشم‌انداز ۶- مقاومت در برابر حشرات ۷- سهولت درپرورش درخت 1- Economic efficiency 2- Pollution prevention 3- Plant disease resistance 4- Erosion reduction 5- Aesthetic outlook 6- Resistance to insects 7- Ease of breeding
کارشناس ۵ Expert 5	۱- چشم‌انداز ۲- مقاومت در برابر بیماری ۳- مقاومت در برابر حشرات ۴- جلوگیری از سیلاب ۵- فواید اقتصادی ۶-کاهش آلودگی‌ها ۷- کاهش فرسایش 1- Aesthetic outlook 2- Plant disease resistance 3- Resistance to insects 4- Flood prevention 5- Economic efficiency 6- Pollution prevention 7- Erosion reduction

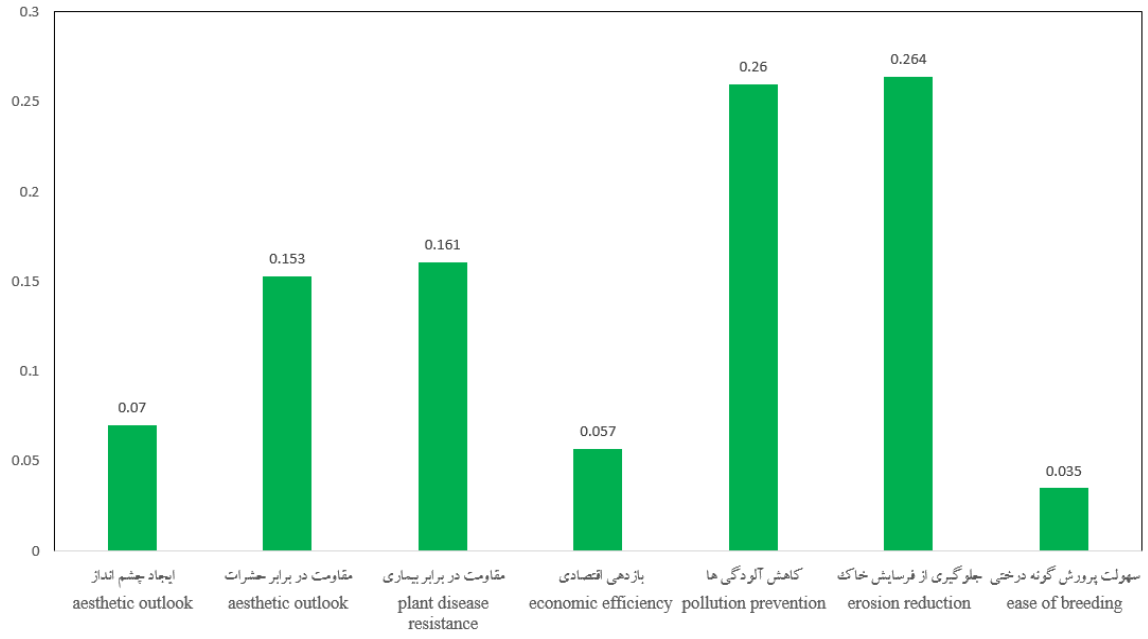
برای وزن‌دهی به این عامل‌ها، از مقایسه‌های زوجی بین معیارها استفاده شده است و این مقایسه‌ها با استفاده از ۵ پرسشنامه که توسط کارشناسان مختلف جنگل-داری و جنگل‌شناسی، مرتع‌داری و کارشناس احیای

اکوسیستم‌های تخریب یافته تکمیل شده‌اند، انجام گرفت.

پس از تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی جامع و به هنجار معیارها با استفاده از رابطه ۱و۲، وزن نسبی هریک از معیارهای با استفاده از رابطه ۳ به‌دست آمد. نرخ ناسازگاری عدد ۰/۰۱۱ به‌دست آمد که نشان‌دهنده وجود سازگاری بالایی بین مقایسه‌های زوجی انجام گرفته، می‌باشد. در مرحله بعد و با توجه به اولویت بندی وزن‌ها در روش تحلیل سلسله مراتبی، وزن دهی دوباره معیارها با استفاده از روش SMARTER و با کمک رابطه ۴ محاسبه گردید و در نهایت با کمک رابطه ۹ وزن ترکیبی حاصل از دو روش محاسبه گردید:

$$w_j = \frac{w_{1j} w_{2j}}{\sum_{j=1}^{n} w_{1j} w_{2j}} \qquad (۹)$$

در رابطه بالا w_{1j} ، w_{2j} و w_j به‌ترتیب وزن معیار با روش AHP، وزن معیار با روش SMARTER و وزن ترکیبی هر دو روش وزن دهی برای معیار j ام است که در شکل ۴ نمایش داده شده است. در این پژوهش، تلفیق دو روش وزن دهی ذهنی که از نظرهای کارشناسان خبره بایستی استفاده گردد، به‌کار گرفته شد و برخلاف روش‌های تلفیقی که بیشتر از ترکیب روش‌های وزن دهی ذهنی و عینی استفاده می‌نمایند، در این تحقیق تأکید ویژه بر استفاده از نظرهای کارشناسان خبره و تأثیر آن در وزن دهی معیارها بوده است.



شکل ۴- وزن نسبی عوامل موضعی به روش AHP

Fig. 4- Relative weight of attributes by AHP method

اولویت‌بندی گونه‌های درختی انتخابی با روش TOPSIS

ماتریس تصمیم‌گیری با کمک کارشناسان جنگل‌داری، جنگل‌شناسی و مرتع‌داری آگاه به شرایط منطقه معدن مس سونگون و مطالعه 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 سنجه‌های کمی تبدیل شدند و سپس ماتریس تصمیم‌گیری بی مقیاس با کمک رابطه ۴ به‌دست آمد و در جدول‌های ۳ و ۴ نشان داده می‌شود. در مرحله بعد ماتریس تصمیم بی‌مقیاس وزنی که از حاصل‌ضرب اوزان سنجه‌ها (به‌دست آمده به روش ترکیبی) در ماتریس نرمال شده به‌دست می‌آید، محاسبه شد که جدول‌های ۵ و ۶ نشان دهنده ماتریس تصمیم بی‌مقیاس موزون در

خاک نوع اول و خاک نوع دوم می‌باشند. 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 نمودار ۵ و ۶ نمایش داده می‌شود.

جدول ۳- ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس شده برای خاک نوع اول

Table 3. Normalized values of decision matrix in type A soil (acidic soil)

نام گونه‌ها Species	ایجاد چشم انداز Aesthetic outlook	مقاومت در برابر حشرات Resistance to insects	مقاومت در برابر بیماری Plant disease resistance	بازدهی اقتصادی Economic efficiency	کاهش آلودگی Pollution prevention	جلوگیری از فرسایش خاک Erosion reduction	سهولت پرورش Ease of breeding
اوجا *Ulmus minor*	0.425	0.255	0.204	0.431	0.445	0.185	0.454
پیرو *Juniperus communis*	0.496	0.509	0.408	0.287	0.390	0.308	0.324
غان Betula pendula	0.567	0.318	0.340	0.503	0.390	0.431	0.324
اقاقیا *Robinia pseudoacacia*	0.284	0.573	0.612	0.144	0.501	0.492	0.583
افرا *Acer Campestre*	0.354	0.318	0.272	0.574	0.445	0.554	0.454
سماق *Rhus Coriaria*	0.213	0.382	0.476	0.359	0.223	0.369	0.195

جدول ۴- ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس شده برای خاک نوع دوم

Table 4. Normalized values of decision matrix in type B soil (alkaline soil

نام گونه Species	ایجاد چشم انداز Aesthetic outlook	مقاومت برابر حشرات Resistance to insects	مقاومت در برابر بیماری Plant disease resistance	بازدهی اقتصادی Economic efficiency	کاهش آلودگی Pollution prevention	جلوگیری از فرسایش Erosion reduction	سهولت پرورش Ease of breeding
انجیر *Ficus carica*	0.384	0.655	0.629	0.347	0.574	0.492	0.646
زبان گنجشک *Fraxinus excelsior*	0.690	0.574	0.550	0.520	0.492	0.574	0.574
گردو *Juglans regia*	0.614	0.492	0.550	0.780	0.655	0.655	0.503

جدول ۵- ماتریس بی‌مقیاس موزون برای خاک نوع اول

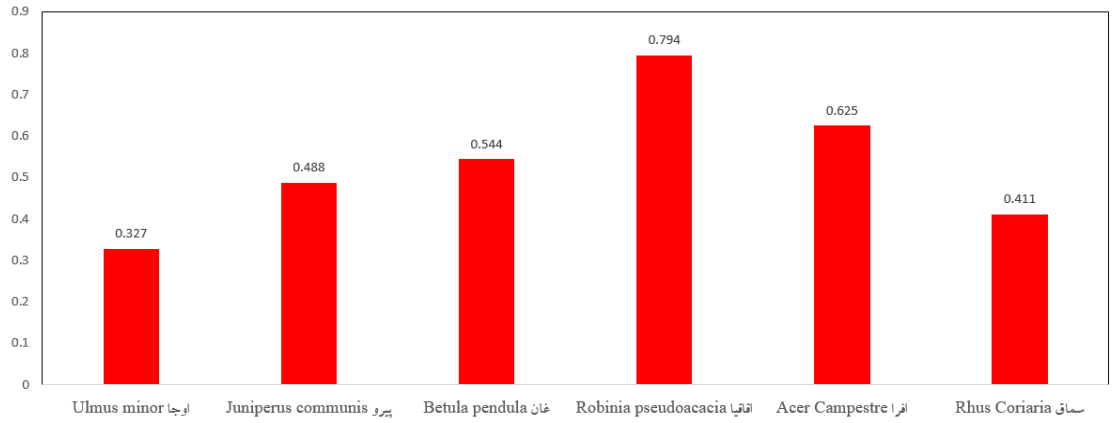
Table 5. Weighed normalized values of decision matrix in type A soil (acidic soil)

نام گونه‌ها Species	ایجاد چشم انداز Aesthetic outlook	مقاومت در برابر حشرات Resistance to insects	مقاومت در برابر بیماری Plant disease resistance	بازدهی اقتصادی Economic efficiency	کاهش آلودگی Pollution prevention	جلوگیری از فرسایش خاک Erosion reduction	سهولت پرورش Ease of breeding
اوجا *Ulmus minor*	0.030	0.039	0.033	0.025	0.116	0.049	0.016
پیرو *Juniperus communis*	0.035	0.078	0.066	0.016	0.101	0.081	0.011
غان *Betula pendula*	0.040	0.049	0.055	0.029	0.101	0.114	0.011
اقاقیا *Robinia pseudoacacia*	0.020	0.088	0.099	0.008	0.130	0.130	0.020
افرا *Acer Campestre*	0.025	0.049	0.044	0.033	0.116	0.146	0.016
سماق *Rhus Coriaria*	0.015	0.058	0.077	0.021	0.058	0.098	0.007

جدول ۶- ماتریس بی‌مقیاس موزون برای خاک نوع دوم

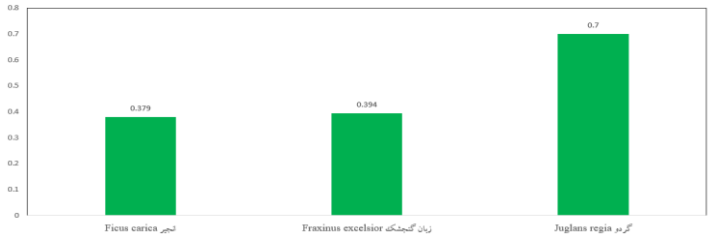
Table 6. Weighed normalized values of decision matrix in type B soil (alkaline soil)

نام گونه Species	ایجاد چشم انداز Aesthetic outlook	مقاومت در برابر حشره‌ها Resistance to insects	مقاومت در برابر بیماری Plant disease resistance	بازدهی اقتصادی Economic efficiency	کاهش آلودگی Pollution prevention	جلوگیری از فرسایش Erosion reduction	سهولت پرورش Ease of breeding
انجیر *Ficus carica*	0.027	0.100	0.101	0.020	0.150	0.130	0.023
زبان گنجشک *Fraxinus excelsior*	0.048	0.088	0.089	0.030	0.128	0.151	0.020
گردو *Juglans regia*	0.043	0.075	0.089	0.050	0.170	0.173	0.018



شکل ۵- امتیاز نسبی گونه‌های درختی انتخابی برای خاک نوع اول

Fig. 5- Ranking of selected tree species in type A soil (acidic soil)



شکل ۶- امتیاز نسبی گونه‌های درختی انتخابی برای خاک نوع دوم

Fig. 6- Ranking of selected tree species in type B soil (alkaline soil)

نتیجه‌گیری

شیوه AHP که مبتنی بر تصمیم‌گیری‌های گروهی هست می‌تواند به‌عنوان راهکار جدید استفاده شود زیرا این روش افزون بر در نظرگرفتن و بررسی فاکتورها و معیارهای مختلف، از دانش و مهارت افراد خبره به‌عنوان 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. همچنین روش SMARTER نیز از روش-های آسان وساده برای وزن دهی معیارها است و در این تحقیق با استفاده از ترکیب دو روش وزن دهی و همچنین استفاده از نظرهای افراد خبره تلاش شده است که وزن معیارها به واقعیت نزدیک‌تر شود.

مهمترین تأثیرهای منفی معدن مس سونگون مربوط به تخریب محیطزیست است و به‌عبارتی دیگر هدف عمده جنگل کاری در معدن مس سونگون، حفظ محیطزیست می‌باشد. با توجه به اینکه حفظ محیطزیست هدف اصلی در نظر گرفته شد بنابراین معیارهای کاهش آلودگی‌ها و جلوگیری از فرسایش خاک از دیدگاه کارشناسان به‌عنوان مهمترین معیارها در نظر گرفته شدند در تحقیق مشابهی که توسط Afradi *et al.* (2017) در معدن سنگ آهن چغارت انجام گرفت چشم انداز منطقه، مقاومت در برابر بیماری، تعدی توسط انسان، قدرت و نحوه رشد، سازگاری با سایر گونه‌ها در منطقه، بازدهی اقتصادی، مقاومت در برابر حشره‌ها، حفاظت از خاک، ذخیره آب، جلوگیری از انواع آلودگی و دسترسی به گونه‌های گیاهی از عامل‌های ثانویه مؤثر در انتخاب گونه‌های گیاهی در نظر گرفته شده است. همچنین در این تحقیق با در نظر گرفتن عامل‌های اصلی و شرایط موجود در معدن سنگ آهن چغارت، چهار گونه گیاهی برتر و سازگار با محیط معدن (اوکالیپتوس، نخل، کاج و گز) انتخاب شدند.

از آنجایی که دو سنجه کاهش آلودگی‌ها و جلوگیری از فرسایش خاک مهمترین سنجه برای اولویت‌بندی گونه-های درختی انتخاب شدند، در وزن‌دهی معیارها، این دو معیار بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. با توجه به منطقه سرسبز جنگل‌های ارسباران و آلودگی‌های گوناگون خاک، آب و هوا ناشی از معدنکاری سطحی، کارشناسان حاضر در این تحقیق تأکید ویژه‌ای بر آلودگی داشتند و به همین دلیل این معیار وزن بالایی را نسبت به سایر معیارها دارد.

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 به‌شمار نمی‌رود ولی با توجه به این که نسبت به درختان دیگر از لحاظ حفظ محیطزیست موفق‌تر می‌باشد. به‌عنوان گونه برتر برای این منطقه انتخاب شد. در بین گونه‌های بومی منطقه نیز درخت افرا با توجه به هدف حفظ محیطزیست در اولویت می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

[1] Analytical Hierarchy process
[2] Simple Multi Attribute Rating Technique Exploiting Rank
[3] Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

منابع

Afradi, A., Alavi, I. and Hamidian, H., 2017. Selecting the plant species in the mineral desert area by fuzzy TOPSIS method (case study: Chogart iron ore mine). Journal of Science and Engineering Elites. 2, 229-236.

Afradi, A., Rezazadeh, S. and Alavi, I., 2017. Using PROMETHEE method in prioritizing of plant species planting to reclamation of Sungun copper mine. Eurasian Journal of Biosciences. 11, 1-11.

Akbari, A.D., Osanloo, M. and Hamidian, H., 2006. Selecting post mining land use through analytical hierarchy processing method: case study in Sungun copper open pit mine of Iran. In Proceedings of the 5th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection (MPES 2006), 20th-22th September, Torino, Italy. p.252 .

Alavi, I. and 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, 1104-1113.

Azadi Nejat, S., Jalali, S.G. and Ghodsipoor, S.H., 2009. The use of AHP in evaluation of urban forestry in order to choose appropriate tree species in arid and semi-arid areas. A collection of articles for the third national conference on jungle.

Azimi, Y., 2019. Prediction of seismic wave intensity generated by bench blasting using intelligence committee machines. International Journal of Engineering, 32, 617-627.

Bangian, A.H. and Osanloo, M., 2008. Multi attribute decision model for plant species selection in mine reclamation plans: Case study sungun copper mine. Post-Mining, February, Nancy, France. p. 6-8.

Bangian, A.H., Ataei, M., Sayadi, A. and Gholinejad, A., 2011. The application of fuzzy MADM modeling to define optimum post mining land use for pit area to recognize reclamation costs in open pit mining. Archives of Mining Sciences, 56, 93-118.

Bangian, A.H., Ataei, M., Sayadi, A. and Gholinejad, A., 2012. Optimizing post-mining land use for pit area in open-pit mining using fuzzy decision-making method. International Journal of Environmental Science and Technology, 9, 613-628.

Bazzazi, A.A., Osanloo, M. and Soltanmohammadi, H., 2008. Loading-haulage equipment selection in open pit mines based on fuzzy-TOPSIS method. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 24, 87-102.

Behdarvand, M., Hosseini, M., Nabavi, S.M.B. and Sayad, E., 2010. Survey on effects of plantation in variety temperature in middle Zagrus (case study: shahyon Dezful). Human & Environment, 8, 49-54.

Cao, X., 2007. Regulating mine land reclamation in developing countries: The case of China. Land Use Policy, 24, 472-483.

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

Chen, H., Zheng, C. and 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, 115-121.

Edwards, W., 1977. How to use multiattribute utility measurement for social decisionmaking. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 7, 326-340.

Edwards, W. and Barron, F.H., 1994. SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. Organizational behavior and human decision processes, 60, 306-325.

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.

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

Hustrulid, W.A., Kuchta, M. and Martin, R.K., 2013. Open pit mine planning and design, two volume set & CD-ROM pack. CRC Press

Lyle Jr, M.S., 1986. Surface mine reclamation manual. Elsevier Science Publishing Co., Inc.

Mendez, M.O. and Maier, R.M., 2008. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments—an emerging remediation technology. Environmental health perspectives, 116, 278-283.

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. 183-191 pp.

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

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, 1-20.

Soltanmohammadi, H., Osanloo, M. and Bazzazi, A.A., 2010. An analytical approach with a reliable logic and a ranking policy for post-mining land-use determination. Land Use Policy, 27, 364-372.

Taha, H.A., 2017. Operations research: an introduction. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson/Prentice Hall.

Tamartash, R., Tatian, M.R., Bakhshandeh, L.S. and Shokrian, F., 2010. Study on the aquatic plants species as heavy metals absorbent in the aquatic ecosystems at in the north of Iran. Journal of wetland Eco biology, 1, 81-90.

Tzeng, GH. and Huang, J.J., 2011. Multiple attribute decision making: methods and applications. CRC press.

Environmental Sciences Vol.20 / No.2 / Summer 2022

185-198

Original Article

Selection of suitable plant species for Sungun copper mine reclamation by multiple attribute decision making methods (AHP-SMARTER-TOPSIS)

Abbas Aghajani Bazzazi, [1] Ahmad Adib,[2] Maryam Shapoori,[3*] Mohammad Ali Farjoudi Ahangari[2] and Amir Hosien Bangian Tabrizi[2]

[1]Department of Engineering, Faculty of Mining Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran
[2] Department of Engineering, Faculty of Mining Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[3] Department of Agriculture and Natural Resource, Faculty of Natural Resource, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran

Received: 2019.08.19 Accepted: 2020.07.12

Aghajani Bazzazi, A., Adib, A., Shapoori, M., Farjoudi Ahangari, M.A. and Bangian Tabrizi, A.H., 2022. Selection of suitable plant species for Sungun copper mine reclamation by multiple attribute decision making methods (AHP-SMARTER-TOPSIS). Environmental Sciences. 20(2): 185-198.

Introduction: The area of the lands that are influenced by mining operations, especially waste dump, is increasing continuously. Therefore, the necessity of mine reclamation is more important than the past. Selecting suitable plant species is one of the main topics in open pit mine reclamation regarding mined land use and environmental protection.

Material and methods: In this research, the selection of suitable plant species regarding the environmental rehabilitation of Sungun copper mine was performed. At first, suitable plant species were selected by main criteria such as post-mining land use, climatic condition, and ecological parameters of soil. Then, selected species were ranked based on a questionnaire completed by experts using the combination of Analytic Hierarchy Process (AHP), Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMARTER), and Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) methods.

Results and discussion: Suitable tree species in acidic and metallic pollutant lands were *Ulmus minor*, *Juniperus communis*, *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia*, *Acer compestre*, and *Rhus coriria*,

[*] Correspopnding Author: *Email Address*. m_shapoori@iausk.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs. 2021.1067
http://dorl.net/dor/ 20.1001.1.17351324.1401.20.2.7.8

respectively. Native tree species such as *Ficus carica*, *Fraxinus excelsior*, and *Juglans regia* were selected for the alkaline region, in a decreasing order.

Conclusions: From the selected tree species for this region, the more successful species in reducing pollution and preventing soil erosion are preferred. *Robinia pseudoacacia* is not considered one of the native trees of the region. Yet, because it is more successful than other trees in environmental protection, it was selected as the superior plant species for this region. Among the native species of the region, *Acer campestre* has priority due to the purpose of preserving the environment.

Keywords: Multiple attribute decision making, AHP, Reclamation, SMARTER, TOPSIS.