DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2024.21065.1984

ارائه چارچوب انتخاب گونه‌های مناسب برای توسعه زیرساخت‌های سبز مناظر صنعتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران

(مقالۀ پژوهشی)

۱- ایمان سعیدی*، استادیار گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.
Isaeedi@malayeru.ac.ir
۲- حسن دارابی، استادیار گروه مهندسی طراحی محیط‌زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۳- محمدرضا گیلی، استادیار گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲
پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

چکیده

صنعت سیمان همواره با اثرات محیط‌زیستی زیان‌بار قابل توجهی شناخته شده است. توسعه زیرساخت‌های سبز پیرامون این صنایع می‌تواند از اثرات منفی محیط‌زیستی این قبیل توسعه‌ها در پیرامون بکاهد. با این حال، چارچوبی سیستماتیک در ارتباط با شیوه انتخاب گونه‌های گیاهی در پیرامون کارخانه‌های سیمان وجود ندارد. هدف این مطالعه ارائه روشی نظام‌مند در انتخاب گونه‌های گیاهی پیرامون کارخانه‌های سیمان است. در این مطالعه، کارخانه سیمان دورود به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. در ابتدا مدل مفهومی ارتباط گیاه با محیط در محیط‌های صنعتی معرفی شد. در ادامه، چارچوب عملکردی برای اجرای این مدل مفهومی ارائه شده که مشتمل بر پنج گام است: شناسایی معیارهای مؤثر، معیارهای وزن‌دهی، تدوین فرمول انتخاب گونه‌های گیاهی ایجاد سبد انتخاب و غربالگری گونه‌های گیاهی مناسب. در انتخاب معیارها از دو دسته معیارهای اولیه و ثانویه بهره برده شد. روش غربال معیارهای انتخاب گونه‌های گیاهی دلفی فازی و روش وزن‌دهی به معیارهای انتخابی تحلیل سلسله مراتبی است. نتایج این تحقیق نشان داد که از میان پنج گونه گیاهی بررسی شده، درخت کاج تهران و سنجد، مناسب‌ترین گونه‌های درختی برای این محدوده مطالعاتی می‌باشد، در حالی که درختان گز و چنار نامناسب تلقی می‌شوند. این تحقیق بینش‌های ارزشمندی را برای معماران منظر، مدیران محیط‌زیست و اپراتورهای فضاهای صنعتی به‌خصوص کارخانه‌های سیمان برای ایجاد مناطق سبز پایدار فراهم می‌کند.

واژگان کلیدی: تحلیل سلسه مراتبی، دلفی فازی، فضای سبز، مناطق صنعتی، تصمیم‌گیری چند معیاره، کارخانه سیمان.

مقدّمه

توسعه زیرساخت در هر کشور وابستگی جدی به صنعت سیمان دارد. به همین دلیل نیز توسعه این صنعت در کشورهای مختلف از اولویت بالایی برخوردار است. توسعه صنعت سیمان ضمن این که مزایای بسیاری از نظر زیرساخت و اقتصاد برخوردار است، همزمان چالش‌های محیطی متنوعی را نیز به دنبال دارد [۲]. تولید سیمان جهان از سال ۲۰۱۳ به بیش از ۴ میلیارد تن رسیده است، که این رقم در سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ به‌ترتیب به میزان ۴/۴ و ۴/۱ میلیارد تن بوده است [۵۵] . سابقۀ صنعت سیمان در کشور به سال ۱۳۱۲ باز می‌گردد، در سال‌های اخیر با رشد چشمگیری به ظرفیت تولیدی بیش از ۸۰ میلیون تن رسیده است.

توسعه صنعت سیمان با پیامدهای دوگانۀ مثبت اقتصادی و منفی محیط‌زیستی مواجه است. بدیهی است که این توسعه اثرات چشمگیری بر محیط‌زیست دارد [۵، ۱۷، ۳۰، ۳۸، ۴۴، ۴۵، ۴۶]. این اثرات توسط محققان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین چالش‌های صنعت سیمان، انتشار گاز CO_2 است که حدود ۸ درصد از CO_2 با منشأ انسانی را شامل می‌شود [۴۲].

معضل دیگر صنعت سیمان، انتشار غبار است. ذرات کمتر از ده میکرون به‌دلیل فرّاربودن و حرکت آزاد، عامل بیماری‌های متعددی از جمله آسیب به ریه، مرگ زودرس و سرطان محسوب می‌شود [۵۰]. در صورت عدم‌کنترل آلاینده‌های هوای حاصل فعالیت صنایع سیمان، علاوه بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، منجر به انتشار ترکیبات آلی فرّار (VOCs)، دی بنزودیوکسین‌های پلی کلره (PCDD) و دی بنزوفوران‌ها (PCDFs)، هیدروژن فلوراید (HF)، کلرید هیدروژن (HCl) و فلزات سمی و ترکیبات آنها می‌شود. ضمن این که سوخت‌های فسیلی و سوخت‌های زائد عامل انتشار قابل توجه فلزات سنگین مانند سرب، کادمیوم، جیوه و غیره هستند [۶].

آلودگی خاک یکی از نگرانی‌های اصلی در صنعت سیمان به شمار می‌رود. طیف وسیعی از آلاینده‌ها مانند انتشار NO_2، SO_2 و CO_2 گزارش شده‌اند. علاوه بر این، فلزات سنگین و متالوئیدها (As، De، Cu، Zu، Cd، Hg) و ذرات معلق با اندازه ۱۰ میکرومتر یا کمتر به‌عنوان محصولات جانبی تولید سیمان شناسایی شدند [۵۹].

باید آلودگی صوتی حاصل فعالیت‌های ماشین‌آلات سنگین و فن‌های بزرگ و مانند آن را نیز به مجموعهٔ آلودگی‌های فوق افزود. همه این عوامل اثرات و پیامدهای متفاوتی و متنوعی را بر محیط و انسان داشته و آنها را به شدت متأثر می‌سازند [۹، ۲۵، ۲۹]. آلودگی آب نیز می‌تواند به دلایلی همچون استفاده در سیستم‌های خنک‌کننده، فرآیندهای شستشو یا ورود آلایندهای موجود در هوا به پیکره‌های آبی ایجاد شود. اما به دلیل شدت اثر محدود، کمتر به آن توجه شده است [۶۵].

به‌منظور کاهش اثرات و پیامدهای فعالیت‌های صنعت سیمان راهبردهای مختلفی وجود دارد [۱۴، ۳۸، ۵۸]. قدرمسلّم، به‌کارگیری فناوری‌های مناسب برای کاهش میزان انتشار، بخشی اساسی از بهترین اقدمات مدیریتی محسوب می‌شود. افزون بر آن، توسعه زیرساخت‌های سبز در چارچوب منظر پیرامون کارخانه‌های سیمان نیز از جمله راه‌حل‌هایی است که در این عرصه به‌کار گرفته می‌شود [۲۰].

توسعه منظر سبز پیرامون کارخانه‌های سیمان کارکردهای متفاوتی دارد. گونه‌های گیاهی در محیط‌های آلوده اقدام به جذب و تجمع آلاینده محیط پیرامونی در اندام‌های مختلف خود کرده و از این طریق، از شدت آلودگی محیط می‌کاهند [۵۶]. بنابراین، گونه‌های گیاهی با قابلیت کاشت و تجمیع آلاینده در این محدوده به‌عنوان مخزن انباشت آلاینده‌ها محسوب می‌شوند [۵۹]. از سوی دیگر گونه‌های گیاهی می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های آلودگی محیط و به‌طور مشخص آلودگی هوا عمل کنند [۸، ۳۴]. پوشش گیاهی اطراف کارخانه های سیمان می‌تواند باعث به دام افتادن بخشی از ذرت معلق و گردوغبار منتشر شده شود. در هر صورت، این امر مستلزم انتخاب گونه‌های مناسب در این عرصه است.

رویکردهای متفاوتی همچون راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت یا رویکرد مبتنی بر ویژگی‌ها یا رویکرد اکولوژیکی کارکردگرا برای توسعه زیرساخت‌های سبز پیرامون کارخانه های سیمان وجود دارد [۵]. با توجه به این که انتخاب گونه‌های مناسب مستلزم درک عمیق از عملکرد گونه‌ها از یک سو، همچنین، شناخت عمیق و مناسب از محیط طبیعی توأم با الزامات ناشی از آلاینده‌های محیط ضروری است، لذا در این تحقیق رویکرد ویژگی‌محور مبنای عمل قرار می‌گیرد. بر اساس این رویکرد، با توجه به ویژگی‌های عملکردی گیاه و نقش اکولوژیک آن، شرایط محیطی و واکنش گونه به آن و قابلیت سازگاری گونه اقدام به انتخاب گونه های مناسب می‌کند و بر این اساس شرایط مداخلات اکولوژیک را تسهیل می‌کند [۴۱].

رویکرد مبتنی بر ویژگی در اکولوژی از این ایده سرچشمه می‌گیرد که ویژگی‌های عملکردی موجودات می‌تواند تنوع و فراوانی گونه‌ها را در یک اکوسیستم توضیح دهد. بر این مبنا، کارکرد تک گونه‌ها مورد توجه قرار گرفته و از ترکیب عملکرد گونه می‌توان ساختار یک جامعه پویا را شکل داد. لذا به تمرکز بر شناسایی گونه، توجه کانونی بر ویژگی‌های گونه است. اصول کلیدی این رویکرد شامل تمرکز بر صفات به راحتی قابل مشاهده و اندازه‌گیری، مانند فیزیولوژی، مورفولوژی، و رفتار است [۲۶].

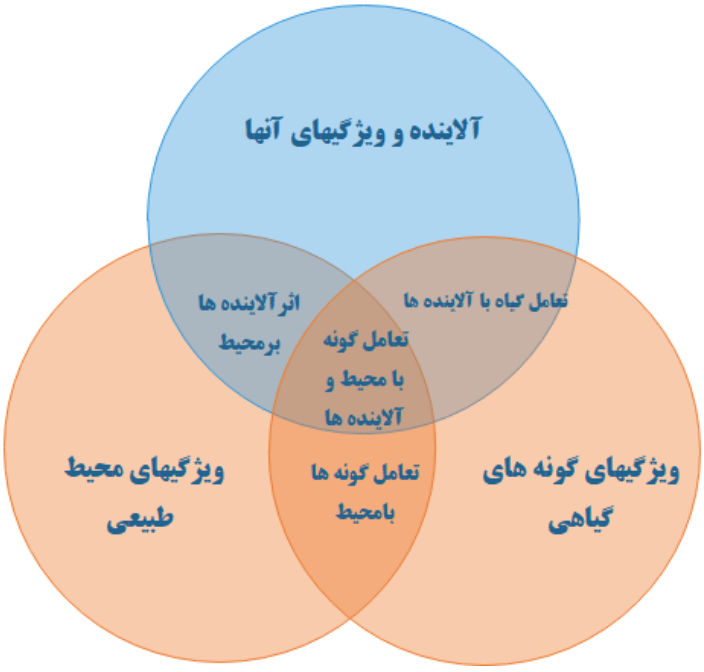
رویکردهای مبتنی بر ویژگی در اکولوژی بر ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیکی موجودات به منظور درک بهتر نحوه تعامل موجودات با محیط خود تمرکز می‌کنند. در اینجا

ویژگی به‌عنوان هر مشخصه قابل سنجش از یک چیزی و یا میانگین مشخص مجموعه ازچیزها قابل تعریف است [۵۲]. ویژگی‌های عملکردی، تعیین‌کنندهٔ واکنش گونه‌ها در برابر شرایط محیطی است و براین اساس بر ویژگی‌های اکوسیستم اثرگذار خواهد بود (جدول ۱). بر این اساس، رویکرد مذکور تبیین‌کنندهٔ چگونگی تعامل میان ویژگی‌های گونه‌های گیاهی و متغیرهای محیطی است.

جدول ۱- چارچوب و مشخصات کلی رویکرد ویژگی محور

چارچوب	چارچوب رویکرد ویژگی محور	منابع
هدف	ایجاد خدمات اکوسیستمی مبتنی بر ویژگی‌های کارکردی	[۴۷ ،۳۵ ،۲۳ ،۱۵،۱۹]
نتایج	پیوند نزدیک با نظریات بوم‌شناختی در مورد جوامع و عملکرد اکوسیتم، فعال‌سازی یک یا چند کارکرد مبتنی بر عملکرد	
اشکالات	تفاوت ترکیب جامعه پیشنهادی با جامعه بومی، فقدان اطلاعات از ویژگی‌های برخی از گونه‌ها (به طور مشخص در مقیاس‌های بزرگ)	
امکان کاربرد	کاربرد زیاد به‌دلیل امکان معرفی گونه‌های مناسب به جای گونه‌های در معرض آسیب با قابلیت سازگاری محدود	

بر اساس چارچوب تبیین‌شده، الگوی مفهومی زیر شکل خواهد گرفت که مبنای این تحقیق را نیز شکل می‌دهد (شکل ۱). بر این اساس باید رابطه بین محیط طبیعی، ویژگی‌های گونه‌های گیاهی و آلاینده‌ها با یکدیگر مدنظر قرار گیرد. در مورد گونه‌های گیاهی، حداقل چهار ویژگی: رشد، بازتولید، بقا و جذب آلاینده‌ها، در مورد آلاینده مشخصات و اثرات آنها بر محیط و بالاخره ویژگی‌های محیطی از جمله ویژگی‌های اقلیمی، خاک و آب و مانند آن باید در نظر گرفته باشد. برای رسیدن به الگوی مناسب واکنش گونه‌ها به هر یک از عوامل محیطی و آلاینده باید مد نظر قرار گرفته و از ترکیب گونه‌ها جامعه گیاهی مناسب در راستای اهداف تعیین شده ارایه گردد [۶۴].



شکل ۱- الگوی مفهومی تحقیق

در ارتباط با رابطه میان گیاهان و صنایع سیمان مطالعات متعددی صورت گرفته است [۸، ۲۴، ۳۱، ۳۹]. در مطالعه‌ای، محققان به بررسی انتقادی اثرات آلودگی غبار بر روی گیاهان پرداخته‌اند. آنها عقیده دارند که وجود غبار با منشأ مختلف منجر به بسته‌شدن روزنه‌های برگ‌ها شده و در نتیجه، اثر منفی در رشد گیاه را به دنبال خواهد داشت. ضمن اثرات ثانویه مانند افزایش بیماری‌ها و آفات را نیز می‌تواند به دنبال داشته باشد [۳۱].

در مطالعه‌ای برای بررسی رابطه بین صنعت سیمان و انتخاب گونه‌های مناسب برای احداث کمربند سبز پیرامون کارخانه سیمان به این نتیجه رسیدند که گونه‌های گیاهی که از شاخص تحمل بالای آلودگی برخوردارند می‌توانند عملکرد بهتری در این حوزه داشته باشند. لذا با توجه به محدودهٔ مطالعه آنها گونه‌هایی مانند *Mangifera indica*، جنس *Bougainvillea*، *Psidum quajava* از حساسیت بالا برخوردار بوده‌اند و گونه‌هایی مانند *Phyllanthus emblica* و *Cercocarpus ledifolius* از حساسیت متوسطی برخوردار هستند آنها شاخص تحمل آلودگی هوا را به عنوان یک شاخص کلیدی در نظر گرفته‌اند [۴۴].

جوانمردی و همکاران (۲۰۲۲) اقدام به ارزیابی اثرات فلزات سنگین حاصل فعالیت کارخانه سیمان شیراز روی گیاهان منتخب کردند. نتیجه بررسی آنها نشان می‌دهد که گونه‌های بید و افرا، بالاترین میزان جذب آلودگی را داشته‌اند. محمد و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که فعالیت کارخانه‌های سیمان تعادل اکولوژیک مناطق پیرامونی را برهم‌زده و به زیستگاه‌های گیاهان و جانوران آسیب جدی می‌رساند. کاهش میزان آسیب‌های متفاوت واردشده توسط کارخانه‌های سیمان، از جمله راه‌حل‌های سبز، می‌تواند به بهبود شرایط محیطی کمک جدی نماید [۳۸].

پژوهشگران در مطالعه دیگری اقدام به ارزیابی چهار گونه درختی (*Eucalyptus camaldulensis*، *Casuarina equisetifolia*، *Conocarpus lancifolius*، *Ficus benjamina*) در کمربند سبز ۲۱ کارخانهٔ سیمان در مصر کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند *E. camaldulensis* از عملکرد عالی، *C. equisetifolia* و *C. lancifolius* از عملکرد بسیار خوب برخوردارند [۲۴].

بررسی رابطه گیاهان با غبار کارخانهٔ سیمان موضوع تحقیق دیگری بود که محققان نشان دادند گردوغبار سیمان یک آلایندهٔ خطرناک محسوب می‌گردد و واکنش‌های تنش‌زایی را ایجاد می‌کند. بقایای این گردوغبار در بخش‌های خوارکی گیاهان به شدت می‌تواند بر سلامت انسان اثرگذار باشد [۵۱].

در مطالعه‌ای دیگر، اقدام به ارزیابی چند گونه گیاهی شده است و بر اساس شاخص‌های API و APTI، مشخص شد که در بین گونه‌ها، دو گونهٔ *Z. spina-christi* و *A. lebbeck* از عملکرد مناسب‌تری برای مناطق در معرض آلودگی سنگین برخوردارند [۴].

گروه دیگری از محققان اقدام به بررسی توانایی جذب فلزات سنگین توسط گونه‌های درختی شامل اقاقیا (*Robinia Pseudoacacia L.*)، صنوبر (*Populus nigra L.*)، سنجد (*Elaeagnus angustifolia L.*)، زبان گنجشک (*Fraxinus excelsior*) و سرو خمره‌ای (*Thuja orientalis L.*) در اطراف کارخانه سیمان نهاوند کرده‌اند. آنها به این نتیجه رسیده‌اند که با توجه به قابلیت انباشت فلزات سنگین در گونهٔ سنجد، کاشت این گونه در اطراف کارخانه‌های سیمان مناسب است [۵۴].

بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد علی‌رغم بررسی رابطه میان آلودگی صنعت سیمان و گیاهان، الگوی مشخصی در انتخاب گونه‌های گیاهی در مناطق صنعت سیمان که به‌عنوان مبنا مورد استفاده قرار گیرد در دسترس تصمیم‌گیران نیست. به نظر می‌رسد که چارچوب مفهومی ارائه شده در صورتی که بسط داده شود، می‌تواند به‌عنوان الگویی برای انتخاب و طراحی کاشت گونه‌های گیاهی در فضاهای صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. برهمین اساس، این تحقیق تلاش می‌کند که چارچوبی عملکردی از انتخاب و معرفی گونه‌های گیاهی در پیرامون صنایع سیمان ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

کارخانه سیمان دورود با موقعیت جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی در شهر دورود، یکی از شهرهای استان لرستان قرار دارد. این کارخانه در مجاورت با شهر دورود و در نزدیکی مناطق مسکونی ساخته شده است. آغاز فعالیت کارخانه سیمان دورود به سال ۱۳۳۸ برمی‌گردد. امروزه این کارخانه در سه فاز، ۱، ۲ و ۳ تولیدی به ترتیب ۴۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۵۰۰ تن در روز دارد.

از نظر آب‌وهوایی، شهر دورود که کارخانه سیمان دورود جزئی از آن است، در رده نیمه‌خشک مطابق طبقه‌بندی دومارتن قرار دارد. بر مبنای طبقه‌بندی آمبرژه، این شهر دارای اقلیمی مدیترانه‌ای نیمه‌خشک و نسبتاً سرد است. همچنین این شهر از نظر طبقه‌بندی مناطق رویشی ایران جزء منطقه ایرانی و تورانی کوهستانی است.

مطابق با آمار هواشناسی ۱۰ ساله این شهر (۲۰۲۰-۲۰۱۰)، میانگین حداقل دما در زمستان ۳- درجه و میانگین حداکثر دمایی در فصل تابستان ۳۴ درجه سانتیگراد است. از نظر میانگین بارش نیز متوسط بارش سالانه طی این ۱۰ سال برابر با ۶۶۴ میلیمتر است که بالاترین میزان بارش در استان لرستان است. بیشترین میزان بارش این شهر در دو فصل زمستان و بهار می‌باشد و ماه‌های خشک سال، عموماً تیر و مرداد است.

نظر به کوهستانی‌بودن این شهر و نزدیکی به اشترانکوه، این شهر دارای شبکه منابع آب غنی در قالب رودخانه‌ها و تالاب‌ها می‌باشد و یکی از چالش‌های محیط‌زیستی-مدیریتی آن، انتقال منابع آب موجود این شهر به سایر شهرهاست.

روش تحقیق

همانگونه که ذکر شد، این تحقیق به دنبال آزمون چارچوب پیشنهادی برای تدوین یک مدل مناسب در راستای انتخاب گونه‌های گیاهی برای فضاهای مختلف از جمله منظر صنعتی است. بر این اساس، مدل مفهومی بنیان اصلی کار را تشکیل می‌دهد.

در فرآیند بسط مدل مذکور، این تحقیق بر آن است تا با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مشخصه‌های کیفی در انتخاب گونه‌های گیاهی پیرامون کارخانه‌های سیمان را به شکلی ساختارمند انتخاب، اولویت‌بندی و وزن‌دهی نماید تا علاوه بر پایداری محیطی، صرفه‌جویی اقتصادی و اکولوژیک، درکاهش آلاینده‌های این صنعت مؤثرتر عمل شود.

چارچوب کلی این تحقیق دارای سه گام کلیدی است که عبارتند از تبیین شرایط محیطی، تبیین ویژگی‌های گونه‌های گیاهی احتمالی، و تحلیل رابطه میان محیط و گیاه و انتخاب گونه‌های مناسب. این بخش، اصلی‌ترین کار تحقیق را در بر می‌گیرد که شامل پنج گام اساسی است: ۱) گزینش معیارهای تأثیرگذار در انتخاب گیاهان جهت کاشت در پیرامون کارخانه های سیمان؛ ۲) وزن‌دهی به معیارها؛ ۳) تدوین فرمول انتخاب گونه‌های گیاهی؛ ۴) انتخاب سبد گیاهی؛ و ۵) غربال گونه‌های گیاهی مناسب برای کاشت در پیرامون کارخانه‌های سیمان.

گام اول: گزینش معیارهای تأثیرگذار در انتخاب گونه‌های گیاهی

این گام ابتدا با استفاده از مرور منابع معتبر علمی و مصاحبه با کارشناسان و متخصصان، معیارهای بالقوه تأثیرگذار بر روند انتخاب گونه‌های گیاهی در فضاهای سبز کارخانه‌های سیمان مشخص شد. در این مرحله سعی شد معیارهایی برای ورود به مدل‌های آنالیز چندمتغیره انتخاب شوند که در متون علمی معتبر تکرار بیشتری داشته و منطبق با شرایط جغرافیایی، اقلیمی و واقعیت‌های محدوده مطالعاتی باشند. به‌طورکلی، معیارهای انتخاب گونه‌های گیاهی جهت کاشت در پیرامون فضاهای صنعتی مشتمل بر دو دسته است: معیارهای اولیه و معیارهای ثانویه.

معیارهای اولیه آن دسته از معیارهای محیطی و اقلیمی که برای معرفی هر گونه گیاهی به هر منطقه‌ای لازم است و بدون در نظر گرفتن این معیارها امکان معرفی گونه گیاهی در محیط وجود ندارد. برای مثال، مقاومت نسبت به سرمای زمستانه، مقاومت به خشکی و یا شوری

خاک از معیارهای اولیه برای معرفی یک گونه گیاهی جهت کاشت در یک محل مشخص است.

معیارهای اولیه مطابق با شرایط محدوده‌های جغرافیایی مختلف، متفاوت هستند و عوامل محیطی محدودکنندهٔ رشد گیاهان می‌باشند. سازگاری با حداقل دمای سالانه، سازگاری با میزان بارش و رطوبت نسبی، سازگاری با سرعت وزش باد، سازگاری با شرایط آفتاب، سازگاری با شرایط شوری، قلیایی و اسیدی خاک و سازگاری با ضعف مواد مغذی خاک از معیارهای اولیه مهم انتخاب گونه‌های گیاهی است.

در رابطه با شیوه تأثیرگذاری معیارهای اولیه در فرآیند انتخاب گونه‌های گیاهی می‌توان به قانون کمینه لیبیگ[1] استناد کرد. مطابق با این قانون، امکان انتخاب گونه‌های گیاهی در یک شرایط محیطی به فاکتورهای محدودکنندهٔ رشد آن گیاه وابسته است. بنابراین، معیارهای تأثیرگذار اولیه را نمی‌توان وزن‌دهی نمود چراکه تمامی آنها با هم در معرفی و رشد یک گونه گیاهی در یک شرایط اقلیمی مشخص دارای تأثیر می‌باشند. برایی مثال، در غرب کشور ایران، امکان معرفی موز به‌عنوان گونه گیاهی مناسب وجود ندارد چراکه به سرمای زمستانه محیط حساس است هرچند از نظر بقیه معیارها دارای مناسبت قابل قبولی باشد.

معیارهای ثانویه، آن دسته از معیارهایی هستند که به ما در انتخاب بهینه گونه‌های گیاهی از بین انبوه گیاهانی که توان رشد در محدوده مطالعاتی را دارند کمک می‌کنند. به عبارت دیگر، با استفاده از این معیارها از بین گیاهانی که امکان رشد در محدوده مطالعاتی را دارند، گونه‌هایی انتخاب می‌شود که بازدهی بیشتری، مثلاً در ترسیب کربن، جذب فلزات سنگین و جذب ریزگردها دارند و در عین حال، برای فون بومی منطقه نیز مفید هستند و جذابیت بصری بالایی دارند. معیارهای اقتصادی مانند هزینه خرید نهال و یا هزینه نگه‌داری را نیز می‌توان از معیارهای ثانویه انتخاب گونه‌های گیاهی دانست و می‌توان برای آنها وزن مشخصی تعریف نمود.

پس از انتخاب فهرست اولیه‌ای از معیارهای مؤثر اولیه و ثانویه در روند انتخاب گونه‌های گیاهی، با استفاده از ترکیب روش‌های دلفی فازی و پرسشنامه خبرگان بر مبنای طیف لیکرت با ۵ طبقه معیارهای مؤثر اولیه و ثانویه در انتخاب گونه‌های گیاهی پیرامون کارخانه‌های سیمان انتخاب شدند.

روش دلفی یک روش انتخاب مبتنی بر نظرات خبرگان است که به دنبال نیل به یک اجماع روی یک موضوع مشخص می‌باشد. در روش دلفی معمولی، نظر خبرگان در قالب اعداد قطعی بیان می‌شود در حالی که افراد خبره از شایستگی‌ها و دانش خود برای ارائه نظرات استفاده می‌کنند و این امر تأکیدکننده وجود عدم‌قطعیت در نظرات ارائه شده در این شرایط است. بنابراین، با کاربست منطق فازی در فرایند تصمیم‌گیری با استفاده از روش دلفی، نقایصی مانند عدم‌اجماع در یک گزینه مشخص، نبود اطلاعات دقیق، تأثیرپذیربودن نظرات خبرگان و تصمیم‌گیرندگان از ذهنیت فردی و دشواری ارائه تمام دانش فرد در قالب تنها یک عدد، مرتفع می‌شود.

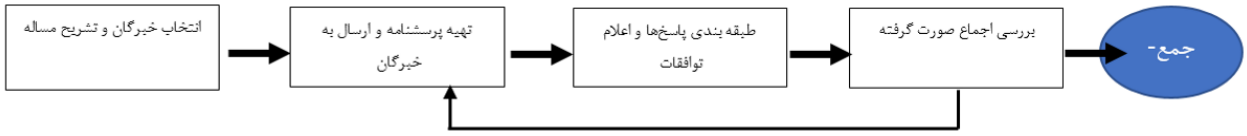
ماهیت روش دلفی متأثر از ذهنیت خبرگان است. بنابراین، این روش در دسته روش‌های نرم تصمیم‌گیری جای دارد. در این روش، جهت سنجش نظرات خبرگان از عبارات کلامی استفاده می‌شود. در حالی که عبارات کلامی در انعکاس کامل دانش ذهنی پاسخ‌دهنده دارای محدودیت‌هایی است. برای مثال، واژه «زیاد» برای فرد A که فرد سخت‌گیری است با عبارت «زیاد» برای فرد B متفاوت است.

اگر برای کمّی‌کردن دیدگاه هر دو فرد از یک عدد قطعی استفاده شود، نتایج دارای عدم‌قطعیت خواهد شد. به بیان دیگر، هرچند در روش دلفی از دانش خبرگان برای اخذ تصمیم استفاده می‌شود، اما کمّی‌کردن دیدگاه خبرگان به روش بیان شده، امکان انعکاس کامل شیوه تفکر خبرگان را ندارد. بنابراین، استفاده از طیف‌های فازی، سازگاری بیشتری با دیدگاه‌های ذهنی انسان دارد و بهتر است که با استفاده از روش فازی به تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت [۲۷].

روش دلفی فازی را می‌توان با دو هدف پیش‌بینی و غربالگری استفاده کرد. اگر هدف پیش‌بینی باشد عموماً در چند دور انجام می‌شود ولی حالت غربالگری در یک دور قابل انجام است. در این تحقیق روش دلفی فازی با هدف

[1]- Liebig's law of the minimum

غربالگری معیارهای مؤثر اولیه و ثانویهٔ انتخاب گیاه استفاده شد. در شکل ۲ چارچوب نظری تکنیک دلفی در تحقیقات ارائه شده است.



شکل ۲- مراحل اجرای روش دلفی فازی

گام دوم: وزن‌دهی به معیارها

از آنجا که میزان و جهت تأثیر در نظر گرفته شده در معیارهای ثانویه دارای وزن‌های متفاوتی می‌باشند، لازم است وزن معیارها و زیرمعیارهای انتخابی مشخص شوند. در این تحقیق با توجه به ماهیت سلسه مراتبی معیارها و زیرمعیارهای موضوع تحقیق از روش تحلیل سلسه مراتبی[1] جهت تعیین وزن تأثیر استفاده شد. در این باره، ابتدا پرسش‌نامه‌ای محقق‌ساخته مطابق با ساختار استاندارد مقایسه زوجی که در روش تحلیل سلسله مراتبی متداول است، تهیه گردید. این پرسشنامه از معیارهای ثانویه انتخابی در مرحله دلفی فازی (گام اول) تشکیل شده بود.

در ادامه، اقدام به نظرسنجی از ۱۱ نفر، از گروه خبرهٔ انتخابی -متشکل از اعضاء هیات علمی در رشته‌های محیط زیست، منابع طبیعی و کشاورزی- شد. پس از بررسی اولیه، پاسخ‌های ۲ نفر از مشارکت‌کنندگان دارای ضریب ناسازگاری بیشتر از یک دهم بودند و کنار گذاشته شدند. بنابراین، مجموعاً ۹ خبره در روند وزن‌دهی به معیارها مشارکت داشتند. خبرگان شرکت‌کننده در تحقیق، در جدول ۲ نشان داده شده است. در روند محاسبات وزن معیارها و ضرایب ناسازگاری از نرم افزار Expert Choice استفاده شد.

گام سوم: تدوین فرمول انتخاب گونه‌های گیاهی

با در نظر گرفتن ماهیت و الگوی تأثیر معیارهای اولیه و ثانویه در انتخاب گونه‌های گیاهی و در نظرگرفتن قانون کمینه لیبگ و استفاده از آن برای دستیابی به راه حل، می‌توان رابطه‌ای برای انتخاب سیستماتیک گونه‌های گیاهی در پیرامون کارخانه‌های سیمان پیشنهاد داد. رابطه ۱ ماهیت این رابطه‌ها را نشان داده است.

$$PSS = Min(SAS)\ (SC) \quad (۱)$$

که در آن، PSS= نمره نهایی گونه‌های گیاهی و SC= نمره معیارهای ثانویه انتخاب گیاهی است که از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$SC = (W_{Re}\ Re) + (W_{Ec}\ Ec) + (W_{as}AS) + (W_sS) + (W_{Eco}Eco) \quad (۲)$$

که در آن، W_{Ec}= وزن معیارهای اقتصادی، Ec= امتیاز معیارهای اقتصادی، W_{as}= وزن امتیاز زیبایی‌شناسی گونه گیاهی، AS= امتیاز زیبایی‌شناسی گونه گیاهی، W_S= وزن معیارهای اجتماعی، S= امتیاز معیارهای اجتماعی، W_{Eco}= وزن معیارهای اقتصادی، و Eco= امتیاز معیارهای اقتصادی.

گام چهارم: انتخاب سبد اولیه گونه‌های گیاهی

برای آزمون میزان تناسب گونه‌های گیاهی با استفاده از چارچوب پیشنهادی این تحقیق، ۷ گونه درخت از گونه‌های گیاهی پایدار و کهنسال موجود در شهرستان و گونه‌های گیاهی بومی دارای ارزش زیبایی‌شناسی، محیط‌زیستی و اقتصادی از طریق برداشت میدانی و مصاحبه با کارشناسان اداره منابع طبیعی، شناسایی گردید. جهت تکمیل سبد انتخاب گیاهی اولیه و شناسایی صفات گیاه‌شناسی از متون علمی معتبر استفاده شد [۴۰، ۴۹].

[1]- Analytical Hierarchy Process (AHP)

جدول ۲- مشخصات گروه خبره مشارکت در روند وزن‌دهی به معیارها و زیر معیارها

مشارکت‌کنندگان	سن	مدرک تحصیلی	تخصص	شغل و مرتبه علمی	سابقه اشتغال
خبره ۱	۴۸	دکتری	آبخیزداری	عضو هیات علمی	بیشتر از ۱۰ سال
خبره ۲	۳۹	دکتری	علوم باغبانی	عضو هیات علمی دانشگاه	بیشتر از ۱۰ سال
خبره ۳	۴۹	دکتری	مدیریت، برنامه‌ریزی و آموزش محیط‌زیست	عضو هیات علمی دانشگاه	بیشتر از ۱۰ سال
خبره ۴	۴۳	دکتری	زراعت و اصلاح نباتات	مدیر ارشد دستگاه‌های اجرایی	بین ۸ تا ۱۰ سال
خبره ۵	۶۰	دکتری	معماری منظر	عضو هیات علمی دانشگاه	بیشتر از ۱۰ سال
خبره ۶	۴۱	دکتری	جنگل‌داری	عضو هیات علمی دانشگاه	بیشتر از ۱۰ سال
خبره ۷	۴۲	کارشناس ارشد	مهندسی فضای سبز	مهندس مشاور	بیشتر از ۱۰ سال
خبره ۸	۴۰	دکتری	علوم و مهندسی محیط‌زیست	عضو هیات علمی دانشگاه	بیشتر از ۱۰ سال
خبره ۹	۳۹	دکتری	مهندسی مرتع‌داری	عضو هیات علمی	بین ۸ تا ۱۰ سال

گام پنجم: امتیازدهی و انتخاب گونه‌های مناسب

در روند امتیازدهی به ۷ درخت انتخابی در گام چهارم تحقیق، از مرور متون معتبر علمی و رجوع به منابع گیاه‌شناسی بهره گرفته شد.

نتایج

گام اول: گزینش معیارهای اولیه و ثانویه تأثیرگذار در انتخاب گونه های گیاهی

گزینش معیارهای اولیه

همانگونه که در روش تحقیق بیان شد، در روند انتخاب معیارهای اولیه انتخاب گیاهان از روش دلفی فازی و رجوع به نظرات خبرگان استفاده شد. بر این مبنا، پس از تجزیه و تحلیل نظرات خبرگان با استفاده از دلفی فازی با هدف غربال معیارهای اولیه و ثانویه، نظرات خبرگان در ۶ حد آستانه ۳، ۳/۵، ۳/۷، ۳/۸، ۳/۹ و ۴ طبقه‌بندی شد که بر اساس نظر کارشناسی و با توجه به هدف تحقیق حدآستانه ۳/۹ انتخاب شد. بر این مبنا، ۷ معیارهای اولیه و ۱۲ معیار ثانویه به عنوان معیارهای تأثیرگذار در روند انتخاب گونه‌های گیاهی مشخص شدند.

اطلاعات توصیفی پاسخ‌های خبرگان در گام اول تحقیق در جدول ۳ آمده است. مطابق با این جدول، ماتریس روابط متقابل در معیارهای اولیه و ثانویه بر اساس شاخص‌های آماری با دو بار چرخش داده‌ها از مطلوبیت و بهینه‌شدگی صددرصدی برخوردار شد که این موضوع نشان‌دهنده روایی بالای پرسش‌نامه و پاسخ‌های آن است.

نرخ پرشدگی که درصد سلول‌های پرشده غیر از صفر (سلول‌هایی با ارزش‌های ۱، ۲، ۳ و P) به کل سلول‌ها است، میزان پیچیدگی روابط در سامانه را نشان می‌دهد، هرچه نرخ پرشدگی ماتریس بیشتر باشد، پیچیدگی روابط مستقیم بین متغیرها بیشتر بوده و در این شرایط تمرکز بر روابط غیرمستقیم و بالقوه با عدم‌قطعیت بیشتری همراه خواهد بود.

جدول ۳- اطلاعات توصیفی تحلیل دلفی فازی

شاخص	اندازه ماتریس	تعداد دور	تعداد صفرها (بدون تأثیر)	تعداد یک‌ها (با تأثیر اندک)	تعداد دوها (تأثیر متوسط)	تعداد سه‌ها (تأثیر زیاد)	تعداد pها (تأثیر بالقوه)	تعداد کل	درصد پرشدگی
معیارهای اولیه	۱۲×۱۲	۸	۲۱	۳۶	۵۵	۲۴	۰	۱۴۴	۱۰۰

نتایج حاصل از غربال معیارهای اولیه تأثیرگذار در جدول ۴ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است از ۱۲ معیار اولیه بررسی شده، چهار معیار به‌عنوان معیارهای تأثیرگذار تأیید شدند. نتایج حاصل از نظرات خبرگان و تحلیل آن با استفاده روش دلفی فازی نشان داد که سازگاری با حداکثر دما، میزان نور، شرایط زهکشی خاک، رطوبت نسبی، فلزات سنگین، خاک سنگلاخی، سرعت وزش باد و سازگاری با خاک با مواد مغذی کم، واجد شرایط لازم برای انتخاب به‌عنوان معیارهای اولیه تأثیرگذار در پیرامون کارخانه سیمان شهر دورود هستند.

در مقابل، معیارهای سازگاری با حداقل دما، سازگاری با کم آبی، سازگاری با خاک قلیایی و سازگاری با شوری خاک در روند تحلیل نتایج مورد تأیید قرار گرفتند. بنابراین، این معیارها در فرآیند انتخاب گونه‌های گیاهی جهت کاشت پیرامون کارخانه سیمان دورود هر کدام از این معیارها مطابق با قانون حداقل لیبیگ عمل می‌کنند به شکلی که تنها گونه‌های گیاهی که سازگاری قابل قبولی در مواجه با تمامی این چهار معیار داشته باشند امکان کاشت خواهند داشت.

گزینش معیارهای ثانویه

دسته معیارهای ثانویه با هدف انتخاب بهینه گونه‌های گیاهی جهت برآورد اهداف ثانوی کاشت گون‌های گیاهی تنظیم شده است و به ما کمک می‌کند گونه‌هایی را انتخاب کنیم که مثلاً بازدهی بالاتری از نظر کاهش آلاینده‌های محیطی دارند، هزینه مدیریت و نگهداری آن زیاد نیست و امکان استفاده جانبی اقتصادی از آنها فراهم است. برای انتخاب معیارهای ثانویه تأثیرگذار در روند معرفی گونه‌های گیاهی از مرور متون علمی معتبر استفاده شد.

معیارها و زیر معیارهای انتخاب شده برای انتخاب مؤثر گونه‌های گیاهی در پیرامون کارخانه‌های سیمان در شکل ۳ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است معیارهای ثانویه مشتمل بر معیارهای تاب‌آوری، اقتصادی، اکولوژیک، زیبایی‌شناسی و اجتماعی است. هر کدام از این معیارها دارای زیر معیارهایی می‌باشد که وزن متفاوتی در روند انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای کارخانه‌های سیمان دارد.

گام دوم: وزن‌دهی به معیارها

از آنجا که معیارهای ثانویه در نظر گرفته شده دارای وزن‌های متفاوتی می‌باشند و دارای ساختار سلسله مراتبی هستند، جهت وزن‌دهی این معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. وزن‌دهی به معیارهای ثانویه با رجوع به نظرات خبرگان صورت پذیرفت. نتایج با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice مورد بررسی قرار گرفت و وزن‌های زیرمعیارها و معیارهای انتخاب شده در روند انتخاب گونه‌های گیاهی مشخص شد.

نتایج حاصل از وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در جدول ۵ نشان داده شده است. به طور کلی، دسته معیارهای مربوط به تاب‌آوری گونه‌های گیاهی دارای بیشترین وزن نسبی می‌باشند. این در حالی است که معیارهای اجتماعی و زیبایی‌شناسی از کمترین وزن نسبی برخوردار هستند. اضافه بر این، همانگونه که مشخص است زیر معیارهای توان خلق زیستگاه، توان ترسیب کربن، توان کاهش ریزگردها، توان کاهش SO_2 و توانایی آبیاری با پساب، دارای بیشترین وزن و معیار جلوه زمستان دارای کمترین وزن در روند انتخاب گونه‌های گیاهی در پیرامون کارخانه‌های سیمان دارد.

گام سوم، چهارم و پنجم: امتیازدهی و انتخاب گونه‌های مناسب

امتیازدهی معیارهای اولیه

همانگونه که در جدول ۶ مشخص است، گونه‌های گیاهی بر مبنای معیارهای اولیه انتخابی دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند. برای مثال، چنار با این که سازگاری مناسبی نسبت به حداقل دما و کم آبی دارد اما نسبت به خاک‌های قلیایی و شوری دارای تاب‌آوری ضعیف است.

جدول ۴- نتایج انتخاب معیارهای اولیه با استفاده از روش دلفی فازی

شماره سؤال		ارزش فازی سؤالات			مقدار قطعی	وضعیت شاخص
		L	M	U		
۱	سازگاری با حداقل دما	۳	۴/۱۸	۵	۴/۰۶	تأیید
۲	سازگاری با حداکثر دما	۱	۲/۹۱	۴	۲/۶۳	رد
۳	سازگاری با کم آبی	۳	۳/۹۳	۵	۳/۹۷	تأیید
۴	سازگاری با میزان نور	۱	۲/۲۶	۴	۲/۴۲	رد
۵	سازگاری با زهکشی کم خاک	۲	۳/۲۴	۵	۳/۴۱	رد
۶	سازگاری با خاک قلیایی	۲	۳/۵۳	۵	۳/۵۱	تأیید
۷	سازگاری با رطوبت نسبی	۲	۳/۴۹	۵	۳/۴۹	رد
۸	سازگاری با شوری خاک	۲	۳/۷۱	۵	۳/۵۷	تأیید
۹	سازگاری با غلظت بالای فلزات سنگین	۲	۳/۲۳	۵	۳/۴۱	رد
۱۰	سازگاری با خاک سنگلاخی	۱	۲/۶۹	۴	۲/۵۶	رد
۱۱	سازگاری با سرعت وزش باد	۱	۲/۷۴	۵	۲/۹۱	رد
۱۲	سازگاری با خاک ضعیف	۲	۳/۳۶	۵	۳/۴۵	رد

اگر مبنای انتخاب تاب‌آوری نسبت به معیارهای اولیه را توان متوسط گونه گیاهی در نظر بگیریم می‌توان نتیجه‌گیری کرد که زیتون تلخ و سنجد معمولی در همه معیارهای اولیه دارای توان قابل قبول هستند. این در حالی است که طبق قانون کمینه لیبیگ، گونه‌های گیاهی چنار، توت سفید، زبان‌گنجشک و گز شاهی حداقل در یکی از معیارهای اولیه دارای توان ضعیف و بسیار ضعیف می‌باشند و مناسب برای معرفی در پیرامون کارخانه سیمان دورود نیستند.

امتیازدهی معیارهای ثانویه

به همین صورت، امتیازبندی گونه‌های گیاهی در معیارهای ثانویه در پنج مقیاس بسیار خوب (۵)، خوب (۴)، متوسط (۳)، ضعیف (۲) و بسیار ضعیف (۱) ادامه یافت و نتایج این امتیازبندی در جدول ۷ آورده شده است. همانگونه که مشخص است، گونه‌های گیاهی انتخابی توانایی متفاوتی در برآورد معیارهای ثانویه دارند. برای مثال، در معیارهای اجتماعی آلرژی‌زانبودن، امتیاز درختان چنار و سنجد پایین است در حالی که زیتون تلخ گونه گیاهی آلرژی‌زایی نیست.

انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب

پس از مرور متون علمی و امتیازدهی به گونه‌های گیاهی بر مبنای معیارهای اولیه و ثانویه، این امتیازها با استفاده از رابطه ۱ تجمیع خواهد شد. بر مبنای جدول ۶، برخی گونه‌های گیاهی در برخی معیارهای اولیه دارای ضعف هستند. بر این مبنا، ضعف درخت چنار در سازگاری با خاک قلیایی و سازگاری با شوری، و ضعف توت سفید در سازگاری با خاک قلیایی از جمله این موارد هستند. در مقابل، درختان کاج تهران، زیتون تلخ، سنجد و توت سفید به عنوان گونه‌های گیاهی که از نظر معیارهای اولیه دارد شرایط لازم هستند، امتیازهای قابل قبولی در بخش معیارهای اولیه گرفته‌اند.

پس از امتیازدهی کلی گونه‌های گیاهی بر مبنای معیارهای اولیه و ثانویه، با به کاربردن رابطه‌های ۱ و ۲، امتیاز نهایی گونه‌های گیاهی جهت کاشت در پیرامون کارخانه سیمان دورود محاسبه شد.

جدول ۸ نتایج نهایی انتخاب گونه‌های گیاهی را نشان داده است. همانگونه مشخص است، بیشترین امتیاز مربوط به درختان کاج تهران و سنجد می‌باشد که نشان دهنده مناسب‌بودن بالای این گونه‌های گیاهی جهت معرفی در محدوده مطالعاتی است. در مقابل، درختان گز و چنار کمترین امتیاز را بدست آورده‌اند که تأکیدکننده این

واقعیت است که از تناسب کمتری جهت معرفی در این فضاها برخوردار هستند.

نتایج این تحقیق نشان داد که هرچند توت سفید و زیتون تلخ دارای ارجحیت کمتری نسبت به درخت سنجد در زمینه استفاده در کاشت پیرامون کارخانه‌های سیمان است، با این حال می‌توان از ترکیب این سه گونه گیاهی جهت خلق تنوع بیشتر در فضاهای سبز پیرامون کارخانه متبوع استفاده نمود.

شکل ۳- معیارهای ثانوی انتخاب بهینه گونه‌های گیاهی در پیرامون کارخانه‌های سیمان

بحث

هدف این تحقیق ارائه چارچوبی سیستماتیک برای انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای توسعه فضای سبز اطراف کارخانه‌های سیمان بود. در ابتدا، مدل مفهومی از چگونگی تعامل گونه‌های گیاهی با محیط در پیرامون مناطق صنعتی ارائه شد که مشتمل بر سه بعد اصلی رابطه با محیط طبیعی، ویژگی‌های گونه‌های گیاهی و آلاینده‌های منظر صنعتی است.

بر مبنای این مدل مفهومی، چارچوبی عملکردی از انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب در توسعه زیرساخت‌های سبز در پیرامون فضاهای صنعتی ارائه شد. این چارچوب شامل چهار مرحله انتخاب معیارهای مؤثر، وزن‌دهی معیارها، انتخاب سبد انتخاب گیاهی و غربال گونه‌های گیاهی مناسب بود. انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب پیرامون کارخانه‌های سیمان دارای ضرورت محیط‌زیستی، زیبایی‌شناسی، اقتصادی و اجتماعی می‌باشد که در متون علمی متعدد مورد تأکید قرار گرفته است.

جدول ۵- وزن معیارهای ثانوی انتخاب گیاهان و ضریب ناسازگاری

وزن نهایی	ضریب ناسازگاری	وزن تخمین زده شده زیرمعیارها	ریزمعیارهای انتخاب گیاه	وزن معیارها	معیارها
۰/۰۹۲۸	۰/۰۲	۰/۲۱۷	توان کاهش ریزگردها	۰/۴۲۸	معیارهای تاب‌آوری
۰/۰۲۰	۰/۰۲	۰/۰۴۹	توان جذب فلزات سنگین		
۰/۰۸۹	۰/۰۲	۰/۲۰۹	توان جذب SO_2		
۰/۱۴۵	۰/۰۲	۰/۳۳۹	توان ترسیب کربن		
۰/۰۷۹	۰/۰۲	۰/۱۸۶	توان آبیاری با پساب تصفیه شده		
۰/۰۴۵	۰/۰۶	۰/۲۴۶	مقاومت به آفات	۰/۱۸۶	معیارهای اقتصادی
۰/۰۴۲	۰/۰۶	۰/۲۲۶	مقاومت به بیماری		
۰/۰۳۱۸	۰/۰۶	۰/۱۷۱	عدم‌نیاز به آبیاری منظم		
۰/۰۲۳	۰/۰۶	۰/۱۲۹	ارزش اقتصادی		
۰/۰۱۵	۰/۰۶	۰/۰۸۳	مقرون به صرفه بودن		
۰/۰۲۶	۰/۰۶	۰/۱۴۵	سهولت خرید		
۰/۰۳۵	۰/۰۱	۰/۱۶۳	همخوان‌بودن با شرایط اکولوژیک منطقه	۰/۲۱۹	معیارهای اکولوژیک
۰/۱۱۸	۰/۰۱	۰/۵۴	توان خلق زیستگاه برای فون بومی		
۰/۰۶۵	۰/۰۱	۰/۲۹۷	سرعت رشد گیاه		
۰/۰۳۶	۰/۰۲	۰/۳۸۵	جلوه پاییز	۰/۰۹۶	معیارهای زیبایی شناسی
۰/۰۳۴	۰/۰۲	۰/۳۶۴	جلوه بهار		
۰/۰۰۸۲	۰/۰۲	۰/۰۸۶	جلوه زمستان		
۰/۰۱۵۸	۰/۰۲	۰/۱۶۵	جلوه تابستان		
۰/۰۰۸۶	۰/۰۲	۰/۱۲۲	خلق سایه	۰/۰۷۱	معیارهای اجتماعی
۰/۰۳۹۶	۰/۰۲	۰/۵۵۸	آلرژی‌زا نبودن		
۰/۰۲۲	۰/۰۲	۰/۳۲	خلق هویت برای محیط		

جدول ۶- امتیازدهی گونه‌های گیاهی انتخابی بر مبنای معیارهای اولیه

		معیارهای اولیه انتخابی			
گونه گیاهی	نام علمی	سازگاری با حداقل دما	سازگاری با کم آبی	سازگاری با خاک قلیایی	سازگاری با شوری
چنار	*Platanus orientalis*	بسیار خوب [۳]	متوسط [۶۱]	ضعیف [۳]	ضعیف [۳]
زیتون تلخ	*Melia azedarach*	خوب [۲۸]	خوب [۲۱]	خوب [۳۶]	خوب [۳۷]
توت سفید	*Morus alba*	بسیار خوب [۱]	خوب [۶۳]	خوب [۵۳]	خوب [۱۶]
زبان گنجشک	*Fraxinus excelsior*	خوب [۲۲]	ضعیف [۱۲]	ضعیف [۳۲]	ضعیف [۲۲]
سنجد	*Eleagnus angustifolia*	خوب [۴۸]	خوب [۴۸]	بسیار خوب [۴۳]	بسیار خوب [۴۳]
گز	*Tamarix gallica*	ضعیف [۱۱]	خوب [۱۱]	بسیار خوب [۱۰]	بسیار خوب [۱۰]
کاج تهران	*Pinus eldarica*	بسیار خوب [۶۲]	بسیار خوب [۶۲]	بسیار خوب [۵۶]	خوب[۵۶]

جدول ۷- وزن معیارهای ثانوی انتخاب گیاهان و ضریب ناسازگاری

		وزن		نمونه رتبه‌بندی چند گونه گیاهی						
	ریزمعیارهای انتخاب گیاه	تخمین‌زده شده معیارها	ضریب ناسازگاری	چنار	زیتون تلخ	توت سفید	زبان گنجشک	سنجد	گز	کاج تهران
معیارهای تاب‌آوری	توان کاهش ریزگردها	۰/۲۱۷	۰/۰۲	۳	۲	۳	۳	۴	۲	۳
	توان جذب فلزات سنگین	۰/۰۴۹	۰/۰۲	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۳
	توان جذب SO2	۰/۲۰۹	۰/۰۲	۳	۳	۲	۲	۲	۳	۲
	توان ترسیب کربن	۰/۳۳۹	۰/۰۲	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۳
	توان آبیاری با پساب تصفیه شده	۰/۱۸۶	۰/۰۲	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۴
معیارهای اقتصادی	مقاومت به آفات	۰/۲۰۱	۰/۰۶	۴	۵	۴	۵	۴	۴	۵
	مقاومت به بیماری	۰/۲۰۶	۰/۰۶	۴	۵	۴	۳	۴	۴	۵
	عدم نیاز به آبیاری منظم	۰/۱۴۵	۰/۰۶	۴	۵	۳	۳	۴	۵	۴
	ارزش اقتصادی	۰/۱۰۶	۰/۰۶	۳	۲	۳	۲	۳	۲	۳
	مقرون به صرفه بودن	۰/۰۷۱	۰/۰۶	۴	۵	۴	۳	۳	۴	۵
	سهولت خرید	۰/۱۲۷	۰/۰۶	۴	۵	۴	۵	۳	۲	۵
معیارهای اکولوژیک	همخوان‌بودن با شرایط اکولوژیک منطقه	۰/۱۶۳	۰/۰۱	۴	۴	۵	۳	۵	۳	۳
	توان خلق زیستگاه برای فون بومی	۰/۵۴۰	۰/۰۱	۳	۳	۵	۳	۵	۳	۲
	سرعت رشد گیاه	۰/۲۹۷	۰/۰۱	۳	۴	۴	۴	۳	۲	۴
معیارهای زیبایی‌شناسی	جلوه پاییز	۰/۳۸۵	۰/۰۲	۵	۲	۳	۳	۴	۲	۲
	جلوه بهار	۰/۳۶۴	۰/۰۲	۴	۳	۳	۳	۵	۳	۳
	جلوه زمستان	۰/۰۸۶	۰/۰۲	۳	۵	۳	۳	۵	۲	۴
	جلوه تابستان	۰/۱۶۵	۰/۰۲	۵	۴	۳	۵	۴	۴	۳
معیارهای اجتماعی	خلق سایه	۰/۱۲۲	۰/۰۲	۵	۵	۵	۵	۵	۳	۵
	آلرژی‌زانبودن	۰/۵۵۸	۰/۰۲	۲	۵	۳	۳	۲	۲	۵
	خلق هویت برای محیط	۰/۳۲۰	۰/۰۲	۵	۳	۴	۳	۵	۳	۲

جدول ۸- امتیازهای نهایی گونه‌های گیاهی نمونه برای معرفی در پیرامون کارخانه سیمان دورود

	کاج تهران	گز	سنجد	زبان گنجشک	توت سفید	زیتون تلخ	چنار
امتیاز کلی	۱۶/۳۹	۱۳/۵۲	۱۸/۴۴	۱۸/۴۴	۱۷/۱۸	۱۷/۵۱	۱۷/۲۷
کمینه نمرات معیارهای اولیه	۴	۲	۳	۲	۳	۳	۲
امتیاز نهایی هر گونه گیاهی	۶۵/۵۹	۲۷/۰۴	۵۵/۳۴	۳۶/۸۹	۵۱/۵۴	۵۲/۵۵	۳۴/۵۴

در این تحقیق از روش دلفی فازی برای شناسایی معیارهای مناسب انتخاب گونه‌های گیاهی استفاده شد. کاربست روش دلفی فازی جهت غربال‌گری معیارهای مهم از بین انبوه معیارهای معرفی شده روش معتبری است که در بسیاری از متون علمی توصیه شده است [۱۳، ۲۷، ۶۰].

در ادامه از روش تحلیل سلسه مراتبی جهت وزن‌دهی به معیارهای غربال‌شده استفاده شد. به‌کار بردن این روش جهت وزن‌دهی معیارهای انتخاب گونه‌های گیاهی در

مطالعات مختلفی به‌کار برده شده است [۱۸]. در این تحقیق ضریب ناسازگاری برای تمامی معیارهای انتخابی کمتر از ۰/۱ محاسبه شد که نشان از دقت بالای مقایسه زوجی بین معیارهای انتخابی است.

یکی از مشکلات معرفی گونه‌های گیاهی در مناطق صنعتی دوگانه‌هایی است که روند انتخاب تصمیم‌گیران با آن مواجه هستند مانند دوگانه کاهش هزینه‌های اقتصادی و انتخاب گونه‌های مقاوم به محیط‌های آلوده و یا دوگانه توجه به ویژگی‌های زیبایی‌شناسی گونه گیاهی یا توجه به قابلیت پایداری در محیط.

روش تحقیق پیشنهادشده در این تحقیق، پاسخ روشنی به شیوه مواجه با این مسأله فراهم آورده است. بر مبنای روش‌شناسی این تحقیق، دسته معیارهای حیاتی جهت رشد و دوام گونه گیاهی در محیط، در قالب معیارهای اولیه قابلیت وزن‌دهی ندارد و گونه‌های گیاهی باید حداقل‌های لازم این ویژگی‌ها را در محیط دارا باشند. در مقابل، معیارهای ثانویه مشتمل بر معیارهی اجتماعی، اقتصادی، تاب‌آوری، زیبایی‌شناسی و اکولوژیک با توجه به محیط و اولویت‌های توسعه امکان وزن‌دهی و ترتیب اثر در روند انتخاب گونه‌های گیاهی را دارند.

نتایج این تحقیق مطابق با یافته‌های عسگرزاده و همکاران (۲۰۱۴) است که نشان داد که گونه‌های گیاهی بومی مانند سنجد و توت سفید دارای قابلیت بالایی جهت سازگاری در مناطق پرتنش می‌باشند [۷]. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که درخت سنجد دارای بیشترین تناسب جهت کاشت در پیرامون کارخانه سیمان دورود است. این یافته منطبق با برخی مطالعات است که درخت سنجد را درخت مناسبی جهت کاشت در پیرامون کارخانه سیمان نهاوند پیشنهاد داد [۵۴]. همچنین نتایج این تحقیق هم‌راستا با برخی مطالعات که گونه گیاهی سنجد را گونه موفقی در سازگاری با خاک های شور و قلیایی معرفی کردند، سازگار است [۴۳].

یافته‌های این تحقیق نشان داد که گونه‌های گیاهی غیربومی مانند زیتون تلخ و کاج تهران پتانسیل بالایی جهت استفاده در پیرامون کارخانه سیمان دورود دارا هستند.

در حقیقت با توجه به تنش‌های مختلف و متنوعی که در پیرامون مناظر صنعتی وجود دارد، این امکان نیز هست که گونه‌های گیاهی بومی با این شرایط دستخورده ناسازگار باشند. بنابراین لازم است بررسی دقیقی پیرامون استفاده از گونه‌های گیاهی غیربومی در قالب مطالعات امکان‌سنجی معرفی گونه‌های غیربومی، آزمون در قالب پایلوت‌های مختلف و برررسی کارایی گونه‌های بومی و ارتباط آنها با اکوسیستم پیرامون صورت گیرد تا بتوان از پتانسیل این منابع ژنتیکی زیست‌کره در رفع چالش‌های مناطق صنعتی استفاده نمود [۳۳].

نتیجه‌گیری

هدف این مطالعه ارائه روشی نظامند در انتخاب گونه‌های گیاهی پیرامون فضاهای صنعتی است. در ابتدا مدل مفهومی از رابطه گیاه با محیط در پیرامون مناطق صنعتی شکل گرفت که مبتنی بر نیاز گیاه، سازگاری با محیط و تاب‌آوری در مواجه با آلاینده‌ها بود.

بر مبنای این مدل مفهومی، چارچوبی عملکردی از انتخاب بهینه گیاهان بدست آمد که مشتمل بر چهار مرحله است: شناسایی معیارهای مؤثر، معیارهای وزن‌دهی، ایجاد سبد انتخاب گیاهی و غربالگری گونه‌های گیاهی مناسب.

این چارچوب دارای انعطاف‌پذیری کافی برای حذف یا اضافه نمودن معیارهای دیگر است تا با شرایط محیطی و آلاینده‌های صنایع دیگر سازگار شود. بنابراین می‌توان این مدل را برای انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب جهت توسعه زیرساخت‌های سبز در صنایع مختلف پیشنهاد داد.

نتایج تحقیق نشان داد که درختان کاج تهران، سنجد، توت سفید و زیتون تلخ مناسب‌ترین گونه از بین هفت گونه گیاهی مطالعه شده است. این خود، نشان‌دهندهٔ مناسب‌بودن زیاد این گونه‌های گیاهی به‌منظور معرفی در محدوده مطالعاتی است. در مقابل، درختان گز و چنار کمترین امتیاز را بدست آورده‌اند که تأکیدکننده این واقعیت است که از تناسب کمتری جهت معرفی در این فضاها برخوردار هستند. نتایج این تحقیق نشان داد که هرچند توت سفید و زیتون تلخ دارای ارجحیت کمتری نسبت به درخت سنجد در زمینه استفاده در کاشت

پیرامون کارخانه‌های سیمان است، با این حال می‌توان از ترکیب این سه گونه گیاهی جهت خلق تنوع بیشتر در فضاهای سبز پیرامون کارخانه متبوع استفاده نمود.

این تحقیق دارای محدودیت‌هایی است که با رفع آن در تحقیق‌های آتی، می‌تواند مورد توجه محققان قرار گیرد. یکی از محدودیت‌های تحقیق، انتخاب تنها هفت نمونه گونه گیاهی برای رتبه‌بندی با استفاده از چارچوب عملکردی پیشنهاد شده است. در مطالعات آتی می‌توان حجم بالاتری از نمونه‌های گیاهی را جهت رتبه‌بندی و انتخاب بهینه گونه‌های گیاهی به کار برد.

References

[1]. Adolf, A., Liu, L., Ackah, M., Li, Y., Du, Q., Zheng, D., Guo, P., Shi, Y., Lin, Q., & Qiu, C. (2021). Transcriptome profiling reveals candidate genes associated with cold stress in mulberry. *Brazilian Journal of Botany*, 44, 125-137.

[2]. Ahmed, M., Bashar, I., Alam, S. T., Wasi, A. I., Jerin, I., Khatun, S., & Rahman, M. (2021). An overview of Asian cement industry: Environmental impacts, research methodologies and mitigation measures. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 1018-1039.

[3]. Aksoy, Ö. K. (2022). Predicting the Potential Distribution Area of the Platanus orientalis L. in Turkey Today and in the Future. *Sustainability*, *14*(18), 11706.

[4]. Alotaibi, M. D., Alharbi, B. H., Al-Shamsi, M. A., Alshahrani, T. S., Al-Namazi, A. A., Alharbi, S. F., Alotaibi, F. S., & Qian, Y. (2020). Assessing the response of five tree species to air pollution in Riyadh City, Saudi Arabia, for potential green belt application. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(23), 29156-29170. doi: 10.1007/s11356-020-09226-w

[5]. Alves, F. M., Gonçalves, A., & del Caz-Enjuto, M. R. (2022). The Use of Envi-Met for the Assessment of Nature-Based Solutions' Potential Benefits in Industrial Parks—A Case Study of Argales Industrial Park (Valladolid, Spain). *Infrastructures*, *7*(6), 85.

[6]. Arachchige, U. S., Alagiyawanna, A., Balasuriya, B., Chathumini, K., Dassanayake, N., & Devasurendra, J. (2019). Environmental pollution by cement industry, *International Journal of Research*, *6*(8), 631-635.

[7]. Asgarzadeh, M., Vahdati, K., Lotfi, M., Arab, M., Babaei, A., Naderi, F., Pir Soufie, M., & Rouhani, G. (2014). Plant selection method for urban landscapes of semi-arid cities (a case study of Tehran). *Urban Forestry & Urban Greening*, *13*(3), 450-458. doi: 10.1016//j.ufug.2014.04.006

[8]. Bayouli, I. T., Bayouli, H. T., Dell'Oca, A., Meers, E., & Sun, J. (2021). Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment. *Ecological Indicators*, 125, 107508. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107508

[9]. Belaïd, F. (2022). How does concrete and cement industry transformation contribute to mitigating climate change challenges? *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 15, 200084. doi: 10.1016/j.rcradv.2022.200084

[10]. Bencherif, K., Boutekrabt, A., Dalpé, Y., & Sahraoui, A. L.-H. (2016). Soil and seasons affect arbuscular mycorrhizal fungi associated with Tamarix rhizosphere in arid and semi-arid steppes. *Applied Soil Ecology*, 107, 182-190. doi: 10.1016/j.apsoil.2016.06.003

[11]. Bencherif, K., Trodi, F., Hamidi, M., Dalpè, Y., Hadj-Sahraoui, A.L. (2020). Biological Overview and Adaptability Strategies of Tamarix Plants, T. articulata and T. gallica to Abiotic Stress. In: Giri, B., Sharma, M.P. (eds) Plant Stress Biology. Springer. doi.org/10.1007/978-981-15-9380-2_14

[12]. Broadmeadow, M. S., & Jackson, S. (2000). Growth responses of Quercus petraea, *Fraxinus excelsior* and *Pinus sylvestris* to elevated carbon dioxide, ozone and water supply. *New Phytologist*, *146*(3), 437-451. doi: 10.1046/j.1469-8137.2000.00665.x

[13]. Bui, T. D., Tsai, F. M., Tseng, M.-L., & Ali, M. H. (2020). Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. *Resources, Conservation and Recycling*, *154*(4),

104625. doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104625

[14]. Busch, P., Kendall, A., Murphy, C. W., & Miller, S. A. (2022). Literature review on policies to mitigate GHG emissions for cement and concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 182, 106278. doi: 10. 1016/j.resconrec.2022.106278

[15]. Carlucci, M. B., Brancalion, P. H., Rodrigues, R. R., Loyola, R., & Cianciaruso, M. V. (2020). Functional traits and ecosystem services in ecological restoration. *Restoration Ecology*, *28*(6), 1372-1383. doi: 10.1111/rec.13279

[16]. Chen, S., & Yang, J. (2023). Environmental Pollution Liability Insurance Pricing and the Solvency of Insurance Companies in China: Based on the Black–Scholes Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(2), 1630. doi: 10.3390/ijerph20021630

[17]. Collins, F. (2010). Inclusion of carbonation during the life cycle of built and recycled concrete: influence on their carbon footprint. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *15*(6), 549-556. doi: 10.1007/s11367-010-0191-4

[18]. Darabi, H., & Saeedi, I. (2019). The Design of Resilient Green Spaces towards Adapting with Climate Change, Case Study Behesht Boulevard, Borujerd. *Journal of Environmental Science and Technology*, *21*(9), 209-219. doi: 10.22034/jest.2018.13302.2181

[19]. Dawson, S. K., Carmona, C. P., González-Suárez, M., Jönsson, M., Chichorro, F., Mallen-Cooper, M., Melero, Y., Moor, H., Simaika, J. P., & Duthie, A. B. (2021). The traits of "trait ecologists": An analysis of the use of trait and functional trait terminology. *Ecology and Evolution*, *11*(23), 16434-16445. doi: 10.1002/ece3.8321

[20]. Dhoble, Y. (2013). Environmental impact assessment of cement industry-a short note. Available at SSRN 2234380. dx.doi: 10.2139/ssrn.2234380

[21]. Dias, M. C., Azevedo, C., Costa, M., Pinto, G., & Santos, C. (2014). Melia azedarach plants show tolerance properties to water shortage treatment: an ecophysiological study. *Plant Physiology and Biochemistry*, 75, 123-127. doi: 10.1016/j.plaphy.2013.12.014

[22]. Dobrowolska, D., Hein, S., Oosterbaan, A., Wagner, S., Clark, J., & Skovsgaard, J. P. (2011). A review of European ash (*Fraxinus excelsior* L.): implications for silviculture. *Forestry*, *84*(2), 133-148. doi: 10.1093/forestry/cpr001

[23]. Edegbene, A. O., Odume, O. N., Arimoro, F. O., & Keke, U. N. (2021). Identifying and classifying macroinvertebrate indicator signature traits and ecological preferences along urban pollution gradient in the Niger Delta. *Environmental Pollution*, 281, 117076. doi: 10.1016/j.envpol.2021.117076

[24]. Elawa, O., Galal, T., Abdelatif, N., Farahat, E. (2022). Evaluating the Potential Use of Four Tree Species in the Greenbelts to Mitigate the Cement Air Pollution in Egypt. *Egyptian Journal of Botany*, *62*(1), 177-196. doi: 10.21608/EJBO.2021.94944.1780

[25]. Galusnyak, S. C., Petrescu, L., & Cormos, C.-C. (2022). Environmental impact assessment of post-combustion CO_2 capture technologies applied to cement production plants. *Journal of Environmental Management*, 320, 115908. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115908

[26]. Green, S. J., Brookson, C. B., Hardy, N. A., & Crowder, L. B. (2022). Trait-based approaches to global change ecology: moving from description to prediction. *Proceedings of the Royal Society B*, 289(1971), 20220071. doi: 10.1098/rspb.2022.0071

[27]. Habibi, A., Jahantigh, F. F., & Sarafrazi, A. (2015). Fuzzy Delphi technique for forecasting and screening items. *Asian Journal of Research in Business Economics and Management*, *5*(2), 130-143. doi: 10.5958/2249-7307.2015.00036.5

[28]. Huang, X., Zhu, F., He, Z., Chen, X., Wang, G., Liu, M., & Xu, H. (2020). Photosynthesis performance and antioxidative enzymes response of Melia azedarach and Ligustrum lucidum plants under Pb–Zn mine tailing conditions. *Frontiers in Plant Science*, 11, 571157. doi: 10.3389/fpls.2020.571157

[29]. Ige, O. E., Olanrewaju, O. A., Duffy, K. J., & Collins, O. C. (2022). Environmental Impact Analysis of Portland cement (CEM1) Using the Midpoint Method. *Energies*, *15*(7), 2708. doi: 10.3390/en15072708

[30]. Javanmardi, E., Javanmardi, M., & Berton, R. (2022). Biomonitoring efforts to evaluate the extent of heavy metals pollution induced by cement industry in Shiraz, Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *19*(12), 11711-11728. doi: 10.1007/s13762-022-04307-4

[31]. Kameswaran, S., Gunavathi, Y., & Krishna, P. G. (2019). Dust pollution and its influence on vegetation-a critical analysis. *Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences*, *5*(1), 341-363. doi: 10.26479/2019.0501.31

[32]. Kerr, G., & Cahalan, C. (2004). A review of site factors affecting the early growth of ash (Fraxinus excelsior L.). *Forest Ecology and Management*, *188*(1-3), 225-234. doi: 10.1016/j.foreco.2003.07.016

[33]. Konijnendijk, C., Nilsson, K., Randrup, T., & Schipperijn, J. (2005). *Urban forests and trees: a reference book*, Springer.

[34]. Kozłowski, R., Szwed, M., & Żelezik, M. (2021). Environmental Aspect of the Cement Manufacturing in the Świętokrzyskie Mountains (Southeastern Poland). *Minerals*, *11*(3), 277. doi: 10.3390/min11030277

[35]. Laughlin, D. C., Strahan, R. T., Huffman, D. W., & Sánchez Meador, A. J. (2017). Using trait-based ecology to restore resilient ecosystems: historical conditions and the future of montane forests in western North America. *Restoration Ecology*, *25*(S2), S135-S146. doi: 10.1111/rec.12342

[36]. Li, N., Shao, T., Zhou, Y., Cao, Y., Hu, H., Sun, Q., Long, X., Yue, Y., Gao, X., & Rengel, Z. (2021). Effects of planting Melia azedarach L. on soil properties and microbial community in saline-alkali soil. *Land Degradation & Development*, *32*(10), 2951-2961. doi: 10.1002/ldr.3936

[37]. Long, X., Li, N., Shao, T., Li, B., Wang, X., Tao, C., Gao, X., & Rengel, Z. (2023). Amelioration of saline-alkali land by cultivating Melia azedarach and characterization of underlying mechanisms via metabolome analysis. *Land Degredation and development*, 22(10) 321-340. doi: 10.22541/au.167905811.18069930/v1

[38]. Mohamad, N., Muthusamy, K., Embong, R., Kusbiantoro, A., & Hashim, M. H. (2022). Environmental impact of cement production and Solutions: A review. *Materials Today: Proceedings*, *48*(4), 741-746. doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.212

[39]. Molnár, V. É., Simon, E., Tóthmérész, B., Ninsawat, S., & Szabó, S. (2020). Air pollution induced vegetation stress–the air pollution tolerance index as a quick tool for city health evaluation. *Ecological Indicators*, 113, 106234. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106234

[40]. Mozafarian, V. (2010). *Iranian trees and shurbs*, Farhang Moaser. [in Farsi]

[41]. Muler, A. L., Canham, C. A., van Etten, E. J., Stock, W. D., & Froend, R. H. (2018). Using a functional ecology approach to assist plant selection for restoration of Mediterranean woodlands. *Forest Ecology and Management*, 424, 1-10. doi: 10.1016/j.foreco.2018.04.032

[42]. Nie, S., Zhou, J., Yang, F., Lan, M., Li, J., Zhang, Z., Chen, Z., Xu, M., Li, H., & Sanjayan, J. G. (2022). Analysis of theoretical carbon dioxide emissions from cement production: Methodology and application. *Journal of Cleaner Production*, 334, 130270. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.130270

[43]. Qi, Y., Li, J., Chen, C., Li, L., Zheng, X., Liu, J., Zhu, T., Pang, C., Wang, B., & Chen, M. (2018). Adaptive growth response of exotic *Elaeagnus angustifolia* L. to indigenous saline soil and its beneficial effects on the soil system in the Yellow River Delta, China. *Trees*, 32, 1723-1735. doi: 10.1007/s00468-018-1746-4

[44]. Radhapriya, P., Gopalakrishnan, A. N., Malini, P., & Ramachandran, A. (2012). Assessment of air pollution tolerance levels of selected plants around cement industry, Coimbatore, India. *Journal of environmental biology*, *33*(3), 635.

[45]. Rehan, R., & Nehdi, M. (2005). Carbon dioxide emissions and climate change: policy implications for the cement industry. *Environmental Science & Policy*, *8*(2), 105-114. dx.doi: 10.1016/j.envsci.2004.12.006

[46]. Rodrigues, F., & Joekes, I. (2011). Cement industry: sustainability, challenges and perspectives. *Environmental Chemistry Letters*, 9, 151-166. doi: 10.1007/s10311-010-0302-2

[47]. Rosenfield, M. F., & Mueller, S. C. (2017). Predicting restored communities based on reference ecosystems using a trait-based approach. *Forest Ecology and Management*, 391, 176-183. doi: 10.1016/j.foreco.2017.02.024

[48]. Roy, R., Wang, J., Sarker, T., Kader, A., Hasan, A. K., & Babur, E. (2022). Data describing the eco-physiological responses of *Elaeagnus angustifolia* grown under contrasting regime of water and fertilizer in coal-mined spoils. *Data in brief*, *42*, 108222. doi: 10.1016/j.dib.2022.108222

[49]. Sabeti, H. (1976). *Forests, trees and shrubs of Iran*, Yazd University press. [in Farsi]

[50]. Saffari, A., Ataei, M., Sereshki, F., & Naderi, M. (2019). Environmental impact assessment (EIA) by using the Fuzzy Delphi Folchi (FDF) method (case study: Shahrood cement plant, Iran). *Environment, development and sustainability*, *21*(2), 817-860. doi: 10.1007/s10668-017-0063-1

[51]. Shah, K., An, N., Ma, W., Ara, G., Ali, K., Kamanova, S., Zuo, X., Han, M., Ren, X., & Xing, L. (2020). Chronic cement dust load induce novel damages in foliage and buds of Malus domestica. *Scientific reports*, *10*(1), 12186. doi: 10.1038/s41598-020-68902-6

[52]. Shipley, B. (2010). *From plant traits to vegetation structure: chance and selection in the assembly of ecological communities*. Cambridge University Press.

[53]. Si, L., Peng, X., & Zhou, J. (2019). The suitability of growing mulberry (Morus alba L.) on soils consisting of urban sludge composted with garden waste: a new method for urban sludge disposal. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 1379-1393. doi: 10.1007/s11356-018-3635-1

[54]. Solgi, E., & Beigmohammadi, F. (2020). Investigating the effect of distance from source and species type on the absorption ability of heavy metals by tree species around Nahavand cement factory. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, *8*(16), 321-343.

[55]. Statista. (2023). Cement production worldwide from 1995 to 2022 Retrieved 4/3/2023 from https://www.statista.com/statistics/1087115/global-cement-production-volume/

[56]. Sugumaran, M., & Avudainayagam, S. (2017). Assessment of Plant Diversity around ACC Cement Industry, Coimbatore, India. *Trends in Bioscience*, *10*(48), 9563-9565.

[57]. Tabari, M., & Salehi, A. (2009). The Use of Municipal Waste Water in Afforestation: Effects on Soil Properties and Eldar Pine Trees. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18(6), 1113-1121.

[58]. Tan, C., Yu, X., & Guan, Y. (2022). A technology-driven pathway to net-zero carbon emissions for China's cement industry. *Applied Energy*, 325, 119804. doi: 10.1016/j.apenergy.2022.119804

[59]. Terwayet Bayouli, I., Terwayet Bayouli, H., Dell'Oca, A., Meers, E., & Sun, J. (2021). Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment. *Ecological Indicators*, 125, 107508. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107508

[60]. Tseng, Y.-P., Huang, Y.-C., Li, M.-S., & Jiang, Y.-Z. (2022). Selecting key resilience indicators for Indigenous community using Fuzzy Delphi Method. *Sustainability*, *14*(4), 2018. doi: 10.3390/su14042018

[61]. Velikova, V., Tsonev, T., Tattini, M., Arena, C., Krumova, S., Koleva, D., Peeva, V., Stojchev, S., Todinova, S., & Izzo, L. G. (2018). Physiological and structural adjustments of two ecotypes of Platanus orientalis L. from different habitats in response to drought and re-watering. *Conservation Physiology*, *6*(1), coy073. doi: 10.1093/conphys/coy073

[62]. Weber, E. J. (1981). Pinus eldarica: A valuable resource for arid zones. *Arid Lands Newsl*, 13, 41-44.

[63]. Yu, R., Wu, Y., & Xing, D. (2022). The Differential Response of Intracellular Water Metabolism Derived from Intrinsic Electrophysiological Information in Morus alba L. and Broussonetia papyrifera (L.)

Vent. Subjected to Water Shortage. *Horticulturae*, *8*(2), 182. doi: 10.3390/horticulturae8020182

[64]. Zakharova, L., Meyer, K., & Seifan, M. (2019). Trait-based modelling in ecology: a review of two decades of research. *Ecological Modelling*, 407, 108703. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2019.05.008

[65]. Zhu, X., Yang, J., Huang, Q., & Liu, T. (2022). A Review on Pollution Treatment in Cement Industrial Areas: From Prevention Techniques to Python-Based Monitoring and Controlling Models. *Processes*, *10*(12). doi: 10.3390/pr10122682

A framework for selecting suitable species for the development of green infrastructure in industrial landscapes in arid and semi-arid areas of Iran (Research Paper)

1- Iman Saeedi*, Assistant professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.
Isaeedi@malayeru.ac.ir
2- Hassan Darabi, Assistant professor, Department of Environmental Design, Department of Environment, University of Tehran, Iran.
3- Mohammad Reza Gili, Assistant professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.

Received: 02 Jan. 2024
Accepted: 13 Mar. 2024

Abstract
The cement industry has always been known to have significant harmful environmental effects. The development of green infrastructure around these industries can reduce the negative environmental effects of such developments in the surroundings. However, there is no systematic framework related to the selection of plant species around cement factories. The aim of this study is to provide a systematic method for selecting plant species around cement factories. In this study, Durood Cement Factory was selected as a case study. At first, the conceptual model of plant-environment relationship in industrial environments was introduced. In the following, a functional framework for the implementation of this conceptual model is presented, which consists of five steps: identifying effective criteria, weighting criteria, developing a formula for selecting plant species, creating a plant palette, and screening suitable plant species. In the selection of criteria, two categories of primary and secondary criteria were used. The screening method of plant species selection criteria is fuzzy Delphi and the method of weighting the selection criteria is Analytical Hierarchy Process (AHP). The results of this research showed that among the five investigated plant species, *Eleagnus angustifolia* is the most suitable tree species for this study area, while the *Platanus orientalis* and *Tamarix gallica* are considered unsuitable. This research provides valuable insights for landscape architects, environmental managers and operators of industrial spaces, especially cement factories, to create sustainable green areas.

Keywords: Analytic Hierarchical analysis, Fuzzy Delphi, Green space, Industrial areas, Multi-criteria decision-making, Cement factory.