

طراحی کاشت سازگار با تغییر اقلیم در مناطق خشک: رهیافتی نظام‌مند برای توسعه زیرساخت‌های سبز در حاشیه رودخانه کارون (مقاله پژوهشی)

- ۱- ایمان سعیدی، استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران.
۲- عبدالحسین هویزای، دانشجوی دکتری مهندسی طراحی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، ایران.
۳- حسن دارابی*، استادیار گروه طراحی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، ایران.
darabih@ut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۷

چکیده

مطالعه حاضر، چارچوبی سیستماتیک برای طراحی منظر انعطاف‌پذیر در برابر تغییر اقلیم و با تمرکز بر انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب ارائه می‌کند. در این چارچوب مجموعه‌ای از معیارهای اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی با در نظر گرفتن شرایط محیطی و اقتصادی - اجتماعی انتخاب شد و در ادامه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و روش تاپسیس، ترکیب کاشت تطبیقی جهت بهبود تنوع زیستی و مدیریت منابع آب به‌دست آمد. جهت استفاده عملی از این چارچوب، حاشیه رودخانه کارون در شهر اهواز به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. نتایج نشان‌دهنده اثربخشی رویکرد ترکیبی در انتخاب گونه‌های گیاهی است که می‌توانند علاوه بر تحقق اهداف اجتماعی و اقتصادی، در برابر اثرات نامطلوب تغییرات آب‌وهوایی تاب‌آور باشند. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده به‌طور کلی دسته شاخص‌های اکولوژیکی مربوط به پدیده خشکسالی و گرمای شدید هوا با میزان ۰/۶۶۱ دارای بیشترین وزن نسبت به سایر پدیده‌های اقلیمی در منطقه مورد مطالعه بوده و زیرشاخص‌های مقاوم به کم‌آبی در پدیده خشکسالی و گرمای شدید هوا به میزان ۰/۲۴، انعطاف‌پذیری شاخه و برگ‌ها در پدیده طوفان و گردوغبار به میزان ۰/۶۴۸ و مقاومت به شرایط غرقابی در پدیده سیلاب به میزان ۰/۳۵۴ دارای بیشترین تأثیر در انتخاب گونه‌های گیاهی هستند. بر این اساس بیشترین امتیاز و رتبه ۱ براساس شاخص تاپسیس به گونه‌های *Morus nigra*، *Capparis spinosa*، *Ziziphus spina-christi*، *Potamogeton nodosus* و *Aeluropu littoraliss* و کمترین امتیاز به گونه‌های *Bougainvillea glabra*، *Potamogeton nodosus* و *Reseda alba* تعلق دارد. چارچوب پیشنهادی این تحقیق رویکردی سیستماتیک و انعطاف‌پذیر برای مهندسان محیط‌زیست، طراحان منظر و برنامه‌ریزان محیط فراهم می‌کند تا در مواجهه با عدم قطعیت‌های تغییرات آب‌وهوا، تصمیم‌های آگاهانه‌تری اتخاذ نمایند.

واژگان کلیدی: طراحی سازگار، تغییر اقلیم، راهبرد کاشت، طراحی کاشت، بازگشت‌پذیری، تاپسیس، تحلیل سلسله‌مراتبی.

مقدمه

طراحی کاشت انطباقی، با ادغام انتخاب گونه‌های مقاوم نسبت به تغییر اقلیم [۲۵، ۸۸]، تکنیک‌های آبیاری و تنش-های آبی [۵۰] از جمله راه‌حل‌هایی برای پاسخ به چالش‌های چندوجهی حاصل تغییر اقلیم می‌باشند. بر همین اساس راهبردهای منعطف و سازگار، مبنا در طراحی کاشت را که در پی تعدیل اثرات تغییر اقلیم است، باید به صورت جدی مورد توجه قرار گیرد [۱۰].

تغییر اقلیم، اصول طراحی کاشت را تغییر داده و منجر شده است تا منظرسازی و طراحی کاشت به سمت استراتژی‌های انطباقی، انعطاف‌پذیری و طراحی چند-عملکردی در اولویت قرار گیرد [۴، ۱۱]. افزایش دما، تغییر الگوهای بارندگی و فراوانی فزاینده رویدادهای شدید اقلیمی [۷۱]، به وضوح بر سلامت گیاهان، تنوع زیستی و ارائه خدمات حیاتی اکوسیستم تأثیر می‌گذارد [۲۱، ۷۰].

افزون بر این با اولویت‌بندی گونه‌های مقاوم به خشکی و به شرایط محیطی آینده [۳۹]، به‌طور مؤثر می‌توان با پدیده‌هایی نظیر اثرات نامطلوب تنش آب و گرمای شدید مقابله کرد [۳۳، ۱۸].

رویکرد انطباقی با بهره‌گیری از یکپارچه‌سازی راهبردهای طراحی نوآورانه مانند زیرساخت‌های سبز و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت، کارکردهای متفاوتی را مانند کاهش اثرات جزیره گرمایی شهر، مدیریت رواناب، و بهبود تنوع زیستی را دنبال کرده و تلاش می‌کند تا بازگشت‌پذیری کلی منظر را تقویت کند [۱۰]. بنابراین، می‌توان با پایه‌گذاری طراحی کاشت مبتنی بر دانش و درک علمی اثرات تغییرات اقلیمی و ویژگی‌های گیاهی، شرایط انعطاف‌پذیر، پایدار و چند عملکردی را در منظر ایجاد کرد [۴۷].

طراحی کاشت سازگار با اقلیم، شامل ایجاد مناظری است که می‌تواند در برابر چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی مقاوم باشد [۹۷].

در اینجا برخی از ملاحظات کلیدی وجود دارد که عبارتند از: ۱) انتخاب گونه‌هایی که در برابر شرایط اقلیمی شدید مانند موج گرما، خشکسالی و بارندگی شدید مقاوم باشند. گیاهان بومی اغلب با آب‌وهوای محلی سازگاری بهتری دارند [۲۵]. ۲) تنوع گونه‌ها و جوامع گیاهی با ترکیبی از درختان، درختچه‌ها، پوشش‌های علفی و گیاهان علفی، نوع زیستی پایداری و انعطاف‌پذیری اکوسیستم را افزایش می‌دهد [۳۰]. ۳) افزودن مواد آلی، افزایش زهکشی و افزایش فعالیت میکروبی، سلامت خاک را بهبود می‌بخشد که تداوم‌بخش رشد و حفاظت گیاهان به‌شمار می‌آید [۲، ۷۴]. ۴) اجرای سیستم‌های آبیاری کارآمد، بهره‌برداری از آب باران و سطوح نفوذپذیر توأم با راهبردهای حفظ آب و جلوگیری از سیل در طراحی کاشت انطباقی تعیین‌کننده به‌شمار می‌آید [۹۵].

۵) در نظر گرفتن میکرو اقلیم‌ها و استفاده از ابزارهایی مانند بادشکن‌ها (مانند پرچین یا درختان) برای محافظت از مناطق آسیب‌پذیر در برابر بادهای شدید یا سایر عواملی که در ایجاد میکرو اقلیم مؤثرند، محور تعیین‌کننده‌ای به‌شمار می‌آید [۸۶، ۶]. تکنیک‌های کاشت تطبیقی چون تکنیک‌هایی مانند خشک منظر^۱ (منظرسازی کم آب)،

هیدروزون‌بندی (گروه‌بندی گیاهان با نیاز آبی مشابه) از دیگر تکنیک‌های طراحی کاشت انطباق‌پذیر به‌شمار می‌آید [۱۰۴]. بهره‌گیری از این اصول، مبنای طراحی کاشت سازگار با تغییرات اقلیم را شکل می‌دهد، بر این اساس انتخاب گونه‌های گیاهی و طراحی کاشت، محور کلیدی را تشکیل داده و با به‌کارگیری سایر راهبردها می‌توان انتظار داشت که محیط و منظر، بازگشت‌پذیر و منعطف در تقابل با تغییرات اقلیمی خواهد بود.

در زمینه اثر تغییرات اقلیم بر پراکنش گونه‌های گیاهی مطالعات مختلفی صورت پذیرفته است. زنگی‌آبادی و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که تغییرات اقلیمی تأثیر چشمگیری بر پراکنش گیاه بادام خاکستری (*Prunus eburnea*) دارد [۱۰۵]. براساس مدل مکسنت، در سال ۲۰۸۰ وسعت مناطق مناسب برای رویش این گونه در ایران به ۶۲۷۲۷۳ کیلومتر مربع کاهش خواهد یافت و این گونه ۱۴.۳۶ درصد از مناطق مطلوب خود را از دست خواهد داد [۱۰۵].

در مطالعه‌ای دیگر محققان به پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش محیطی گونه‌های *eucrium polium L* و *Thymus kotschyanus Boiss* پرداختند. نتایج نشان داد که که محتوای کربن آلی در پروفیل خاک، عامل اصلی تأثیرگذار بر پراکنش دو گونه نامبرده است، درحالی‌که عوامل دیگری مانند تابش نور، بارش خشک‌ترین ماه و جهت شیب نیز نقش مهمی در پراکنش هر یک از این گونه‌ها دارند [۳].

همچنین تحقیقات متعددی در حوزه سازگاری با تغییرات اقلیمی و منظرسازی با بهره‌گیری از گیاهان در مناطق مختلف جهان انجام شده است. پروبر و همکاران (۲۰۱۵) نقشه‌ها و داده‌هایی را برای حفاظت از تنوع زیستی در پاسخ به تغییرات آب‌وهوایی فراهم کرده‌اند که اصول و ابزارهای جدیدی را برای برنامه‌ریزی و سازگاری با تنوع زیستی معرفی می‌کند. نویسندگان، اصولی مانند حفظ فرآیندهای اکولوژیکی، حمایت از تجمع مجدد جامعه توسط گونه‌های مجاور، و ترویج برنامه‌ریزی سازگاری بین بخشی را پیشنهاد می‌کنند [۸۲].

می‌گیرند، نامشخص است. بررسی آنها نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی می‌تواند تأثیرات منفی بر شهرها، مردم و اکوسیستم‌های شهری داشته باشد. لذا پیشنهاداتی را در مورد چگونگی ایجاد ظرفیت سازگاری باغ‌های شهری شامل جمع‌آوری آب باران، تغییر انتخاب گیاه، تغییر زمان کاشت، اعمال پوشش رویشی روی خاک و سایر اقدامات ارائه می‌کنند [۸۸].

در مطالعه‌ی دیگری عقیده بر آن است که سیستم‌های شهری شامل تعاملات و وابستگی‌های متقابل پیچیده با مناظر و مناطق مجاور دارد و فشارهای تغییر پیچیده، ثابت و در حال افزایش است. لذا پیچیدگی، پیوستگی، و افزونگی از ویژگی‌های مهم سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیکی هستند که قابلیت‌های انطباقی را ایجاد می‌کنند و ظرفیت سازگاری را افزایش می‌دهند. تنوع پاسخ‌های امکان‌پذیر، احتمال پایداری فرایندهای اکولوژیکی را در شرایط متغیر افزایش می‌دهد. لذا طرح‌های افزونگی گزینه‌های آینده را به عنوان یک ابزار مفید برای طراحی مثبت طبیعت پیشنهاد می‌کنند [۱۲].

مطابق با مرور منابع صورت گرفته، درحالی که تحقیقات موجود مزایای طراحی کاشت سازگار با اقلیم را برجسته کرده است، شکافی در ادبیات مربوط به اثربخشی بلندمدت این رویکرد در مناطق جغرافیایی و اکوسیستم‌های متنوع وجود دارد. بیشتر مطالعات بر روی مکان‌ها یا گونه‌های گیاهی خاص متمرکز شده‌اند و درک ما را از مفاهیم گسترده‌تر طراحی کاشت سازگار با آب‌وهوا محدود می‌کنند. شناسایی و پرداختن به این شکاف‌ها در ادبیات برای پیشرفت دانش در مورد طراحی کاشت سازگار با اقلیم و تأثیر بالقوه آن بر کاهش تغییرات اقلیمی حیاتی خواهد بود. با انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه، می‌توان سیاست‌گذاران، طراحان منظر، و متخصصان حفاظت را در مورد نحوه اجرای مؤثر استراتژی‌های طراحی کاشت سازگار با اقلیم در زمینه‌های مختلف بهتر آگاه کرد. به این ترتیب، هدف این مقاله، استفاده از چارچوب طراحی انطباق‌پذیر اقلیمی در یک نمونه موردی است؛ لذا تلاش می‌شود فرایندی ارائه شود که بیانگر چارچوب طراحی و مدیریت گونه‌های گیاهی سازگار با عدم قطعیت‌های اقلیمی در جهت

مطالعه دیگری نشان می‌دهد که اقلیم به وضوح بر منظر طبیعی و طراحی شده تأثیر می‌گذارد. برای در سیستماتیک و خاص نحوه طراحی منظر در پاسخ به آب‌وهوای مختلف، این مطالعه تعامل اساسی بین طراحی منظر و اقلیم را بررسی و سپس عناصر مختلف منظر را که با انواع مختلف اقلیم سروکار دارند، ارزیابی نموده است تا در نهایت و مهم‌تر از همه، تأثیر قطعی بر طراحی منظر عملی براساس یافته‌های قبلی را تحلیل کند [۲۰].

در تحقیقی دیگر اقدامات لازم برای انطباق و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی را برشمرده‌اند و از آن به عنوان فرصتی برای پرداختن به سازگاری و کاهش تغییرات اقلیمی از طریق طراحی کاشت و مدیریت فضاهای سبز شهری یاد می‌کنند. هدف آنها ایجاد دانش به روشی سازگار و متناسب با مکان‌های خاص برای مقابله با تغییرات اقلیمی در شهرها است [۹۰].

در مطالعه‌ای که در هوکوریکو ژاپن صورت گرفته است، از طراحی راهبردی منظر برای کاهش تنش حرارتی و سازگاری اقلیمی در مناطق شهری بهره‌گرفته شده است [۱۰۲]. این مطالعه بررسی می‌کند که چگونه آسایش حرارتی تحت تأثیر الگوهای مختلف چیدمان منظر، نسبت به پیکربندی درختان برگ‌ریز و همیشه سبز و ساختار پوشش گیاهی قرار می‌گیرد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاشت درختان در یک الگوی چیدمان آرایه‌ای باعث بهبود عملکرد حرارتی در ساعت ۱۴:۰۰ می‌شود و نسبت پیکربندی درخت یک شاخص سبز حیاتی است که آسایش حرارتی را در طول روز و شب نیز تنظیم می‌کند.

مطالعه زندوورت و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهد چگونه طراحی فضایی مبتنی بر تفکر مسیرهای انطباقی می‌تواند به توسعه مناظر سازگارتر و پایداریتر کمک کند. آنها دریافتند که طراحی فضایی منظر مسیرهای انطباقی را برای سیاست‌گذاران شفاف کرده و آنها را قادر می‌سازد تا خط مشی‌های مناسب با مداخلات فضایی و مسیرهای انطباقی را با توجه به استراتژی‌های مختلف طراحی، انتخاب کنند [۱۰۴].

توماتیس و همکاران (۲۰۲۳) بیان می‌کنند که یک نمای کلی ترکیبی از اینکه چگونه باغ‌های شهری تحت تأثیر تغییرات آب‌وهوایی و واکنش به تغییرات آب‌وهوایی قرار

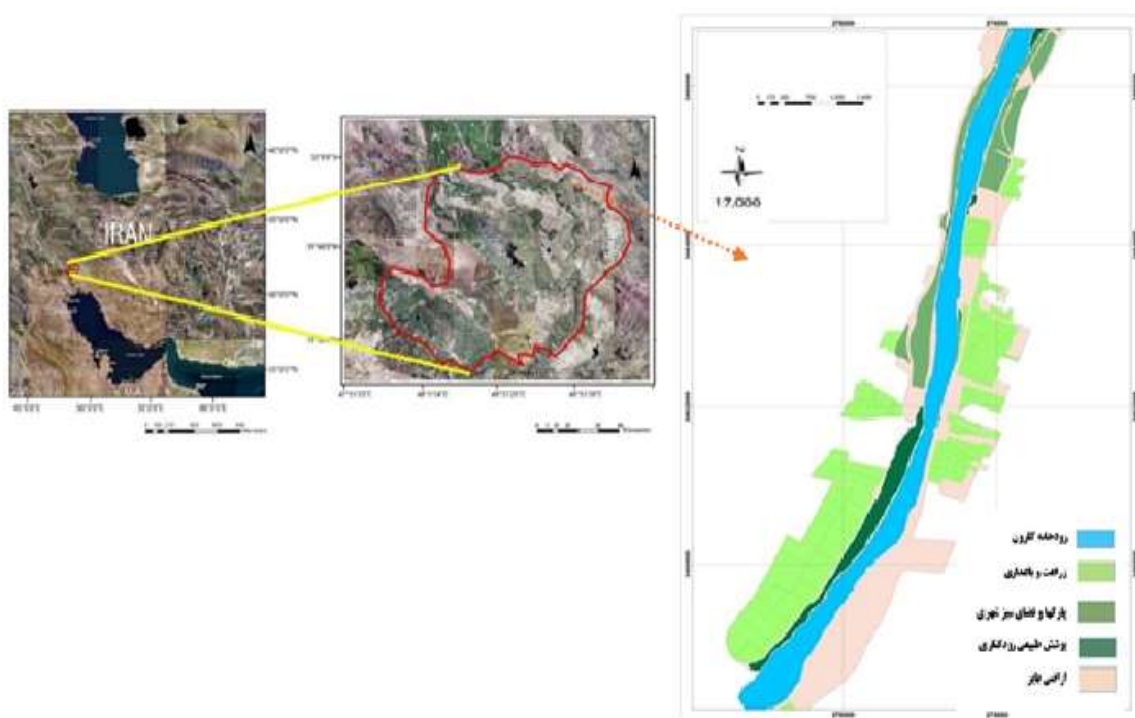
خوزستان و در نوار جنوبی کشور ایران واقع شده است. در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه واقع شده است و ارتفاع متوسط آن از سطح دریاهای آزاد معادل ۱۸ متر است. سایت موردنظر با مساحتی حدود ۴۵۰ هکتار از قسمت مرکزی به سمت جنوب شهر اهواز و در راستای رودخانه کارون به صورت شمالی - جنوبی است.

کاهش اثرات پدیده‌های ناشی از تغییرات آب‌وهوایی است که در یک نمونه موردی (حاشیه رودخانه کارون در شهر اهواز) بسط یافته و مورد آزمون قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

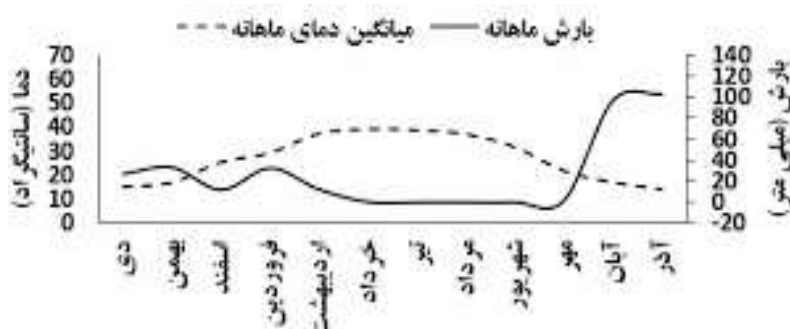
استان خوزستان در جنوب غرب ایران قرار دارد. خوزستان از کهن‌ترین سرزمین‌های ایران است. شهر اهواز مرکز استان



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه به ترتیب از سمت راست در کشور ایران و شهر اهواز- مأخذ: سازمان نقشه برداری

متوسط درجه حرارت ۴۸ درجه در تابستان و ۴ درجه در زمستان و میزان متوسط رطوبت نسبی معادل ۴۳/۳ درصد است. شکل ۲ منحنی آمبروترمیک مربوط به سال ۱۳۹۷ محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.

براساس اطلاعات جمع‌آوری شده از اداره کل هواشناسی استان خوزستان، میزان بارندگی سالانه شهر اهواز به طور متوسط (۲۱۳) میلیمتر است و بیشترین میزان بارندگی در ماه ژانویه (۱۱ دی تا ۱۱ بهمن) روی می‌دهد.

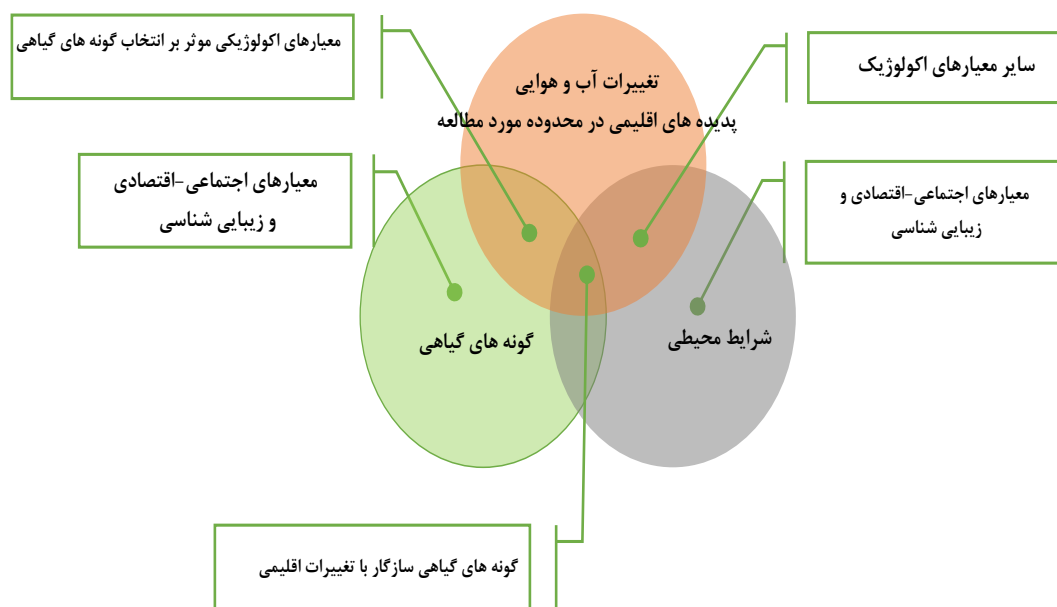


شکل ۲- منحنی آمبروترمیک محدوده مطالعاتی

روش تحقیق

در راستای انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار در منظر می‌باشد (شکل ۳). بر این اساس، مدل مفهومی بنیان اصلی کار را تشکیل می‌دهد. با توجه به ماهیت منظر، انعطاف‌پذیری و تطبیق‌پذیر بودن با شرایط از نظر عملی می‌تواند در مواجهه با عدم قطعیت‌ها مؤثر باشد [۳۹].

همان‌گونه که ذکر شد، این تحقیق به دنبال ارائه چارچوبی سیستماتیک جهت طراحی کاشت سازگار با تغییرات اقلیمی و عدم قطعیت‌های ناشی از آن و تدوین یک مدل مفهومی



شکل ۳ - مدل مفهومی طراحی کاشت سازگار با تغییرات آب‌وهوایی و پدیده‌های اقلیمی. مأخذ: نگارندگان

گام سوم: انتخاب شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر انتخاب گونه‌های گیاهی: پس از شناخت پدیده‌های اقلیمی در محدوده مطالعاتی و بررسی اثرات آن‌ها بر محیط و منظر محدوده، شاخص‌های اکولوژیکی مؤثر بر انتخاب گونه‌های گیاهی از طریق تأثیرات پدیده‌های اقلیمی بر محیط و منظر موضوع تحقیق شناسایی گردید.

این شاخص‌ها با توجه به نوع پدیده اقلیمی و میزان تأثیرات آن بر طراحی کاشت موجود از طریق بازدیدهای میدانی و بررسی منابع علمی معتبر شناسایی و مورد بررسی قرار گرفته است.

در نهایت این شاخص‌ها در مرحله انتخاب گونه‌های گیاهی مورد توجه قرار می‌گیرند. جدول ۱ شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر انتخاب گونه‌های گیاهی به کار رفته در این تحقیق را نشان می‌دهد.

در مدل مفهومی ارائه شده، با توجه به اثرات پدیده‌های اقلیمی بر محدوده مورد مطالعه و شناسایی معیارهای تأثیرگذار بر انتخاب گونه‌های گیاهی، چارچوبی عملکردی برای انتخاب گونه‌های گیاهی و طراحی کاشت سازگار ارائه می‌گردد. این چارچوب در شش گام ارائه می‌گردد:

گام اول: شناخت محدوده مورد مطالعه: در این مرحله موقعیت محدوده مورد مطالعه از نظر جغرافیایی و نیز اطلاعات اقلیمی مؤثر در وقوع پدیده‌های اقلیمی و تغییرات آب‌وهوایی از قبیل میانگین سالانه بارش، رطوبت نسبی و دما ارائه می‌گردد.

گام دوم: ارزیابی تغییرات آب و هوایی و اثرات پدیده‌های اقلیمی: در این مرحله با توجه به محدودیت‌های حجم تحقیق و هدف اصلی این مقاله، در روندیابی پدیده‌های تغییر اقلیم، از مرور متون علمی اخیر و بررسی تاریخی محدوده مطالعاتی استفاده شد و نتایج این مطالعات مبنای ارائه چارچوب طراحی کاشت سازگار با شرایط تغییر اقلیم گردید.

جدول ۱- شاخص‌ها و زیرشاخص‌های موثر بر انتخاب گونه‌های گیاهی - مأخذ: نگارندگان

معیارهای انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار در برابر پدیده‌های اقلیمی - سیلاب

مقاومت به شرایط غرقابی خاک	مقاومت به شوری خاک	مقاومت به شرایط قلیایی خاک	مقاومت به سرمای هوا	مقاومت در برابر آفات به دلیل ریختن فاضلاب‌ها به رودخانه و شرایط رطوبتی ایجاد شده	مقاوم به خاک‌های فقیر
معیارهای انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار در برابر پدیده‌های اقلیمی - طوفان و گردوغبار					
کرک‌دار بودن شاخه و برگ‌ها	میزان تراکم شاخه و برگ‌ها	انعطاف‌پذیری شاخه و برگ‌ها و حرکت در برابر جریان هوا			
معیارهای انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار در برابر پدیده‌های اقلیمی - خشکسالی و گرمای شدید هوا					
مقاوم به کم‌آبی	مقاوم به دمای بالای هوا	دارای ریشه‌های عمیق و افشان			

گام چهارم: تهیه پایگاه داده گونه‌های گیاهی: در این مرحله از طریق بازدیدها و برداشت‌های میدانی صورت گرفته از وضعیت موجود محدوده مورد مطالعاتی، مراجعه به سازمان‌ها و ارگان‌های اجرایی ذی‌ربط نظیر شهرداری، سازمان نقشه‌برداری و اداره شهرسازی و اخذ نقشه‌های محدوده مورد مطالعه در مقیاس‌های خرد، میانی و کلان، دامنه تغییرات محدوده مورد مطالعه در طی دوره تاریخی ۶۷ ساله نسبت به تغییرات آب‌وهوایی و اثرات پدیده‌های اقلیمی مورد بررسی قرار گرفته و زون‌بندی محدوده مورد مطالعه به لحاظ تیپ طراحی کاشت موجود و دامنه تغییرات ایجاد شده به چهار دسته، پوشش گیاهی طبیعی رودکناری و بومی، پوشش گیاهی زراعی و باغی بومی، فضای سبز شهری و پارک‌ها و زمین‌های بایر با پوشش گیاهی پراکنده بومی تقسیم‌بندی شد. هرکدام از زون‌های مشخص شده از نظر نوع گونه‌های گیاهی، فعالیت‌های موجود و نیز دامنه تغییرات در مواجهه با تغییرات آب‌وهوایی و اثرات پدیده‌های اقلیمی متفاوت بوده و در نتیجه، راهکارهای عملی مواجهه با اثرات پدیده‌های اقلیمی متفاوتی را نیز می‌طلبند.

گام پنجم: امتیازدهی و انتخاب گونه‌های گیاهی: تصمیم‌گیری چند معیاره یک روش حیاتی در زمینه‌های مختلف است [۲۸]. این تکنیک برای تعیین اولویت براساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل به کار می‌روند. تاپسیس و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) دو روش پرکاربرد در تصمیم‌گیری چند معیاره هستند [۸]. تاپسیس مبتنی بر مفهوم انتخاب جایگزینی است که کمترین فاصله را از

راه‌حل ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل منفی دارد [۱۷]، درحالی‌که AHP از مقایسه‌های زوجی برای تعیین اهمیت نسبی معیارها و گزینه‌ها استفاده می‌کند [۵۱].

این مقاله یک رویکرد ترکیبی را ارائه می‌کند که تاپسیس و AHP را برای استفاده از نقاط قوت هر دو روش و افزایش فرآیند تصمیم‌گیری ترکیب می‌کند. رویکرد ترکیبی به بیان ساده بدین صورت است که برای وزن‌دهی به معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد و برای انتخاب از بین گزینه‌ها نیز از روش تاپسیس بهره گرفته شد. برای دستیابی به وزن معیارها از نظرات خبرگان با استفاده از روش نمونه‌برداری هدفمند^۱ استفاده شد. خبرگان مشارکت داده شده در این تحقیق ۷ تن از اعضاء هیات علمی دانشگاه‌های ایران بودند که به موضوع تحقیق و روش کار با پرسشنامه مقایسه زوجی برای رعایت ناسازگاری‌های احتمالی آشنایی داشتند.

بدین منظور پرسشنامه‌ای با الگوی مقایسه زوجی تدوین گردید و از خبرگان مشارکت داده شده در تحقیق خواسته شد که بر مبنای میزان اهمیت این معیارها، این پرسشنامه را پر نمایند. پس از دستیابی به پاسخ‌ها از مراحل زیر برای محاسبات کمی روش تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد.

مرحله ۱: تعیین ماتریس تصمیم و نرمال‌سازی آن با استفاده از نرمال‌سازی برداری [۱۱]. ماتریس تصمیم نرمال شده با $R = [r_{ij}]$ نشان داده می‌شود، که در آن :

$$C_i^* = S_i^- / (S_i^+ + S_i^-), i = 1, 2, \dots, m.$$

مرحله ۹: رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس مقادیر نزدیکی نسبی: جایگزین با بالاترین مقدار C_i^* بهترین انتخاب در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که محاسبات مربوط به بخش وزن‌دهی به معیارها، انجام روش تحلیل سلسله مراتبی، و محاسبات مربوط به روش تاپسیس با استفاده از پکیج MCDA در نرم‌افزار R به همراه نرم‌افزار expert choice صورت پذیرفت.

گام ششم: ترکیب و طراحی کاشت گونه‌های گیاهی انتخابی: در این مرحله از طراحی کاشت سازگار، با توجه به گونه‌های گیاهی انتخاب شده براساس شاخص‌های اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی در وضعیت موجود پروژه، گونه‌های گیاهی براساس نیازهای سایت و نیازهای مراجعه‌کنندگان در محیط پروژه جانمایی شده و ارتباط گونه‌های گیاهی با همدیگر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

نهایتاً ترکیب‌بندی گونه‌های گیاهی با توجه به زون‌بندی صورت گرفته و تعیین اهداف کلی و اهداف عملکردی در زون‌های مختلف گیاهی انجام می‌گیرد و الگوهای کشت نقاط مختلف سایت مشخص می‌گردد [۲۵].

در فرآیند بسط مدل مذکور، این تحقیق بر آن است تا با تمرکز بر فرصت‌های ناشی از جوامع گیاهی در شرایط اقلیمی حاد حاکم بر محیط و منظر شهری به شکلی ساختارمند دستورالعمل‌ها و اقدامات اجرایی انعطاف‌پذیری در زمینه انتخاب و ترکیب گونه‌های گیاهی در مواجهه با اثرات پدیده‌های اقلیمی تدوین گردد.

نتایج

گام اول و دوم: شناخت محدوده مطالعاتی و ارزیابی

تغییرات آب‌وهوایی

در سال‌های اخیر، تغییرات آب‌وهوایی در شهر اهواز با پدیده‌هایی اقلیمی نظیر سیلاب‌ها، گردوغبار، خشکسالی و طوفان‌های ساحلی و عدم قطعیت‌هایی در این زمینه مواجه بوده است که همواره محیط را تحت تأثیر قرار داده و بر لزوم سازگاری منظر با تغییرات آب‌وهوایی و عدم قطعیت‌های وجود آمده می‌افزاید.

سیلاب‌های اتفاق افتاده در فروردین ۱۳۹۸ عمدتاً ناشی از بارندگی‌هایی است که در حوضه‌های بالادست به وقوع

$$n, \dots, 2, m; j = 1, \dots, 2, i = 1$$

$$r_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum (x_{ij}^2)}$$

مرحله ۲: ساخت ماتریس مقایسه زوجی [۱۲]: ماتریس مقایسه زوجی $A = [a_{ij}]$ با مقایسه اهمیت نسبی معیارها به دست می‌آید، که در آن:

$$a_{ij} = 1 / a_{ji}, a_{ii} = 1, a_{ij} > 0.$$

مرحله ۳: محاسبه نسبت سازگاری [۱۱]:

$$CR = CI / RI$$

که در آن CI شاخص سازگاری و RI شاخص تصادفی است. اگر $CR < 0.1$ ، مقایسه‌های زوجی سازگار در نظر گرفته می‌شود.

مرحله ۴: با استفاده از روش بردار ویژه [۱۷] وزن معیارها تعیین می‌شود. وزن‌ها با حل معادله زیر به دست می‌آیند:

$$Aw = \lambda_{\max} w$$

که در آن $\lambda_{\max}$ حداکثر مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی A است و w بردار ویژه مربوط به $\lambda_{\max}$ است.

مرحله ۵: ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده وزنی $V = [v_{ij}]$ را با ضرب ماتریس تصمیم نرمال شده R با وزن معیار w [۱۸] به دست می‌آید:

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n.$$

مرحله ۶: راه‌حل ایده‌آل مثبت (PIS) و راه‌حل ایده‌آل منفی (NIS) را تعیین می‌شود [۲۰]:

$$PIS = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}$$

که در آن برای معیارهای هزینه $\min(v_{ij})$

$$v_j^+ = \max(v_{ij})$$

$$NIS = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

برای معیارهای هزینه که در آن $\max(v_{ij})$

$$v_j^- = \min(v_{ij})$$

مرحله ۷: اندازه‌گیری‌های جداسازی را با استفاده از

فاصله اقلیدسی [۲۲] محاسبه می‌شود. جدایی از PIS

(S_i^+) و جدایی از NIS (S_i^-) توسط:

$$m, \dots, 2, i = 1$$

$$S_i^+ = \sqrt{\sum ((v_{ij} - v_j^+)^2)}$$

$$m, \dots, 2, i = 1$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum ((v_{ij} - v_j^-)^2)}$$

مرحله ۸: محاسبه نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل:

$$(C_i^*)$$

مطالعه از سناریوهای A2 و B2 در IPCC با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک محدوده مطالعاتی و ورژن ۳ مدل Hadley Centre Coupled به کار برده شد.

در این مطالعه از مجموعه داده‌های اقلیمی مربوط به سال‌های بین ۱۹۶۱ به بعد برای روندیابی، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل استفاده شد و شرایط تغییر اقلیم برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۹۹ با استفاده از مدل کالیبره شده شبیه سازی شد و نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که دما در تمامی سال‌های مورد مطالعه تحت تاثیر تغییر اقلیم دارای سیر صعودی می‌باشد. این مقدار افزایش، در ایستگاه‌های هواشناسی واقع شده در دشت‌ها بیشتر است. همچنین مطابق با جدول ۲، این تحقیق در ایستگاه‌های هواشناسی اهواز افزایش دما بین یک تا سه و هشت دهم درجه سانتی‌گراد برای ماه‌های مختلف تا سال ۲۰۹۹ افزایش پیش‌بینی شده است [۷۳].

پیوست و سیلاب وارد شده به شهر اهواز خسارت‌هایی را در زیرساخت‌ها و محیط و منظر شهری به وجود آورد. حجم این سیلاب بسیار بیشتر از سیلاب صدساله بوده و حتی مقامات محلی را براساس پیش‌بینی‌های انجام‌شده متعجب کرد.

در طول ۵۰ سال گذشته، بیشترین بارش به رودخانه کارون در سال ۲۰۰۴ برابر ۱۴۷ میلی‌متر بود، درحالی‌که این رودخانه در سال ۲۰۱۹ بارشی معادل ۱۷۵ میلی‌متر دریافت کرد، یعنی حدود ۱/۲ برابر بزرگترین رویداد پنج دهه گذشته. به‌طور کلی، به‌منظور شناسایی تأثیرات این پدیده‌ها بر محیط و منظر در طراحی کاشت وضع موجود در محدوده مورد مطالعه، مورد بررسی و شناسایی قرار گرفته است.

همان‌گونه که در روش تحقیق گفته شد، در این مقاله جهت روندیابی تغییرات آب‌وهوایی در محدوده مطالعاتی از مرور مطالعات پیشین استفاده شد.

در مطالعه‌ای [۷۳] که برای ریزمقیاس نمایی اثرات تغییر اقلیم غرب ایران از جمله اهواز توسط پودینه (۲۰۲۰) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی صورت گرفت. در این

جدول ۲. تفاوت دمای پیش‌بینی شده برای ایستگاه اهواز بر مبنای خروجی مدل HadCM3.

سناریو	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اگوست	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	سال
A2	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۱/۰	۲/۳	۱/۹	۱/۷	۰/۳	۰/۲	۲/۰	۲/۳	۰/۲	۲۰۱۰-
	۳/۲	۳/۲	۰/۸	۳/۰	۳/۶	۲/۴	۱/۰	۰/۹	۰/۷	۲/۷	۳/۰	۲/۷	۲۰۴۰-
	۲/۸	۲/۷	۳/۸	۱/۳	۳/۰	۲/۶	۲/۷	۱/۳	۱/۲	۳/۰	۳/۳	۳/۰	۲۰۷۰-
B2	۲/۷	۲/۷	۲/۷	۰/۳	۲/۵	۲/۱	۱/۹	۰/۵	۰/۰	۲/۲	۲/۵	۲/۲	۲۰۱۰-
	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۱/۱	۳/۳	۷/۹	۲/۷	۱/۳	۰/۸	۳/۰	۳/۳	۰/۳	۲۰۴۰-
	۳/۷	۳/۷	۳/۷	۱/۳	۳/۵	۳/۱	۲/۹	۱/۵	۱/۰	۳/۲	۳/۵	۳/۲	۲۰۷۰-

در کنار سایر ابعاد اجتماعی و ابعاد اقتصادی مورد توجه قرار می‌گیرند [۲۵].

گام چهارم: تهیه پایگاه داده گونه‌های گیاهی

در این مرحله، پایگاه داده گونه‌های گیاهی باید براساس ویژگی‌هایی که انتخاب و ترکیب آنها را تسهیل می‌کنند ایجاد شود. در پایگاه داده از گونه‌های گیاهی بومی به‌عنوان گامی حیاتی برای حفظ سطح بهینه تنوع زیستی مطرح شده است، اما تأکید بر این است که در محیط، ترکیباتی از گونه‌های

گام سوم: شاخص‌های اکولوژیکی مؤثر بر انتخاب گونه‌های گیاهی

شاخص‌های اکولوژیکی مورد نظر با توجه به بررسی تأثیرات سه پدیده سیلاب، طوفان و گردوغبار و خشکسالی شناسایی شده در وضعیت موجود پروژه مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۱). و زیرشاخص‌های این ابعاد اکولوژیکی در گام بعدی به‌منظور شناخت و بررسی خصوصیات گونه‌های گیاهی در شرایط تغییرات آب‌وهوایی

از ویژگی‌های این بخش از پوشش گیاهی یکنواختی پوشش گیاهی منطقه و نبود تنوع است. ویژگی گونه‌های گیاهی غالب در این پهنه در جدول ۶ آمده است.

زمین‌های بایر با پوشش گیاهی پراکنده بومی

در این محدوده گونه‌های بوته‌ای محلی به‌صورت پراکنده و بسیار محدود مشاهده می‌شود. گونه‌های بوته‌ای و پوششی بومی و دارویی نظیر گونه‌های گیاهی لگجی^{۱۰}، کهورک^{۱۱} و آتریپلکس^{۱۲} وجود دارد. ویژگی گونه‌های گیاهی غالب در این پهنه در جدول ۷ آمده است.

با توجه به نتایج گام دوم تحقیق و افزایش قابل توجه دما در محدوده مطالعاتی تحت شرایط تغییر اقلیم، باید اطمینان حاصل شود که گونه‌های گیاهی پیشنهادی به دمای بالا مقاوم می‌باشند.

از آنجایی که برآورد دقیق تحمل گیاهان در برابر گرما، به دلیل ماهیت چند وجهی پاسخ‌های گیاه به تنش گرمایی و همچنین اثرگذاری فاکتورهای محیطی مانند رطوبت نسبی، بارش، وزش باد، شرایط خاک و خرد اقلیم امری پیچیده است [۹۹]، بنابراین، بر مبنای مرور منابع صورت گرفته، امکان معرفی یک دمای مشخص برای گونه‌های مطالعه‌شده در این تحقیق به عنوان بیشینه دمای قابل تحمل گونه‌های گیاهی امکان‌پذیر نیست.

علیرغم تقسیم‌بندی‌های متفاوت، برخی مطالعات گونه-های گیاهی را از نظر مقاومت گونه‌های گیاهی نسبت به دامن‌های دمایی در سه کلاس اصلی تقسیم می‌شود:

الف) گیاهان سرد زیست یا سایکروفیل^{۱۳} که در دمای پایین بین ۰ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد بهترین رشد را دارند. گونه‌های گیاهی سایکروفیل خود نیز به دو دسته سرد زیست خشن^{۱۴} و سرد زیست اختیاری^{۱۵} تقسیم می‌شوند. سردزیست‌های خشن گونه‌های با قابلیت رشد در دما یخ‌زدگی هستند و سردزیست‌های اختیاری گونه‌هایی هستند که در محیط سرد رشد می‌کنند اما در دمای بالاتر

بومی و غیربومی پاسخ متنوعی در مواجهه با تغییرات اقلیمی و عدم قطعیت‌های ناشی از آن به وجود می‌آورد. پهنه‌های پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه شامل موارد زیر است:

پهنه پوشش گیاهی طبیعی رودکناری

این پهنه در تمام مسیر رودخانه و به‌صورت پراکنده، ولی بخش چشمگیر آن در مناطق بکر و دست نخورده بیشتر مشاهده می‌شود. در این بخش از پوشش گیاهی، گونه‌های گیاهی آب دوست مانند گز^۱، پده^۲، و نی‌زارها^۳ غالب هستند و در ارتباط با رودخانه و شرایط محیطی حاکم در محدوده مورد مطالعه هستند. ویژگی گونه‌های گیاهی غالب در این پهنه در جدول ۵ آمده است.

پهنه پوشش گیاهی کشاورزی و باغی

پهنه زراعی و باغی شامل گونه‌های گیاهی باغی هستند که انواع نخل خرما در آن گونه غالب بوده و به‌صورت نخلستان در اطراف رودخانه کارون مشاهده می‌شوند و انواع درختان میوه نظیر توت^۴، انار^۵ و انجیر^۶ به‌صورت پراکنده و محدود مشاهده می‌شوند. یکی دیگر از ویژگی این بخش از پوشش گیاهی وجود زراعت در پای انواع نخل‌های خرما و انواع سبزیجات محلی نیز در این باغات کاشته می‌شود. ولی در گذر زمان و در اثر توسعه نامتناسب شهری این باغات و زمین‌های زراعی در اطراف رودخانه کارون به‌صورت محدود مشاهده می‌شوند. ویژگی گونه‌های گیاهی غالب در این پهنه در جدول ۴ آمده است.

پهنه فضای سبز شهری و پارک‌ها

پهنه دیگر، فضای سبز شهری و پارک‌ها هستند که با استفاده از گونه‌های گیاهی شهری و اغلب غیربومی نظیر گونه‌های درختی کنوکارپوس^۷، برهان^۸ و انجیر معابد^۹، این محدوده از دیگر محدوده‌های پوشش گیاهی منطقه قابل تفکیک است.

9 . *Ficus religiosa*
10 . *Capparis spinosa*
11 . *Prosopis farcta*
12 . *Atriplex leococlada*
13. *Psychrophilic plant*
14 .*Strict Cryophiles*
15 Facultative Cryophiles

3 . *Tamarix leptupetala*
2 . *Populus euphratica*
3 . *Typha australis*
4 . *Morus nigra*
5 . *Punica granatum*
6 . *Ficus carica*
7 . *Conocarpus erectus*
8 . *Albizia lebbecki*

پدیده‌های اقلیمی بوده در حالی که طوفان و گردوغبار به میزان ۰/۱۳۱ از کمترین میزان وزن نسبی برخوردار می‌باشد.

اضافه بر این، همان‌گونه که مشخص است زیرشاخص‌های مقاوم به کم آبی در پدیده خشکسالی و گرمای شدید هوا به میزان ۰/۲۴، انعطاف‌پذیری شاخه و برگ‌ها در پدیده طوفان و گردوغبار به میزان ۰/۶۴۸ و مقاومت به شرایط غرقابی در پدیده سیلاب به میزان ۰/۳۵۴ دارای بیشترین تاثیر در انتخاب گونه‌های گیاهی می‌باشند.

همان‌گونه که در جداول گونه‌های گیاهی مربوط به پهنه‌های گیاهی نشان داده شده است، گونه‌های گیاهی نسبت به شاخص‌های اکولوژیکی انتخابی دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند برای مثال گونه گیاهی *Zannichellia palustris* با اینکه در برابر شرایط غرقابی بسیار مقاوم بوده و نسبت به شوری و قلیایی بودن خاک مقاوم می‌باشد، ولی به دلیل کردار نبودن شاخه و برگ‌ها در کاهش اثرات پدیده گردوغبار امتیاز تاثیر کمتری خواهد داشت، و یا گونه گیاهی *Caesalpinia gilliesii* به لحاظ شاخص غرقابی بودن مقاومت کمی دارد ولی در شرایط کم آبی مقاوم می‌باشد.

بر این اساس با توجه به وزن‌دهی صورت گرفته جهت شاخص‌های اکولوژیکی و ویژگی‌های متفاوت گونه‌های گیاهی، وزن‌دهی تیپ‌های مختلف گونه‌های گیاهی محدوده پروژه به روش شاخص تاپسیس صورت گرفته است.

گام ششم: انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار

پس از مرور متون علمی و امتیازدهی کلی گونه‌های گیاهی بر مبنای شاخص‌های اکولوژیکی مؤثر در شرایط پدیده‌های اقلیمی مشخص شده، انتخاب گونه‌های گیاهی براساس امتیاز کلی مشخص شده صورت می‌گیرد.

نیز امکان بقا دارند. این گروه عموماً در دمای زیر ۱۵ درجه سانتی‌گراد رشد کرده ولی دمای پایین را ترجیح می‌دهند. (ب) گیاهان مزوفیل^۱ که دمای معتدل را ترجیح می‌دهند و در دمای بین ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد رشد می‌کنند. گونه‌های مزوفیل نیز دارای دو زیرشاخه هستند. گونه‌های مزوفیل پایین^۲ که آستانه پایین دما را در محدوده دمای این گروه ترجیح می‌دهند که معمولاً بین ۱۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد است. گونه‌های مزوفیل بالا^۳ که آستانه بالای دما (۲۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد) را در محدوده دمای این گروه ترجیح می‌دهند.

(ج) گیاهان ترموفیل^۴ که در دمای بین ۳۰ تا ۶۵ درجه سانتی‌گراد یا در موارد محدودی در دمای بیشتر، رشد می‌کنند. البته لازم به ذکر است که در برخی تقسیم‌بندی‌ها ترموفیل حاد نیز دیده می‌شود که این اصطلاح به باکتری‌ها و موجودات زنده‌ای اشاره دارد که قادر به رشد و زندگی در دماهای بسیار بالا (اغلب بالای ۶۰ درجه سانتی‌گراد) هستند. این گونه‌ها معمولاً در محیط‌های گرم مانند چشمه‌های آب گرم و مناطق آتشفشانی یافت می‌شوند.

با رجوع به تقسیم‌بندی گفته‌شده برای گونه‌های گیاهی مورد مطالعه در جدول ۳، می‌توان دریافت که گونه‌های گیاهی موجود در پهنه زمین‌های بایر و دست نخورده دارای مقاومت بالاتری نسبت به بیشینه دما در محدوده مطالعاتی دارند.

گام پنجم: امتیازدهی به گونه‌های گیاهی

با توجه به تفاوت وزن شاخص‌های اکولوژیکی در شرایط سه پدیده اقلیمی سیلاب، طوفان و گردوغبار و خشکسالی و گرمای شدید هوا و ساختار سلسله مراتبی موجود، جهت وزن‌دهی این شاخص‌ها از روش سلسله مراتبی و با رجوع به نظرات خبرگان صورت گرفته است. نتایج وزن‌دهی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های اکولوژیکی به‌دست آمده با استفاده از نرم افزار *expert choice* و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی محاسبه گردید. به‌طور کلی دسته شاخص‌های اکولوژیکی مربوط به پدیده خشکسالی و گرمای شدید هوا با میزان ۰/۶۶۱ دارای بیشترین وزن نسبت به سایر

4 Thermophilic plant

1 Mesophilic plant
2 Lower Mesophiles
3 Upper Mesophiles

جدول ۳- شرایط رشدی گونه‌های گیاهی پهنه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه از نظر دما														
گیاهان	پهنه	<i>Eucalyptus gunnii</i>	<i>Morus nigra</i>	<i>Ziziphus spina-christi</i>	<i>Olea europea</i>	<i>Phoenix dactylifera</i>	<i>Acacia salicina</i>	<i>Prosopis cineraria</i>	<i>Punica granatum</i>	<i>Vitis vinifera</i>	<i>Ficus carica</i>	-	-	-
کشاورزی و باغات	ترجیح دمایی	مزوفیل [۴۹]	مزوفیل [۱۴]	مزوفیل [۷]	مزوفیل [۵۷]	مزوفیل [۴۱]	مزوفیل [۴۶]	مزوفیل [۵۵]	مزوفیل [۱۹]	مزوفیل [۳۷]	مزوفیل [۶۲]	-	-	-
گیاهان	پهنه	<i>Zannichellia palustris</i>	<i>Alisma lanceolatum</i>	<i>Ranunculus tricarpus</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Potamogeton nodosus</i>	<i>Populus euphratica</i>	<i>Fragmites australis</i>	<i>Tamarix leptopetala</i>	<i>Phragmites australis</i>	<i>Typha australis</i>	-	-	-
رودکنار ی	ترجیح دمایی	مزوفیل [۱۳]	مزوفیل [۸۲]	مزوفیل [۷۱]	مزوفیل [۷۴]	مزوفیل [۴۵]	مزوفیل [۸۳]	مزوفیل [۲۳]	مزوفیل [۶۳]	مزوفیل [۲۳]	مزوفیل [۶۶]	-	-	-
گیاهان	پهنه	<i>Albizia lebbecki</i>	<i>Conocarpus erectus</i>	<i>Cordia myxa</i>	<i>Ficus religiosa</i>	<i>Ficus benghalensis</i>	<i>Caesalpinia gilliesii</i>	<i>Bougainvillea glabra</i>	<i>Lantana camara</i>	<i>Dodonea viscosa</i>	<i>Clerodendron plomidis</i>	<i>Chrysopsis zizanioides</i>	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	<i>Cynodon dactylon</i>
پارک‌ها و فضاهای سبز	ترجیح دمایی	مزوفیل [۶]	مزوفیل [۵۸]	مزوفیل [۷۵]	مزوفیل [۸۹]	مزوفیل [۴۴]	مزوفیل [۳۴]	ترموفیل [۲۷]	مزوفیل [۶۱]	مزوفیل [۷۶]	مزوفیل [۷۳]	مزوفیل [۳۲]	مزوفیل [۵۷]	مزوفیل [۴۳]
گیاهان	پهنه	<i>Capparis spinosa</i>	<i>Alhagi camelorum</i>	<i>Citrullus conocynthis</i>	<i>Prosopis farcta</i>	<i>Suaeda aegyptiaca</i>	<i>Heliotropium europaeum</i>	<i>Lycium depressum</i>	<i>Frankenia hirsuta</i>	<i>Aeluropus littoralis</i>	<i>Atriplex leococlada</i>	<i>Cressa cretica</i>	<i>Reseda alba</i>	<i>Sylibum marianum</i>
زمین‌های بایر و دست نخورده	ترجیح دمایی	ترموفیل [۹۸]	ترموفیل [۶۷]	ترموفیل [۵۶]	ترموفیل [۳۱]	ترموفیل [۷۹]	ترموفیل [۴۲]	ترموفیل [۵]	ترموفیل [۹]	ترموفیل [۴۷]	مزوفیل [۷۷]	مزوفیل [۶۶]	مزوفیل [۳۶]	مزوفیل [۵۹]

جدول ۴- طبقه‌بندی گونه‌های گیاهی موجود در پهنه کشاورزی و باغات در محدوده مورد مطالعه بر مبنای شاخص‌های اکولوژیک. مأخذ: نگارندگان

پدیده‌های اقلیمی	نام گیاه									
	<i>Ficus carica</i>	<i>Vitis vinifera</i>	<i>Punica granatum</i>	<i>Prosopis cineraria</i>	<i>Acacia salicina</i>	<i>Phoenix dactylifera</i>	<i>Olea europea</i>	<i>Ziziphus spina-christi</i>	<i>Morus nigra</i>	<i>Eucalyptus gunnii</i>
سیلاب	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	خیلی زیاد	زیاد	زیاد
	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	متوسط
	زیاد	زیاد	خیلی کم	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	زیاد
	متوسط	متوسط	کم	متوسط	کم	کم	کم	متوسط	خیلی زیاد	متوسط
	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	متوسط
	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد
طوفان و گرد و غبار	خیلی کم	خیلی کم	کم	کم	کم	خیلی کم	کم	کم	کم	خیلی کم
	متوسط	متوسط	کم	متوسط	زیاد	کم	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد
	زیاد	کم	متوسط	کم	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد
خشکسالی	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	زیاد
	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد
	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد

پهنه کشاورزی و باغات

جدول ۵- طبقه‌بندی گونه‌های گیاهی موجود در پهنه رودکناری در محدوده مورد مطالعه بر مبنای شاخص‌های اکولوژیک. مأخذ: نگارندگان

پدیده‌های اقلیمی	نام گیاه شاخص‌ها	<i>Zannichellia</i>	<i>Alisma</i>	<i>Ranunculus</i>	<i>Ceratophyllum</i>	<i>Potamogeton</i>	<i>Populus</i>	<i>Fragmites</i>	<i>Tamarix</i>	<i>Phragmites</i>	<i>Typha</i>
		<i>palustris</i>	<i>lanceolatum</i>	<i>tricarpus</i>	<i>demersum</i>	<i>nodosus</i>	<i>euphratica</i>	<i>australis</i>	<i>leptopetala</i>	<i>australis</i>	<i>australis</i>
سیلاب	مقاومت به شرایط غرقابی خاک	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
	مقاومت به شرایط شوری خاک	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد
	مقاومت به شرایط قلیایی خاک	زیاد	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد
	مقاومت به سرما	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
	مقاومت در برابر آفات	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
طولان و گردوغبار	مقاومت به خاک‌های فقیر	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد
	کرک‌دار بودن شاخه و برگ‌ها	کم	کم	کم	کم	کم	کم	کم	متوسط	کم	کم
	ترکم شاخه و برگ‌ها	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
خشکسالی	انعطاف‌پذیری شاخه و برگ‌ها	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد
	مقاوم به کم‌آبی	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط
	مقاوم به دمای بالای هوا	زیاد	زیاد	متوسط	خیلی زیاد	متوسط	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد
	دارای ریشه‌های عمیق و افشان	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط

پهنه رودکناری

جدول ۶- طبقه‌بندی گونه‌های گیاهی موجود در پهنه پارک‌ها و فضاهای سبز محدوده مورد مطالعه بر مبنای شاخص‌های اکولوژیک. مأخذ: نگارندگان

پدیده‌های اقلیمی	نام گیاه													
	شاخص‌ها	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	<i>Clerodendron plomidis</i>	<i>Dodonaea viscosa</i>	<i>Lantana camara</i>	<i>Bougainvillea glabra</i>	<i>Caesalpinia gilliesii</i>	<i>Ficus benghalensis</i>	<i>Ficus religiosa</i>	<i>Cordia myxai</i>	<i>Conocarpus erectus</i>	<i>Albizia lebbeckii</i>
سیلاب	مقاومت به شرایط غرقابی خاک	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	کم	کم	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	متوسط
	مقاومت به شرایط شوری خاک	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد
	مقاومت به شرایط قلیایی خاک	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد
	مقاومت به سرما	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	کم	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
	مقاومت در برابر آفات	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	کم	متوسط	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	متوسط
طوفان و گرد و غبار	مقاومت به خاک‌های فقیر	متوسط	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط
	کرک‌دار بودن شاخه و برگ‌ها	کم	خیلی کم	کم	خیلی کم	کم	زیاد	خیلی کم	کم	کم	متوسط	خیلی کم	خیلی کم	کم
	تراکم شاخه و برگ‌ها	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد
	انعطاف‌پذیری شاخه و برگ‌ها	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
خشکسالی	مقاوم به کم‌آبی	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط
	مقاوم به دمای بالای هوا	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
	دارای ریشه‌های عمیق و افشان	زیاد	متوسط	خیلی زیاد	متوسط	کم	متوسط	کم	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد

جدول ۷- طبقه‌بندی گونه‌های گیاهی موجود در پهنه زمین‌های بایر و دست نخورده محدوده مورد مطالعه بر مبنای شاخص‌های اکولوژیک. مأخذ: نگارندگان

پدیده‌های اقلیمی	نام گیاه														شاخص‌ها
	<i>Capparis spinosa</i>	<i>Alhagi camelorum</i>	<i>Citrullus conocynthis</i>	<i>Suaeda aegyptiaca</i>	<i>Prosopis farcta</i>	<i>Lycium depressum</i>	<i>Frankenia hirsuta</i>	<i>Aeluropu littoraliss</i>	<i>Atriplex leococlada</i>	<i>Cressa cretica</i>	<i>Reseda alba</i>	<i>Sylibum marianum</i>	<i>Paspalum spp</i>		
سیلاب	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	مقاومت به شرایط غرقابی خاک
	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	کم	متوسط	متوسط	زیاد	مقاومت به شرایط شوری خاک
	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	مقاومت به شرایط قلیایی خاک
	متوسط	متوسط	متوسط	کم	متوسط	کم	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	مقاومت به سرما
	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	مقاومت در برابر آفات
طوفان و گرد و غبار	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	مقاومت به خاک‌های فقیر
	کم	خیلی کم	کم	کم	کم	کم	کم	کم	متوسط	کم	کم	کم	خیلی کم	کم	کرکدار بودن شاخه و برگ‌ها
	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	تراکم شاخه و برگ‌ها
	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	انعطاف‌پذیری شاخه و برگ‌ها
	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	مقاوم به کم‌آبی
خشکسالی	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	مقاوم به دمای بالای هوا
	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	کم	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	دارای ریشه‌های عمیق و افشان

جدول ۸- وزن دهی شاخص های اکولوژیکی مؤثر بر انتخاب گونه های گیاهی به روش تحلیل سلسله مراتبی. مأخذ: نگارندگان

وزن نهایی	ضریب ناسازگاری	وزن تخمین زده شده زیرمعیارها	ریزمعیارهای انتخاب گیاه	وزن معیارها	معیارها
۰/۰۷۳۶۳۲	۰/۰۲	۰/۳۵۴	مقاومت به شرایط غرقابی خاک	۰/۲۰۸	معیارهای انتخاب گونه های گیاهی سازگار در برابر پدیده های اقلیمی-سیلاب
۰/۰۴۰۷۶۸	۰/۰۲	۰/۱۹۶	مقاومت به شرایط شوری خاک		
۰/۰۳۶۶۰۸	۰/۰۲	۰/۱۷۶	مقاومت به شرایط قلیایی خاک		
۰/۰۱۶۰۱۶	۰/۰۲	۰/۰۷۷	مقاومت به سرما		
۰/۰۱۹۱۳۶	۰/۰۲	۰/۰۹۲	مقاومت در برابر آفات		
۰/۰۲۱۸۴	۰/۰۲	۰/۱۰۵	مقاومت به خاک های فقیر	۰/۱۳۱	معیارهای انتخاب گونه های گیاهی سازگار در برابر پدیده های اقلیمی-طوفان و گرد و غبار
۰/۰۳۰۱۳	۰/۰۳	۰/۲۳	کرکدار بودن شاخه و برگ ها		
۰/۰۲۹۶۰۶	۰/۰۳	۰/۲۲۶	تراکم شاخه و برگ ها		
۰/۰۸۴۸۸۸	۰/۰۳	۰/۶۴۸	انعطاف پذیری شاخه و برگ ها	۰/۶۶۱	معیارهای انتخاب گونه های گیاهی سازگار در برابر پدیده های اقلیمی- خشکسالی و گرمای شدید هوا
۰/۳۶۳۵۵	۰	۰/۵۵	مقاوم به کم آبی		
۰/۱۳۸۸۱	۰	۰/۲۱	مقاوم به دمای بالای هوا		
۰/۱۵۸۶۴	۰	۰/۲۴	دارای ریشه های عمیق و افشان		

جدول ۹- وزن دهی شاخص های اکولوژیکی گونه های درختی، درختچه ای، بوته ای و پوششی موجود در محیط پروژه براساس شاخص تاپسیس. مأخذ: نگارندگان

گونه های بوته ای				گونه های درختی			
رتبه	شاخص تاپسیس	نام علمی	ردیف	رتبه	شاخص تاپسیس	نام علمی	ردیف
۱	۰/۵۰۱۱۱۸۶	<i>Potamogeton nodosus</i>	۲۷	۱	۰/۸۱۳۴۱۰۲	<i>Ziziphus spina-christi</i>	۱
۲	۰/۴۵۰۷۴۶۸	<i>Zannichellia palustris</i>	۲۸	۲	۰/۷۹۴۰۱۰۰	<i>Prosopis cineraria</i>	۲
۳	۰/۴۴۰۷۲۶۱	<i>Alisma lanceoletum</i>	۲۹	۳	۰/۷۰۸۱۶۲۵	<i>Conocarpus erectus</i>	۳
۴	۰/۴۳۹۱۴۷۹	<i>Alhagi camelorum</i>	۳۰	۴	۰/۵۶۱۶۸۳۲	<i>Acacia salicina</i>	۴
۵	۰/۴۲۳۵۰۸۸	<i>Ranunculus tricocarpus</i>	۳۱	۵	۰/۵۵۱۱۶۴۲	<i>Cordia myxai</i>	۵
۶	۰/۳۹۹۴۸۲۶	<i>Phragmites australis</i>	۳۲	۶	۰/۵۵۰۹۱۳۶	<i>Eucalyptus gunnii</i>	۶
۷	۰/۳۹۴۰۵۰۱	<i>Fragmites australis</i>	۳۳	۷	۰/۵۴۳۹۰۰۱	<i>Punica granatum</i>	۷
۸	۰/۳۰۸۹۹۷۷	<i>Ceratophyllum demersum</i>	۳۴	۸	۰/۵۳۶۶۲۸۱	<i>Ficus religiosa</i>	۸
۹	۰/۳۰۴۸۰۹۹	<i>Typha australis</i>	۳۵	۹	۰/۵۱۴۹۵۲۲	<i>Ficus carica</i>	۹
۱۰	۰/۲۳۰۳۳۰۱	<i>Potamogeton nodosus</i>	۳۶	۱۰	۰/۵۱۲۰۱۸۲	<i>Phoenix dactylifera</i>	۱۰
-	-	-	-	۱۱	۰/۴۸۱۹۳۳۹	<i>Vitis vinifera</i>	۱۱
-	-	-	-	۱۲	۰/۴۴۴۸۲۶۷	<i>Olea europea</i>	۱۲
-	-	-	-	۱۳	۰/۳۴۰۹۵۳۳	<i>Albizia lebbecki</i>	۱۳
-	-	-	-	۱۴	۰/۲۶۰۱۵۸۵	<i>Ficus benghalensis</i>	۱۴

۱۵	<i>Morus nigra</i>	۰/۲۵۶۲۶۰۳	۱۵	-	-	-	-
گونه‌های درختچه‌ای				گونه‌های پوششی			
۱۶	<i>Capparis spinosa</i>	۰/۶۳۷۱۵۸۴	۱	۳۷	<i>Aeluropu littoraliss</i>	۰/۸۴۸۷۵۹۵	۱
۱۷	<i>Prosopis farcta</i>	۰/۶۲۴۰۴۶۰	۲	۳۸	<i>Cynodon dactylon</i>	۰/۵۸۰۴۳۶۶	۲
۱۸	<i>Tamarix leptupetala</i>	۰/۵۸۶۶۵۵۳	۳	۳۹	<i>Suaeda aegyptiaca</i>	۰/۵۵۸۴۴۰۶	۳
۱۹	<i>Atriplex leococlada</i>	۰/۵۳۲۶۹۷۷	۴	۴۰	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	۰/۴۶۳۰۲۴۳	۴
۲۰	<i>Populus euphratica</i>	۰/۴۳۵۱۵۲۵	۵/۵	۴۱	<i>Cressa cretica</i>	۰/۴۴۵۴۱۶۶	۵
۲۱	<i>Lycium depressum</i>	۰/۴۳۵۱۵۲۵	۵/۵	۴۲	<i>Heliotropium europaeum</i>	۰/۴۴۳۸۸۱۷	۶
۲۲	<i>Lantana camara</i>	۰/۴۱۱۳۹۵۲	۷	۴۳	<i>Frankenia hirsuta</i>	۰/۴۴۳۷۱۴۸	۷
۲۳	<i>Clerodendron plomidis</i>	۰/۳۴۳۹۳۳۵	۸	۴۴	<i>Citrullus conocynthis</i>	۰/۴۳۹۰۲۹۵	۸
۲۴	<i>Caesalpinia gilliesi</i>	۰/۳۰۹۰۹۹۵	۹	۴۵	<i>Paspalum spp</i>	۰/۴۳۸۱۵۹۲	۹
۲۵	<i>Dodonea viscosa</i>	۰/۲۳۲۴۷۹۹	۱۰	۴۶	<i>Sylibum marianum</i>	۰/۴۳۲۴۳۱۵	۱۰
۲۶	<i>Bougainvillea glabra</i>	۰/۱۷۷۷۴۲۶	۱۱	۴۷	<i>Reseda alba</i>	۰/۲۱۱۲۸۷۸	۱۱

باتوجه به جداول فوق بیشترین امتیاز و رتبه ۱ به گونه‌های درختی *Ziziphus spina-christi*، درختچه‌ای *Potamogeton nodosu*، *Capparis spinosa*، بوته‌ای *Aeluropu littoraliss* تعلق دارد و کمترین امتیاز به گونه‌های درختی *Morus nigra*، درختچه‌ای *Bougainvillea glabra*، بوته‌ای *Potamogeton nodosus* و پوششی *Reseda alba* و رتبه‌های ۱۵، ۱۱، ۱۱ و ۱۱ تعلق دارد.

نتایج این تحقیق نشان‌داد که با در نظر گرفتن تاثیرات شاخص‌های اکولوژیکی مؤثر بر انتخاب گونه‌های گیاهی و امتیازدهی گونه‌های گیاهی بر مبنای این شاخص‌ها و تهیه لیست گونه‌های گیاهی درختی، درختچه‌ای، بوته‌ای و پوششی مناسب می‌توان برای مکان‌های مختلف نسبت به انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای طراحی کاشت سازگار با پدیده‌های اقلیمی اقدام نمود.

بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات آب‌وهوایی در شرایط اقلیمی آینده ممکن است با عدم قطعیت‌هایی همراه باشد که اغلب در تصمیم‌گیری‌ها نادیده گرفته شده است.

گونه‌های گیاهی با انعطاف‌پذیری بالا به بهترین شکل می‌توانند جوامع انسانی و اکوسیستم را در این روند گذار

اقلیمی همراهی کنند. هدف این تحقیق معرفی چارچوب ترکیب کاشت انطباق‌پذیر با تغییرات اقلیمی در حاشیه رودخانه کارون در شهر اهواز است. به شکلی که بیانگر مدیریت انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار با عدم قطعیت‌های اقلیمی در جهت کاهش اثرات پدیده‌های ناشی از تغییرات آب‌وهوایی به‌ویژه در مناطق گرم و خشک است.

به بیان دیگر، این مطالعه امتداد مطالعات ارتقاء سازگاری محیطی در مواجهه با تغییر اقلیم و در حوزه گونه‌های گیاهی و ترکیب کاشت در زیرساخت‌های سبز رودکناری است.

این تحقیق با درک روندهای پیش‌بینی‌شده از تغییرات اقلیمی در محدوده حاشیه رودخانه کارون در اهواز، سعی دارد تا چارچوبی برای ارتقاء پایداری جوامع گیاهی مختلف این منطقه با شرایط تغییرات اقلیمی معرفی نماید. این چارچوب در شش مرحله تنظیم گردید: شناخت محدوده مورد مطالعه، ارزیابی تغییرات آب و هوایی و اثرات پدیده‌های اقلیمی، انتخاب شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر انتخاب گونه‌های گیاهی، تهیه پایگاه داده گونه‌های گیاهی، امتیازدهی و انتخاب گونه‌های گیاهی، ترکیب و طراحی کاشت گونه‌های گیاهی انتخابی.

در روند انتخاب گونه‌های گیاهی در این تحقیق از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تاپسیس (TOPSIS)

تغییرات آبوهوایی در مواجهه با عدم قطعیت‌های اقلیمی آینده اقدام نماید.

چارچوب طراحی کاشت سازگار با "ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی" مورد انتظار در منطقه مورد مطالعه و شناسایی شاخص‌های اقلیمی مؤثر بر انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار با شرایط تغییرات اقلیمی، به صورت فعال انجام می‌گیرد [۱]، سپس مجموعه‌ای از گونه‌های گیاهی طبقه‌بندی شده براساس شاخص‌های مؤثر در طراحی کاشت سازگار با تغییرات آبوهوایی تهیه می‌گردد، در نهایت پس از وزن دهی به شاخص‌های تعیین شده به براساس چارچوب ترکیبی تاپسیس و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مورد ارزیابی و انتخاب می‌گردند.

در مراحل بعدی علاوه بر ابعاد اکولوژیکی با توجه به ابعاد اجتماعی و اقتصادی ترکیب بندی گونه‌های گیاهی صورت می‌گیرد و الگوهای طراحی کاشت تعیین می‌گردد. تنوع پاسخ در برابر تغییرات اقلیمی ممکن است منجر به کاهش تنوع زیستی شود [۳۸].

هدف از طراحی کاشت سازگار، اعمال نوآوری در منظر و فضای سبز شهری موجود می‌باشد. بنابراین، تحقیقات بیشتر در زمینه تغییرات آبوهوایی و پدیده‌های اقلیمی به وجود آمده و عدم قطعیت‌های ناشی از آن در طراحی کاشت سازگار با تغییرات اقلیمی به عنوان بخش مهمی از فرآیند طراحی منظر می‌باشد به طوریکه در آینده نزدیک این مسئله برای طراحان منظر به چالشی بسیار مهم و انکار ناپذیر تبدیل خواهد شد و محیط و منظر شهری را با تهدید مواجه خواهد کرد [۶۴].

این مطالعه، یک رویکرد ترکیبی را برای انتخاب گونه‌های گیاهی مقاوم به تغییرات اقلیمی در طراحی منظر با ادغام روش‌های تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی ارائه کرده است. چارچوب پیشنهادی، روشی سیستماتیک و منعطف برای ارزیابی معیارهای اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی مؤثر بر انتخاب گونه‌های گیاهی در مواجهه با عدم قطعیت‌های تغییرات آبوهوایی ارائه می‌کند.

کاربرد مطالعه موردی در امتداد رودخانه کارون در اهواز، ایران، اثربخشی ترکیبی را در شناسایی گونه‌های گیاهی نشان می‌دهد که می‌توانند در مقابل اثرات نامطلوب سیل، طوفان

استفاده شد که روش‌هایی تأیید شده در مطالعات قبلی توسعه زیرساخت‌های سبز می‌باشند [۹۱].

نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیبی از گونه‌های گیاهی درختی، درختچه‌ای، بوته‌ای و علفی می‌تواند در محیط توصیف شده، تحت شرایط تغییر اقلیم پایدار بمانند. بر این اساس سازگارترین گونه‌های درختی موجود در محدوده مطالعاتی به شرایط تغییر اقلیم - *Ziziphus spina-christi* یا درخت کنار معرفی شد.

نتایج این تحقیق با مطالعات قبلی که نشان داد درخت کنار دارای انعطاف پذیری بالایی از نظر اقلیمی در جنوب کشور دارد، سازگار است [۶۲]. همچنین *Capparis spinosa* دارای شرایط مناسبی برای رشد و نمو در شرایط بیان شده دارد که این نتایج سازگار با مطالعه‌ای مروری است که در رابطه با گیاه کاپاریس انجام شده و قدرت سازگاری بالای این گونه گیاهی را منعکس می‌کند [۲۲].

یافته‌های این تحقیق نشان داد که گونه پوششی و ماکروفیت *Aeluropu littoraliss* دارای قابلیت سازگاری بالا با شرایط موجود و افزایش دمای محیطی حاصل از تغییرات اقلیمی دارد. این یافته‌ها سازگار با نتایج گروهی از محققان مصری است که این گونه گیاهی را به عنوان گونه ماکروفیتی که توان سازگاری در پیرامون دریاچه ناصر در مصر دارد که تحت تاثیر تغییر اقلیم دمای آن افزایش داشته است [۴۰].

به طور کلی، تغییرات آبوهوایی در شرایط اقلیمی آینده ممکن است با عدم قطعیت‌هایی همراه باشد که اغلب در تصمیم‌گیری‌ها نادیده گرفته شده است. عدم قطعیت‌ها در تغییرات اقلیمی آینده به گونه‌ای خواهند بود که بسیاری از روش‌های سنتی مواجهه با تغییرات اقلیمی با عمر طولانی را ناکارآمد می‌کند و به دلیل تنوع طبیعی و سختی تشخیص، از طریق پیش‌بینی‌های اقلیمی قابل حل نمی‌باشند. بنابراین، طراحان منظر باید روش‌های تصمیم‌گیری نوین و سازگار با تغییرات آبوهوایی و مواجهه با اثرات پدیده‌های اقلیمی را در فرآیند طراحی در نظر بگیرند [۵۴].

طراح منظر باید اثرات پدیده‌های اقلیمی ناشی از تغییرات آبوهوایی به طور اخص در مناطق گرم و خشک را به رسمیت بشناسد و با اتخاذ چارچوب طراحی سازگار با

مواجه هستند، اعمال کرد و به توسعه مناظر شهری پایدار و انعطاف‌پذیر کمک کرد.

در این پژوهش، باتوجه به ساختاری بودن اثرات تغییرات اقلیمی و میزان تخریب آنها در محدوده مورد بررسی و نیز مرور منابع علمی معتبر و مرتبط در این زمینه، چارچوب طراحی کاشت استوار با تأکید بر روش مسیرهای تطبیقی ارائه شده است. راهکارهای اجرایی ارائه شده باتوجه به تعریف جدید مکان در حوزه طراحی منظر و اهمیت ترکیب جنبه‌های عینی و ذهنی در مسائل مربوط به طراحی منظر، قابل توسعه هستند و به تحقیقات بیشتر و مطالعات بین‌رشته‌ای در این زمینه نیازمند است تا بتوان با ارائه روش‌های طراحی نوین در طراحی منظر به‌صورت هماهنگ با تغییرات آب‌وهوایی و پدیده‌های اقلیمی به وجود آمده و نیز عدم قطعیت‌ها بینجامد.

در همین راستا پیشنهاد می‌شود تا مطالعات آتی به بررسی عملکرد بلندمدت گونه‌های گیاهی منتخب تحت شرایط آب‌وهوایی متغیر، توسعه روش‌های استاندارد شده برای ارزیابی مزایای اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی طراحی منظر بازگشت‌پذیر در برابر تغییرات اقلیمی و الگوی همکاری بین محققان، سیاست‌گذاران و دست‌اندرکاران برای تسهیل اجرای اصول منظر بازگشت‌پذیر را در مناظر مختلف پردازند.

گردوغبار و خشکسالی مقاومت کنند [۲۹]، و در عین حال ترجیحات ذینفعان و شرایط خاص سایت را برآورده کنند.

این مطالعه، اهمیت در نظر گرفتن ویژگی‌های عملکردی گیاه، مناطق پوشش گیاهی و مدیریت تطبیقی را در توسعه منظر مقاوم به تغییر اقلیم نشان می‌دهد.

قابل ذکر است که شاخص‌ها و زیرشاخص‌های تعیین شده در انتخاب گونه‌های گیاهی در این پژوهش براساس پدیده‌های اقلیمی موجود در محدوده مورد مطالعه تعیین گردیده و با توجه به حساسیت‌زایی و مهاجم بودن برخی از گونه‌های گیاهی، ریسک‌های بهداشتی و اکولوژیک گونه‌ها براساس مکان کاشت گونه‌های گیاهی و زون بندی صورت گرفته در تصمیمات نهایی طراحی کاشت مورد توجه قرار می‌گیرد. این مطالعه بر نیاز حیاتی به استراتژی‌های طراحی منظر بازگشت‌پذیر در محیط‌های شهری، به‌ویژه در مناطقی که با تأثیرات تغییرات اقلیمی قابل توجهی روبرو هستند، تأکید می‌کند.

درهمین راستا، چارچوب ارائه شده با ادغام ملاحظات اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی، گونه‌هایی را اولویت‌بندی می‌کند که نه تنها تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی را افزایش می‌دهند، بلکه به شکل‌گیری منظر شهری سازگارتر و پایدار کمک می‌کند [۸۱]. چارچوب پیشنهادی را می‌توان برای سایر مناطقی که با چالش‌های مشابه تغییر آب‌وهوا

References

- [1]. Ahrens, C. W., Andrew, M. E., Mazanec, R. A., Ruthrof, K. X., Challis, A., Hardy, G., & Rymer, P. D. (2020). Plant functional traits differ in adaptability and are predicted to be differentially affected by climate change. *Ecology and evolution*, 10(1), 232-248. <https://doi.org/10.1002/ece3.5890>
- [2]. Allen, D. E., Singh, B. P., & Dalal, R. C. (2011). Soil health indicators under climate change: a review of current knowledge. *Soil health and climate change*, 25-45. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20256-8-2>
- [3]. Alinejad, F., Mehrabian, A. R., Ahmadikhah, A., Akbari Azirani, T., & Minai-Tehrani, D. (2022). Predicting effects of climate change on the distribution of nectar and pollen plants species *Teucrium polium* L. and *Thymus kotschyianus* Boiss. & Hohen. *Journal of Arid Biome*, 11(2), 75-86. 20.1001.1.2008790.1400.11.2.6.6
- [4]. Aquilué, N., Messier, C., Martins, K. T., Dumais-Lalonde, V., & Mina, M. (2021). A simple-to-use management approach to boost adaptive capacity of forests to global uncertainty. *Forest Ecology and Management*, 481, 118692. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118692>
- [5]. Bahraman, A. S., Sepehry, A., & Barani, C. H. (2020). Plant responses to individual and combined effects of abiotic stress: *Lycium depressum* L. vegetative parameters under salinity and drought. *Journal of Rangeland Science*, 10(3), 228.
- [6]. Balkrishna, A., Sakshi, Chauhan, M., Dabas, A., & Arya, V. (2022). A Comprehensive Insight into the Phytochemical, Pharmacological Potential,

- and Traditional Medicinal Uses of *Albizia lebbbeck* (L.) Benth. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022(1), 5359669. <https://doi.org/10.1155/2022/5359669>
- [7]. Behzadi, S., Ghanbarian, G. A., Khosravi, R., Safaeian, R., & Pourghasemi, H. R. (2024). Predicting the habitat suitability and niche dynamics of two *Ziziphus* species in response to climate change. *Authorea Preprints*. DOI: 10.22541/au.171073467.73857576/v1
- [8]. Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with applications*, 39(17), 13051-13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- [9]. Ben Romdhane, W., Al-Doss, A., & Hassairi, A. (2024). The newly assembled chloroplast genome of *Aeluropus littoralis*: molecular feature characterization and phylogenetic analysis with related species. *Scientific Reports*, 14(1), 6472. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57141-8>
- [10]. Brancalion, P. H., & Holl, K. D. (2020). Guidance for successful tree planting initiatives. *Journal of Applied Ecology*, 57(12), 2349-2361. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13725>
- [11]. Brandt, L., Lewis, A. D., Fahey, R., Scott, L., Darling, L., & Swanston, C. (2016). A framework for adapting urban forests to climate change. *Environmental Science & Policy*, 66, 393-402. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.005>
- [12]. Brunckhorst, D. J., & Trammell, E. J. (2023). Future options redundancy planning: Designing multiple pathways to resilience in urban and landscape systems facing complex change. *Urban Science*, 7(1), 11. <https://doi.org/10.3390/urbansci7010011>
- [13]. Bytnerowicz, T. A., & Carruthers, R. I. (2014). Temperature-dependent models of *Zannichellia palustris* seed germination for application in aquatic systems. *Environmental and experimental botany*, 104, 44-53. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.03.006>
- [14]. Can, A., Kazankaya, A., Orman, E., Gundogdu, M., Ercisli, S., Choudhary, R., & Karunakaran, R. (2021). Sustainable mulberry (*Morus nigra* L., *Morus alba* L. and *Morus rubra* L.) production in Eastern Turkey. *Sustainability*, 13(24), 13507. <https://doi.org/10.3390/su132413507>
- [15]. Pretzsch, H., Matyssek, R., Lüttge, U., & Cánovas, F. M. (2019). *Progress in Botany Vol. 80*. Springer.
- [16]. Carhuancho León, F. M., Aguado Cortijo, P. L., Morató Izquierdo, M. D. C., & Castellanos Moncho, M. T. (2020). Application of the thermal time model for different *Typha domingensis* populations. *BMC Plant Biology*, 20(1), 377. doi: 10.1186/s12870-020-02573-3.
- [17]. Chakraborty, S. (2022). TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis. *Decision Analytics Journal*, 2, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100021>
- [18]. Challis, A., Blackman, C., Ahrens, C., Medlyn, B., Rymer, P., & Tissue, D. (2022). Adaptive plasticity in plant traits increases time to hydraulic failure under drought in a foundation tree. *Tree Physiology*, 42(4), 708-721. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpab096>
- [19]. Charafi, J., & Belghyti, D. (2024). Modeling of the spatial distribution of species of interest in agriculture for their conservation: case of *Punica granatum* L. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1398(1), 12017.
- [20] Chen, X. (2016). An analysis of climate impact on landscape design. *Atmospheric and Climate Sciences*, 6(3), 475-481.
- [21] Chiabai, A., Quiroga, S., Martinez-Juarez, P., Higgins, S., & Taylor, T. (2018). The nexus between climate change, ecosystem services and human health: Towards a conceptual framework. *Science of the total environment*, 635, 1191-1204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.023>
- [22] Chedraoui, S., Abi-Rizk, A., El-Beyrouthy, M., Chalak, L., Ouaini, N., & Rajjou, L. (2017). *Capparis spinosa* L. in a systematic review: A xerophilous species of multi values and promising potentialities for agrosystems under the threat of global

- warming. *Frontiers in Plant science*, 8, 1845. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01845>.
- [23]. Cho, J. S., Lee, J. S., & Kim, J. W. (2017). Distribution of *Phragmites australis* communities with different habitat salinity. *Journal of Coastal Research*, 33(5), 1210-1216. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-16-00065.1>
- [24]. Cipolla, A., Delbrassine, F., Da Lage, J.-L., & Feller, G. (2012). Temperature adaptations in psychrophilic, mesophilic and thermophilic chloride-dependent alpha-amylases. *Biochimie*, 94(9), 1943-1950. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2012.05.013>.
- [25]. Darabi, H., Moarrab, Y., Balist, J., & Naroei, B. (2023). Resilient plant species selection for urban green infrastructure development in arid regions: a case of Qom, Iran. *Urban Ecosystems*, 26(6), 1753-1768. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01410-3>
- [26]. Darabi, H., & Saeedi, I. (2019). The Design of Resilient Green Spaces towards Adapting with Climate Change, Case Study Behesht Boulevard, Borujerd. *Journal: Journal of Environmental Science and Technology*, 21, 9(88), 209-219. <https://sid.ir/paper/394361/en>
- [27]. Datta, S. K., Jayanthi, R., & Janakiram, T. (2020). Bougainvillea. *Floriculture and Ornamental Plants*, 1-34.
- [28]. de Souza, D. G. B., dos Santos, E. A., Soma, N. Y., & da Silva, C. E. S. (2021). MCDM-based R&D project selection: A systematic literature review. *Sustainability*, 13(21), 11626. <https://doi.org/10.3390/su132111626>
- [29]. Ekstam, B., & Forseby, Å. (1999). Germination response of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* to diurnal fluctuations in temperature. *Seed Science Research*, 9(2), 157-163. DOI: 10.1017/S0960258599000173, 1999,9(02).
- [30]. Espeland, E. K., & Kettenring, K. M. (2018). Strategic plant choices can alleviate climate change impacts: A review. *Journal of Environmental Management*, 222, 316-324. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.042>.
- [31]. Fagg, C. W., & Stewart, J. L. (1994). The value of *Acacia* and *Prosopis* in arid and semi-arid environments. *Journal of Arid Environments*, 27(1), 3-25. <https://doi.org/10.1006/jare.1994.1041>Get rights and content.
- [32]. Fatima, S., Hameed, M., Ahmad, F., Khalil, S., Ahmad, M. S. A., Ashraf, M., & Ahmad, I. (2021). Diversity and distribution of the Family Poaceae along an elevation gradient in the sub-Himalayan mountains. *Phytocoenologia*, 50(4). <https://doi.org/10.1127/phyto/2021/0378>.
- [33]. Fryd, O., Pauleit, S., & Bühler, O. (2012). The role of urban green space and trees in relation to climate change. *CABI Reviews*, (2011), 1-18. doi:10.1079/PAVSNR20116053.
- [34]. Gagnon, E., Ringelberg, J. J., Bruneau, A., Lewis, G. P., & Hughes, C. E. (2019). Global succulent biome phylogenetic conservatism across the pantropical Caesalpinia group (Leguminosae). *New Phytologist*, 222(4), 1994-2008. <https://doi.org/10.1111/nph.15633>.
- [35]. Glicksman, R. L., & Page, J. (2022). Adaptive management and NEPA: How to reconcile predictive assessment in the face of uncertainty with natural resource management flexibility and success. *Harv. Env't L. Rev.*, 46, 121.
- [36]. Gabay, R., Plitmann, U., & Danin, A. (1994). Factors affecting the dominance of *Silybum marianum* L.(Asteraceae) in its specific habitats. *Flora*, 189(3), 201-206. [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30594-7](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30594-7).
- [37]. Garfi, G., Mercati, F., Fontana, I., Collesano, G., Pasta, S., Vendramin, G. G., De Michele, R., & Carimi, F. (2013). Habitat features and genetic integrity of wild grapevine *Vitis vinifera* L. subsp. *sylvestris* (CC Gmel.) Hegi populations: A case study from Sicily. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 208(8-9), 538-548.
- [38]. Habibullah, M. S., Din, B. H., Tan, S.-H., & Zahid, H. (2022). Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 1073-1086. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2013.08.005>
- [39]. Hanley, P. A., Arndt, S. K., Livesley, S. J., & Szota, C. (2021). Relating the climate

- envelopes of urban tree species to their drought and thermal tolerance. *Science of the Total Environment*, 753, 142012. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142012>
- [40]. Haroon, A. M., & Abd Ellah, R. G. (2021). Variability response of aquatic macrophytes in inland lakes: A case study of Lake Nasser. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 47(3), 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2021.07.004>
- [41]. Huda, M. N., Hasan, M., Abdullah, H. M., & Sarker, U. (2019). Spatial distribution and genetic diversity of wild date palm (*Phoenix sylvestris*) growing in coastal Bangladesh. *Tree Genetics & Genomes*, 15(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s11295-018-1310-9>
- [42]. Hunt, J. R., Cousens, R. D., & Knights, S. E. (2009). Heliotropium europaeum only germinates following sufficient rainfall to allow reproduction. *Journal of Arid Environments*, 73(6-7), 602-610. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.01.002>
- [43]. [Iqbal, U., Hameed, M., Ahmad, F., Ahmad, M. S. A., Ashraf, M., Kaleem, M., Shah, S. M. R., & Irshad, M. (2022). Contribution of structural and functional modifications to wide distribution of Bermuda grass *Cynodon dactylon* (L) Pers. *Flora*, 286, 151973. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2021.151973>
- [44]. Islam, K. N., Rana, L. R. S., Islam, K., Hossain, M. S., Hossain, M. M., & Hossain, M. A. (2021). Climate change and the distribution of two *Ficus* spp. in Bangladesh—predicting the spatial shifts. *Trees, Forests and People*, 4, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100086>
- [45]. Jakubas, E., & Gabka, M. (2013). Distribution patterns of three *Potamogeton* species (*P. crispus*, *P. nodosus* and *P. pectinatus*) along velocity and base richness gradients from a lowland river. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Botanika-Steciana*, 17.
- [46]. Jeddi, K., & Chaieb, M. (2012). Restoring degraded arid Mediterranean areas with exotic tree species: Influence of an age sequence of *Acacia salicina* on soil and vegetation dynamics. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 207(9), 693-700. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2012.07.002>
- [47]. Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., Stadler, J. (2016). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, 21(2). <https://www.jstor.org/stable/26270403>
- [48]. Khodahami, G., Esfahan, E. Z., & Assareh, M. H. (2014). Salinity tolerance of *Atriplex leucoclada* under greenhouse condition and natural habitats of Fars province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 21(2), 274-282.
- [49]. Kirkpatrick, J. B., & Gibson, N. (1999). Towards an explanation of the altitudinal distributions of three species of *Eucalyptus* in central Tasmania. *Australian Journal of Ecology*, 24(2), 123-131. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.1999.241955.x>
- [50]. Kuller, M., Bach, P. M., Ramirez-Lovering, D., & Deletic, A. (2017). Framing water sensitive urban design as part of the urban form: a critical review of tools for best planning practice. *Environmental Modelling & Software*, 96, 265-282. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.07.003>
- [51]. Kyriakopoulos, G. L., & Sebos, I. (2023). Enhancing climate neutrality and resilience through coordinated climate action: Review of the synergies between mitigation and adaptation actions. *Climate*, 11(5), 105. <https://doi.org/10.3390/cli11050105>
- [52]. Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Springer Science & Business Media.
- [53]. Lambers, H., Chapin III, F. S., & Pons, T. L. (2019). *Plant physiological ecology*. Springer Science & Business Media
- [54]. Leal, J. E. (2020). AHP-express: A simplified version of the analytical hierarchy process method. *METHODS*, 7, 100748. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.11.021>
- [55]. Leakey, R. R. B., & Last, F. T. (1980). Biology and potential of *Prosopis* species in arid environments, with particular reference to *P. cineraria*. *Journal of Arid Environments*,

- 3(1), 9–24. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)31672-0](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)31672-0)
- [56]. Li, Q.-Y., Munawar, M., Saeed, M., Shen, J.-Q., Khan, M. S., Noreen, S., Alagawany, M., Naveed, M., Madni, A., & Li, C.-X. (2022). *Citrullus colocynthis* (L.) Schrad (Bitter Apple Fruit): Promising traditional uses, pharmacological effects, aspects, and potential applications. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 791049. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.791049>
- [57]. Lokhande, V. H., Nikam, T. D., & Suprasanna, P. (2009). *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. a promising halophyte: cultivation, utilization and distribution in India. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56(5), 741–747. <https://doi.org/10.1007/s10722-009-9435-1>
- [58]. Lonard, R. I., Judd, F. W., DeYoe, H. R., & Stalter, R. (2020). Biology of the mangal halophyte *Conocarpus erectus* L.: A review. *Handbook of Halophytes: From Molecules to Ecosystems towards Biosaline Agriculture*, 1–13. DOI:10.1007/978-3-030-57635-6_72
- [59]. Lonard, R. I., Judd, F. W., & Stalter, R. (2015). Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: *Paspalum vaginatum* Sw. *Journal of Coastal Research*, 31(1), 213–223. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-14-00022.1
- [60]. Maldonado, N. G., López, M. J., Caudullo, G., & De Rigo, D. (2016). *Olea europaea* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species, Publ. Off. EU, Luxembourg. Pp. 01534b*.
- [61]. Mandal, G., & Joshi, S. P. (2015). Eco-physiology and habitat invasibility of an invasive, tropical shrub (*Lantana camara*) in western Himalayan forests of India. *Forest Science and Technology*, 11(4), 182–196. <https://doi.org/10.1080/21580103.2014.990062>
- [62]. Martínez-Macias, K. J., Márquez-Guerrero, S. Y., Martínez-Sifuentes, A. R., & Segura-Castruita, M. Á. (2022). Habitat suitability of fig (*Ficus carica* L.) in Mexico under current and future climates. *Agriculture*, 12(11), 1816. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111816>
- [63]. Mehrabian, A., Mahiny, A. S., Mostafavi, H., & Liaghati, H. (2010). Vegetation Mapping of the Mond Protected Area of Bushehr Province (SW Iran). In *Satellite Communications*. IntechOpen.
- [64]. Monacella, R., & Keane, B. (2022). Designing landscape architectural education: Studio ecologies for unpredictable futures: Taylor & Francis.
- [65]. Mooney, H., Larigauderie, A., Cesario, M., Elmquist, T., Hoegh-Guldberg, O., Lavorel, S., . . . Yahara, T. (2009). Biodiversity, climate change, and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.07.006>
- [66]. Motti, R., Bonanomi, G., & Stinca, A. (2020). Deteriogenic flora of the Phlegraean Fields Archaeological Park: ecological analysis and management guidelines. *Nordic Journal of Botany*, 38(5). <https://doi.org/10.1111/njb.02627>
- [67]. Muhammad, G., Hussain, M. A., Anwar, F., Ashraf, M., & Gilani, A. (2015). Alhagi: a plant genus rich in bioactives for pharmaceuticals. *Phytotherapy Research*, 29(1), 1–13. <https://doi.org/10.1002/ptr.5222>
- [68]. Namiranian, M., Lotfian, H., Sadeghi, S. M., & Javanshir, K. (2008, September). Ecological investigation on christ-thorn (*Ziziphus spina-christi* L.) in Bushehr province. In I International Jujube Symposium 840 (pp. 189–196). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.84.0.23>
- [69]. Olson, A., Paul, J., & Freeland, J. R. (2009). Habitat preferences of cattail species and hybrids (*Typha* spp.) in eastern Canada. *Aquatic Botany*, 91(2), 67–70. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2009.02.003>
- [70]. Ordóñez, C., & Duinker, P. (2015). Climate change vulnerability assessment of the urban forest in three Canadian cities. *Climatic Change*, 131(4), 531–543. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1394-2>
- [71]. Ordóñez, C., & Duinker, P. N. (2014). Assessing the vulnerability of urban forests to climate change. *Environmental Reviews*, 22(3), 311–321. <https://doi.org/10.1139/er-2013-0078>
- [72]. Ozturk Kamil, Saglam Aykut, Kadioglu Asım, *Heliotropium thermophilum*, an extreme heat tolerant species, promises plants about adaptation to high soil temperature

- conditions, DOI: 10.1007/s12298-020-00766-6
- [73]. Packer, J. G., Meyerson, L. A., Skálová, H., Pyšek, P., & Kueffer, C. (2017). Biological flora of the british isles: phragmites australis. *Journal of Ecology*, 105(4), 1123-1162. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12797>
- [74]. Pakravan, M., & Assadi, M. (2024). A synopsis of the genus *Ranunculus* (Ranunculaceae) in Iran. *The Iranian Journal of Botany*, 30(1), 39-53. DOI: 10.22092/ijb.2024.364200
- [75]. Parmesan, C., Morecroft, M. D., & Trisurat, Y. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. GIEC.
- [76]. Patel, J. J., Acharya, S. R., & Acharya, N. S. (2014). *Clerodendrum serratum* (L.) Moon.—A review on traditional uses, phytochemistry and pharmacological activities. *Journal of Ethnopharmacology*, 154(2), 268-285. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.03.071>
- [77]. Pelechaty, M., Pronin, E., & Pukacz, A. (2014). Charophyte occurrence in *Ceratophyllum demersum* stands. *Hydrobiologia*, 737(1), 111-120. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1622-6>
- [78]. Poonia, G., & Kumar, S. (2024). Exploring Bioactive Compounds in Underutilized Fruit Crops of Arid and Semi-Arid Regions: A Comprehensive Review. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(7), 728-742. DOI : 10.9734/jsrr/2024/v30i72184
- [79]. Priyadi, A. (2021, May). Species distribution models for two subspecies of *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) in Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 743, No. 1, p. 012027). IOP Publishing. DOI 10.1088/1755-1315/743/1/012027
- [80]. Priyashree, S., Jha, S., & Pattanayak, S. P. (2010). A review on *Cressa cretica* Linn.: A halophytic plant. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 161. doi: 10.4103/0973-7847.70910
- [81]. Radhakrishnan, M., Pathirana, A., Ashley, R. M., Gersonius, B., & Zevenbergen, C. (2018). Flexible adaptation planning for water sensitive cities. *Cities*, 78, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.01.022>
- [82]. Rahman Neamah, S., D Mohsin, H., & Hameed Kamil, Z. (2021). Phytochemical Screening and Antibacterial Effect of Methanol Extracts of *Suaeda aegyptiaca* Leaves on *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli*, and *Pseudomonas aeruginosa*. *Archives of Razi Institute*, 76(5), 1343-1349. <https://doi.org/10.22092/ari.2021.356133.1784>
- [83]. Rędzińska, K., & Piotrkowska, M. (2020). Urban planning and design for building neighborhood resilience to climate change. *Land*, 9(10), 387. <https://doi.org/10.3390/land9100387>
- [84]. Riechers, M., Barkmann, J., & Tschantke, T. (2018). Diverging perceptions by social groups on cultural ecosystem services provided by urban green. *Landscape and Urban Planning*, 175, 161-168. doi:10.1016/j.landurbplan.2018.03.017
- [85]. Rogers, G. K. (1983). The genera of Alismataceae in the southeastern United States. *Journal of the Arnold Arboretum*, 64(3), 383-420. <https://www.jstor.org/stable/43782113>
- [86]. Rüger, N., Schlüter, M., & Matthies, M. (2005). A fuzzy habitat suitability index for *Populus euphratica* in the Northern Amudarya delta (Uzbekistan). *Ecological Modelling*, 184(2-4), 313-328. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.10.010>
- [87]. Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing Co. Inc. California.
- [88]. Saha, N., Singha Roy, S., Biswas, S., & Datta, S. (2017). Adaptive Soil Management: A Tool for Plant Fitness in Stressful Environment Through Microbial Integrity. In *Adaptive Soil Management: From Theory to Practices* (pp. 277-299). Singapore: Springer
- [89]. Saeedi, I., Darabi, H., & Gili, M. R. (2023). A framework for selecting suitable species for the development of green infrastructure in industrial landscapes in arid and semi-arid areas of Iran. *Journal of Arid Biome*, 13(2), 139-157. doi:10.29252/aridbiom.2024.21065.1984

- [90]. Saeedi, I., Bahremand, A., & Salmanmahiny, A. (2022). Multi-criteria prioritizing of Green Infrastructure Practices and their combinations to Control Runoff in Tehran Metropolitan. *Journal of Environmental Studies*, 48(1), 79-100. Doi:10.22059/jes.2022.335865.1008264
- [91]. Bahraman, A. S., SepehryB, A., & BaraniC, H. (2020). Plant responses to individual and combined effects of abiotic stress: *Lycium depressum* L. vegetative parameters under salinity and drought. *Journal of Rangeland Science*, 10(3), 228.
- [92]. Shelef oren, Summerfield Liron , Lev-Yadun simcha, Villamarin-Cortez Santiago, Sadeh roya, Herrmann Ittai , Rachmilevitch Shimon, 2019, arianum Leaves Thermal Benefits From White Variegation of *Silybum marianum* Leaves, Volume 10 – 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00688>.
- [93]. Singh, S., Jain, S. K., Alok, S., Chanchal, D., Rashi, S., & Pradesh, U. (2016). A review on *Ficus religiosa*-An important medicinal plant. *Int J Life Sci Rev (IJLSR)*, 2(1), 1–11.
- [94]. Švagr, P., Gallo, J., Vítámvás, J., Podrázský, V., & Baláš, M. (2023). Potential of *Morus nigra* in Central Europe focused on micropropagation: A short review. *J. For. Sci*, 69, 463-469. DOI: 10.17221/73/2023-JFS
- [95]. Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2014). *Plant Physiology and Development*. Sinauer Assotiates. Inc., Publishers Sunderland, Massachusetts. pp, 761.
- [96]. Levitt, J. (1980). Responses of Plants to Environmental Stress, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses (pp. 497-pp). doi/full/10.5555/19802605739
- [97]. Teixeira, C. P., Fernandes, C. O., & Ahern, J. (2022). Adaptive planting design and management framework for urban climate change adaptation and mitigation. *Urban Forestry & Urban Greening*, 70, 127548. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127548>
- [98]. Vaisova, G. B., Rakhimova, T., & Matkarimova, A. (2021). Initial Stages of Ontogenesis of *Capparis spinosa* L. in the Conditions of the Tashkent Botanical Garden (Uzbekistan). *American Journal of Plant Sciences*, 12(11), 1613–1623. DOI:10.4236/ajps.2021.1211112
- [99]. Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199–223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>
- [100]. Wardlaw, I. F. (1972). *Physiological Adaptations: Responses of Plants to Environmental Stresses*. J. Levitt. Academic Press, New York, 1972. xiv, 698 pp., illus. \$32.50. *Physiological Ecology. Science*, 177(4051), 786-786. DOI: 10.1126/science.177.4051.786.a
- [101]. Weiglin, C., & Winter, E. (1991). Leaf structures of xerohalophytes from an East Jordanian Salt Pan. *Flora*, 185(6), 405–424. [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30508-X](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30508-X)
- [102]. Xiao, J., & Yuizono, T. (2022). Climate-adaptive landscape design: Microclimate and thermal comfort regulation of station square in the Hokuriku Region, Japan. *Building and Environment*, 212, 108813. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108813>
- [103]. Yadav, N., Rakholia, S., & Yosef, R. (2024). Decision Support Systems in Forestry and Tree-Planting Practices and the Prioritization of Ecosystem Services: A Review. *Land*, 13(2), 230. <https://doi.org/10.3390/land13020230>
- [104]. Zandvoort, M., Kooijmans, N., Kirshen, P., & van den Brink, A. (2019). Designing with Pathways: A Spatial Design Approach for Adaptive and Sustainable Landscapes. *Sustainability* 2019, Vol11, Page 565, 11(3), 565-565. doi:10.3390/SU11030565.
- [105]. Zangiabadi, Somayeh, et al. "Investigation of the effect of climate change on the distribution range of *Prunus eburnea* (Spach) Aitch. & Hemsl. using the Maxcent." *Journal of Arid Biome* 11.1 (2021): 63-75. DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2021.16797.1861.

Adaptive planting design against climate change around the Karun River in Ahvaz: a systematic approach for green infrastructure development (Research Paper)

1- **Iman Saeedi**: Assistant Professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Iran.

2- **Abdul Hossein Hoveyzavi**, Ph.D. Candidate, Environmental Design Engineering Department., Faculty of Environment, University of Tehran ,Iran.

3- **Hassan Darabi***, Assistant Professor, Department of Environmental Design, Graduated Faculty of Environment, University of Tehran, Iran.

darabih@ut.ac.ir

Received: 8 Jun. 2024

Accepted: 26 Jan. 2025

Abstract

The present study provides a systematic framework for resilient landscape design against climate change, focusing on the selection of suitable plant species. In this framework, a set of ecological, social, and economic criteria have been selected considering the environmental and socio-economic conditions, and then using the hierarchical analysis method and TOPSIS method, the combination of adaptive planting to improve biodiversity and water resources management has been obtained. Furthermore, for the practical use of this framework, the border of the Karun River in Ahvaz was chosen as a case study. The results show the effectiveness of the combined approach in selecting plant species that can be resilient to the adverse effects of climate change in addition to fulfilling social and economic goals. According to the obtained results, in general, the category of ecological indicators related to the phenomenon of drought and extreme heat had the highest weight compared to other climatic phenomena in the study area, with a rate of 0.661. Moreover, the sub-indices of resistance to dehydration in the phenomenon of drought and extreme heat (0.24), the flexibility of branches and leaves in the phenomenon of storm and dust (0.648), and resistance to waterlogging in the phenomenon of flood (0.354) had the greatest impact on the selection of plant species. Therefore, according to the TOPSIS index, *Ziziphus spina-christi*, *Capparis spinosa*, *Potamogeton nodosus*, and *Aeluropus littoralis* received the highest score and rank 1, whereas *Morus nigra*, *Bougainvillea glabra*, *Potamogeton nodosus*, and *Reseda alba* received the lowest score. The proposed framework of this research provides a systematic and flexible approach for environmental engineers, landscape designers, and environmental planners to make more informed decisions in the face of climate change uncertainties.

Keywords: Adaptive design, Climate change, Planting Strategy, Planting design. Resilience, Topsis.