فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹

۲۱۹-۲۳۶

انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای فضای سبز شهرهای نیمه خشک با تاکید بر تغییر اقلیم (مورد مطالعه: شهر تهران)

مالک ربیعی‌صادق‌آبادی، امید نوری* و رضا دیهیم‌فرد

گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۲

ربیعی صادق آبادی، م.، ا. نوری و ر. دیهیم‌فرد. ۱۳۹۹. انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب برای فضای سبز شهرهای نیمه خشک (مورد مطالعه: شهر تهران). فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۱): ۲۳۶-۲۱۹.

سابقه و هدف: فضای سبز شهری دارای کارکردهای متعدد و حیاتی است. بهبود و تغییر سلامت جسمی و روانی موجودات زنده، بویژه انسان‌ها، زیباسازی محیط زیست، کاهش اثرهای مخرب تغییرات اقلیمی نظیر مهار تندبادها و سیلاب‌ها و همچنین کنترل و کاهش آلاینده‌های خطرناک نظیر آنچه امروزه تهران و بیشتر کلان شهرهای کشور با تهدید آن روبرو هستند، تنها بخش ملموسی از اثرهای فضاهای سبز، بویژه جنگل‌های شهری و درختان موجود در شهر هستند. به‌دلیل اقلیم نیمه خشک تهران، چالش‌های زیادی برای انتخاب گیاهان مناسب برای ایجاد فضای سبز وجود دارد. اگر همه معیارهای انتخاب گیاهان برای فضای سبز شهری در نظر گرفته نشود، خسارت‌های محیط زیستی و ضررهای مالی زیادی ممکن است ایجاد شود. تعیین عامل‌های ارزیابی گونه‌های گیاهی در فضای سبز شهری از استاندارد خاصی برخوردار نبوده و در بیشتر منابع تنها به برخی از آن‌ها اشاره شده است. هدف از انجام این پژوهش ایجاد فضای سبز پایدار برای منطقه مورد مطالعه بود.

مواد روش‌ها: پس از بررسی منابع علمی، عامل‌هایی که از نظر کاربردی در انتخاب گیاه نقش دارند، تعیین شد. به‌طور کلی این عامل‌ها در شش مقوله سازگاری منطقه‌ای[۱]، سازگاری محیط‌زیست شهری[۲]، زیبایی‌شناختی[۳]، نگهداری[۴]، خصوصیات رشدی[۵] و مزایای ویژه[۶] طبقه‌بندی و محتوای هر مقوله تعیین شد. برای تعیین ضرایب از روش" تحلیل سلسله مراتبی" (AHP)[۷] استفاده شد. این روش یکی از روش‌های پرکاربرد برای رتبه‌بندی و تعیین اهمیت عوامل است که با استفاده از مقایسات زوجی گزینه‌ها به اولویت‌بندی هر یک از معیارها می‌پردازد. برای تعیین مقدار ضرایب، جدول‌هایی در قالب پرسش‌نامه طرح و به ۸ نفر از کارشناسان متخصص و آشنا به منطقه مربوطه داده شد، سپس از داده‌های به‌دست آمده میانگین گرفته، و با استفاده از نرم افزار Expert choice مقدار ضرایب به‌دست آمد. فهرستی از گونه‌های رایج که در تهران کاشته می‌شوند و گونه‌هایی که یک نمونه از آن‌ها در باغ گیاه‌شناسی تهران موجود بوده و نتیجه قابل قبولی داشته است، تهیه شد. امتیازدهی به گونه‌های گیاهی بین ۰ تا ۳ صورت گرفت و برای حالت‌های بینابینی از اعداد ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ استفاده شد. این امتیازدهی توسط متخصصان مربوطه انجام شد و در پایان از نظرهای مختلف میانگین گرفته شد. پس از ضرب وزن هر عامل در امتیاز هر گونه، وزن نهایی گیاهان مشخص شد و گیاهان مناسب و به‌نسبت مناسب برای کاشت شناسایی شدند. به‌دلیل اهمیت مسئله تغییر اقلیم، عامل‌هایی که ممکن است تحت تاثیر آن قرار گیرند، به کمک پیش‌بینی اقلیم آینده با استفاده از نرم‌افزار LARSE-WG 5.1 تحت مدل HadCM3 که دارای سه سناریو انتشار به نام A1B، B1 و A2 در دو دوره زمانی (۲۰۱۱ - ۲۰۳۰) و (۲۰۴۶ - ۲۰۶۵) هستند، و همچنین بررسی منابع معتبر تعیین، و وزن این عامل‌ها جداگانه در امتیاز گونه‌ها ضرب شده و بر این اساس گیاهان مناسب و به‌نسبت مناسب اولویت‌بندی

*Corresponding Author. *Email Address:* o_nouri@sbu.ac.ir

و برای کاشت معرفی شدند.

نتایج و بحث: به‌طور کلی نتایج نشان داد که بسیاری از گونه‌های غالب فضای سبز تهران، گیاهان مناسب (از نظر عامل‌هایی که بررسی شده‌اند) نیستند و گیاهان جدید مناسبی (با توجه به عامل‌های بررسی شده و امتیاز کسب شده توسط گیاهان) برای کاشت وجود دارد که کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌عنوان نمونه از گونه‌های درختی مناسب می‌توان به خرنوب، لیلکی بی‌خار و خاردار، عناب، گز، سوفورا، پسته چینی، بلوط قرمز، بلوط خاکستری، داغداغان، بلوط همیشه سبز و ... اشاره کرد. از گونه‌های درختچه‌ای مناسب می‌توان به ارغوان، زرشک زینتی، سنجد زینتی، انگور فرنگی، طاووسی، گل‌نار، سماق و پیروکانتا اشاره کرد. پیشنهاد می‌شود گونه‌های جدید قبل از کاشت ارزیابی شده، تا خطری برای محیط زیست نداشته باشند.

نتیجه‌گیری: به طور کلی، نتایج نشان داد که بسیاری از گیاهان غالب در فضای سبز تهران گونه‌های مناسبی نیستند و گیاهان مناسبی نیز وجود دارند که توجه کمتری به آن نشان داده‌اند. باید قبل از معرفی گیاهان جدید و وارد کردن آن‌ها به محیط شهر، برای چند سال در مقیاس کوچک آزمایش شوند تا مهاجم نبودن آن‌ها تأیید شود. یافته‌های این تحقیق به همراه سایر خصوصیات درخت برای دستیابی به بهترین نتایج، قابل استفاده است. نتایج این تحقیق برای شهرهای مشابه اقلیم تهران قابل استفاده است. برای تسهیل در انتخاب گیاهان در این تحقیق از تعدادی معیار برای انتخاب گیاهان استفاده شده ولی باید توجه داشت که تلفیق تجربه (مشاهده‌ها و کارشناسان باتجربه) با این یافته‌ها، در انتخاب گیاهان مناسب، اثربخشی بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، تغییر اقلیم، شهرهای نیمه خشک، فضای سبز شهری.

مقدمه

کاشت و نگهداری گیاهان در فضای سبز شهری بسیار پرهزینه است. در مقیاس بزرگ استفاده از گیاهانی که هم سازگار باشند و هم ارزان، بسیار مهم و حیاتی است. اگر گیاهان به‌درستی انتخاب نشوند، به دردسر بزرگی تبدیل خواهند شد. به‌عنوان نمونه بیش از ۱/۸ میلیون درخت سرو در حاشیه توکیو، که در دهه حاضر و پیش از آن کاشته شده‌اند، این شهر را در بهار و موقع گرده‌افشانی درختان به بزرگترین شهر آلرژیک جهان تبدیل کرده است. (Corkill, 2009) حجم انبوهی از داروهای ضد حساسیت سالانه توسط مردم توکیو مصرف می‌شود که بر سلامت و اقتصاد مردم این شهر تاثیر منفی دارد. در نمونه دیگر، کاشت درختان ژینگو در خیابان‌های چند ایالت آمریکا مانند آیووا سبب شکایت مردم از بوی بد این درخت شده است. پیدا کردن یک گیاه مناسب همیشه یک چالش برای مسئولان مربوطه به‌حساب می‌آید، زیرا هر گیاه دارای ویژگی‌های متعددی است و غفلت از یکی از این ویژگی‌ها نتایج خوبی در بلندمدت نخواهد داشت. از طرفی افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر و افزایش دمای ناشی از آن سبب برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین شده است که می‌تواند اثرهای مخربی بر محیط‌زیست، کشاورزی و اقتصاد داشته باشد. تغییرات اندک در عوامل اقلیمی می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر بخش کشاورزی و اقتصاد وارد آورد (IPCC, 2007). این تغییرات موجب گسترش خشکسالی و همچنین غیر یکنواختی توزیع بارش شده که بر منبع‌های آب اثر منفی دارد (Khosravi *et al*., 2006). اگر میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای با سرعت فعلی ادامه یابد، پیش‌بینی بیشتر مدل‌ها گویای افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ می‌باشد. با توجه به عدم قطعیت پیش‌بینی درجه حرارت تا سال ۲۱۰۰، افزایش ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی می‌شود که حتی افزایش تنها یک درجه‌ای حرارت در ۱۰ سال اخیر اثرهای زیادی را درپی داشته است (Saunders, 1999). در محیط‌های شهری عامل‌های زیادی مانند خاک‌های قلیایی و عامل‌های آب و هوایی مانند درجه حرارات بالا موجب ایجاد تنش در گیاهان می‌شوند (Saebo *et al*., 2003). افزون بر این تغییر اقلیم نیز تابستان‌ها را خشکتر و دمای هوا را افزایش می‌دهد (Kasang and Kasper, 2007). تنش آب سبب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق، کاهش در پتانسیل آب بافت‌های گیاهی، کاهش در

فتوسنتز و مهار رشد، تجمع اسید آبسیزیک[8]، پرولین، مانیتول، سوربیتول، تشکیل ترکیبات رادیکالی (آسکوربیت، گلوتاتیون، α-توکوفرول و غیره)، و سنتز پروتئین‌های جدید می‌شود (Yordanov and Karakirova, 2007). افزایش دما در اثر تغییر اقلیم می‌تواند در درختان C_3 مانند بسیاری از مخروطیان سبب بسته شدن روزنه و کمبود کربن و حتی در موارد شدید سبب مرگ و میر درختان مانند مرگ ومیر کاج‌های شمال آمریکا شود. این افزایش همچنین می‌تواند ضخامت پوسته درختان را کاهش و مقاوت آن‌ها را در برابر آسیب‌ها افزایش و تولید بذر را در درختان ماگنولیا، نارون، کاج و راش کاهش دهد و برعکس، کاهش دما سبب می‌شود گلدهی با مشکل مواجه شود و اندام تولید مثل گیاه آسیب ببیند (Gill *et al*., 2013). تحقیق‌های گذشته که بر روی اقلیم تهران انجام شده، نشان می‌دهد که تغییر اقلیم موجب کمتر شدن دفعات و شدت وزش باد و سبب افزایش آلودگی هوا می‌شود (Alijani, 2009). افزایش دما همچنین موجب افزایش آفت‌ها می‌شود و بر فعالیت حشرات گرده افشان تاثیر دارد (Gill *et al*., 2013). در حالی که در آینده نقش فضای سبز از اهمیت بالایی برخوردار است، گیاهان انتخاب شده برای کاشت باید بتوانند شدت و افزایش دفعات خشکی تابستان و موج گرما را تحمل کنند و همچنین سرمای دیررس بهاره سبب ایجاد خسارت نشود. اگر چه مطالعات علمی اطلاعات بسیار مفیدی را از واکنش گیاهان به شرایط استرس‌زای شهری فراهم می‌کند، اما از این پژوهش‌های علمی در عمل کمتر استفاده می‌شود (Roloff *et al*., 2009). عوامل ویژه انتخاب گیاه، مختص یک اقلیم است که دلیل آن شرایط متفاوت محیطی است. به‌عنوان نمونه در شهر سیاتل آمریکا روی عامل کنترل فرسایش تاکید شده است (Day, 2004). در حالی که در شهر یوتا بر اساس عامل‌هایی همچون تحمل به خشکی، انجماد، قلیایت خاک و بیماری‌ها انتخاب صورت می‌گیرد (Larry and Libbey, 1996). انتخاب گیاه برای اقلیم خشک و نیمه‌خشک دارای چالش‌هایی است، زیرا محدودیت‌ها بیشتر هستند. انتخاب گیاهان بر اساس سازگاری‌های آب و هوایی، رشد و ویژگی‌های بیرونی، مقاومت در برابر آفت‌ها و بیماری‌ها به‌عنوان معیارهای اصلی هستند (Saebo *et al*., 2003). معیارهای اضافی همچون مقاومت در برابر سایه و زیبایی در مطالعات بعدی در نظر گرفته شد (Roloff *et al*., 2009). در پروژه کمربند سبز تهران عامل‌های نیاز آبی، مقاومت به سرما و محل کاشت، معیارهای انتخاب برای تهران بودند (Company, 2001). در مطالعه دیگر گفته شد که انتخاب دقیق سبب می‌شود محیط ما جذابتر و حیات وحش بهتر شود (Culter and Richardson, 1989).

همان‌طور که در مطالعات انجام گرفته مشهود است، در هر مطالعه تمامی عامل‌های موثر در انتخاب گیاهان استفاده نشده است، پس لازم است در انتخاب گیاهان روشی موثر بیان شود تا هم پایداری حفظ شود و هم گیاهان با بیشترین دقت برای کاشت انتخاب شوند. در این مطالعه ابتدا با استفاده از سیستم تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[9] گونه‌های مناسب و به‌نسبت مناسب و همچنین گونه‌های به‌نسبت نامناسب و نامناسب در چهار گروه مشخص شدند. سپس عامل‌های متاثر از تغییر اقلیم مشخص شدند و گونه‌ها در هر چهار گروه اولویت‌بندی شدند.

مواد و روش‌ها

انتخاب گیاه

فهرستی از گیاهان غالب که در منطقه کاشت می‌شوند، تهیه شد. گونه‌های پیشنهادی از گونه‌های رایجی که در کشور و جهان کاشت می‌شوند و حداقل نمونه‌ای از آن‌ها در باغ گیاه‌شناسی تهران موجود بود، انتخاب شدند. تعداد گیاهان غالب و پیشنهادی در این مطالعه، ۱۳۷ گونه درختی و درختچه‌ای بود که تعدادی از این گونه‌ها برای کشت در فضای سبز شهر تهران (نیمه جنوبی تهران) توصیه شد.

تعیین عامل‌های انتخاب گونه‌های گیاهی

همان‌طور که اشاره شد تعیین عامل‌های ارزیابی گونه‌های گیاهی در فضای سبز شهری از استاندارد خاصی برخوردار نبوده و در بیشتر منابع تنها به برخی از آن‌ها اشاره شده است. عامل‌های موثر بر رشد گیاهان را می‌توان به دو دسته ثابت و تغییرپذیر تقسیم کرد. به‌عنوان نمونه در شرایط تهران، رطوبت نسبی پایین است و به‌طور مطلق کشت

گیاهانی که وابستگی به رطوبت هوا دارند در آن امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین تحمل چنین رطوبتی برای تمام گیاهان موجود ثابت فرض شده است و ارزیابی بر مبنای شرایط تغییرپذیر انجام می‌شود. بنابراین در این بخش پس از بررسی منابع علمی عامل‌هایی که از نظر کاربردی در انتخاب گیاه نقش دارند، تعیین شد. به‌طور کلی این عامل‌ها در شش گروه سازگاری منطقه‌ای[10]، سازگاری محیط‌زیست شهری[11]زیبایی‌شناختی[12]، نگهداری[13]، خصوصیات رشدی[14]و مزایای ویژه[15]طبقه‌بندی و محتوای هر گروه تعیین شد.

تعیین وزن عامل‌ها بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی:

در این مطالعه با دادن یک الگو، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی عامل‌های انتخاب گونه‌ها وزن‌دهی شدند. با توجه به اینکه هر گونه نسبت به گونه‌های دیگر دارای برتری‌ها و یا کاستی‌هایی می‌باشد، این روش به ما کمک می‌کند تا از راه جمع امتیازات، کم‌نقص‌ترین گونه‌ها را انتخاب و از پرنقص‌ترین آن‌ها صرف‌نظر کنیم. همچنین با توجه به تعداد زیاد عامل‌های موثر در انتخاب یک گونه، در مقایسه کیفی در نظر گرفتن همه آن‌ها دشوار است و مانع دست‌یابی به اظهار نظر قطعی و نهایی می‌شود. از طرفی ارزش عامل‌های مختلف در تعیین امتیاز یک گونه نیز یکسان نمی‌باشد. بنابراین برای تعیین جدول امتیازات دو بخش مهم وجود دارد: یکی تعیین دقیق عامل‌ها و پارامترهای موثر در انتخاب یک گونه در فضای سبز شهری و دیگری تعیین ضریب اهمیت هر کدام است. برای تعیین ضرایب از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. این روش یکی از روش‌های پرکاربرد برای رتبه‌بندی و تعیین اهمیت عامل‌هایی است که با استفاده از مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها به اولویت‌بندی هر یک از معیارها پرداخته می‌شود. چنانچه گزینه‌ها زیاد باشد تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی کار دشواری است. برای تعیین میزان ضرایب و وزن هر یک از عامل‌ها، پرسش‌نامه‌ای تهیه و در اختیار ۸ تن از کارشناسان خبره قرار داده شد. سپس از داده‌های به‌دست آمده میانگین گرفته شد و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice مقدار ضرایب به‌دست آمد. برای تبدیل داده‌های کیفی به کمی، با توجه به جدول ۱، براساس میزان اهمیت عامل، به برتری (اهمیت) زیاد عامل یک به عامل دو، عدد ۳، به برتری کم عامل یک به عامل دو، عدد ۲، به برتری یکسان عامل‌ها، عدد ۱، به برتری زیاد عامل دو به عامل یک، عدد ۳ و به برتری کم عامل دو به عامل یک، عدد ۲ داده شد. از این روش در چین برای انتخاب گونه‌های گیاهی شهری (Li *et al*., 2011) و در شمال اروپا برای انتخاب گیاهان استفاده شده است (Roloff *et al*., 2009). جدول ۱ نمونه‌ای از پرسش‌نامه برای تعیین وزن عامل‌ها است. به‌عنوان نمونه، روش مقایسه سه عامل؛ تحمل به کم‌آبی و خشکی (الف) تحمل به گرما (ب) تحمل به آلودگی هوا (ج)، نشان داده شده است. وزن نسبی با استفاده از پرسشنامه مقایسه جفتی محاسبه شده است. روش محاسبه ماتریس در جدول ۲ نشان داده شده است.

تعیین امتیاز نهایی هر گیاه بر اساس عامل‌ها

به گونه‌ها در هر یک از عامل‌های ارزیابی، امتیاز ۰ تا ۳ داده شد. برای حالت‌های بینابینی امتیاز ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ داده شد. به‌عنوان نمونه امتیاز گیاه انجیر (*Ficus carica*) در هر یک از عامل‌های ارزیابی، در جدول ۲ آمده است. امتیاز نهایی گونه با استفاده از معادله زیر تعیین شد.

$$PFG= F W*PS \qquad (1)$$

در این معادله: PFG[16]، امتیاز (نمره) نهایی گیاه؛ FW[17]، وزن عامل و PS[18]، امتیاز گیاه از عامل مربوطه است.

تعیین عامل‌های متاثر از تغییر اقلیم

این عامل‌ها به کمک پیش‌بینی تغییر اقلیم آینده و بررسی منابع معتبر مشخص شدند.

پیش‌بینی اقلیم آینده با استفاده مدل ریز مقیاس کننده آماری

بر اساس گزارش چهارمIPCC [19]داده‌های بلندمدت مدل‌سازی شده اقلیم آینده شامل ۱۸ مدل اقلیمی گردش عمومی جو [20] هستند که به‌صورت رایگان در مرکز توزیع داده‌های IPCC قرار گرفته است. مدل‌های گردش عمومی جو نشان‌دهنده افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و اثرهای زیان‌بار آن بر اقلیم در سطح کلان و محلی است. این مدل‌ها به‌دلیل

جدول ۱- یک نمونه پرسش‌نامه: عامل‌های موثر و مقایسه زوجی
Table 1. A sample questionnaire: effective factors and pairwise comparisons

امتیاز وزن‌دهی به عامل‌ها Factor weighting score						
دومین عامل 2nd Factor	برتری کم ۲ به ۱ 2nd is preferred a little over 1st	برتری زیاد ۲ به ۱ 2nd is preferred strongly over 1st	برتری یکسان equal	برتری کم ۱ به ۲ 1st is preferred a little over 2nd	برتری زیاد ۱ به ۲ 1st is preferred strongly over 2nd	اولین عامل 1st Factor
تحمل به گرما (ب) Heat tolerance	2	3	1	2	3	تحمل به کم‌آبی و خشکی (الف) Drought tolerance
تحمل به آلودگی هوا (ج) Air pollution tolerance	2	3	1	2	3	تحمل به گرما (ب) Heat tolerance
تحمل به کم‌آبی و خشکی (الف) Drought tolerance	2	3	1	2	3	تحمل به آلودگی هوا (ج) Air pollution tolerance

جدول ۲- ماتریس مقایسه زوجی که مقادیر برتری (اهمیت) را نشان می‌دهد - نمونه محاسبه عامل‌های اولویت
Table 2. Pairwise comparison matrix that holds the preference values - example of calculating the priority factors

میانگین Average	جمع Total	ج C	ب B	الف A	معیار Criteria
1.43	4.3	1.3	2	1	الف A
1.4	4.2	2	1	1.2	ب B
1.73	5.2	1	1.2	3	ج C

تفکیک مکانی بالای خود برای مطالعات محلی مناسب نیستند (Mohammadi *et al.*, 2007).

خروجی مدل اقلیمی گردش عمومی جو باید ریزمقیاس شوند، روش‌های ریزمقیاس شامل دو روش آماری و دینامیکی می‌باشد که مدل‌های دینامیکی دقت ارزیابی اقلیمی بالایی دارند ولی جزء مدل‌های با هزینه بالا می‌باشند، به‌همین دلیل بیشتر از مدل‌های ریز مقیاس آماری استفاده می‌شود (Babaeiyan and Najafinik, 2006). این مدل‌ها به مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی نیز معروفند. این مدل‌ها قادرند با توجه به علم آمار، دوره‌های زمانی داده‌های هواشناسی[۲۱] را مانند بارش، درجه حرارت و تابش خورشید به‌صورت مصنوعی تولید کنند (Wilby *et al.*, 2004). این مدل‌ها برای پیش‌بینی اقلیم در بازه زمانی سال یا کمتر نیستند ولی قادرند بازه‌های زمانی ده سال و بیشتر را پیش‌بینی کنند (Babaeiyan and Najafinik, 2006).

نرم‌افزار LARSE-WG[۲۲] یکی از مشهورترین نرم‌افزارها است که قادر است بارش روزانه، تابش و دمای کمینه و بیشینه را تحت شرایط اقلیم حال و آینده تولید کند که نسخه اولیه آن در کشور مجارستان ارائه شد (Babaeiyan and Najafinik, 2006). کارایی بهتر این مدل توسط Semenove *et al*. (1998) در ۱۸ ایستگاه در اروپا، آمریکا و آسیا به اثبات رسید. توانایی این مدل در شبیه‌سازی دوره‌های آماری در ایستگاه‌های خراسان نیز به اثبات رسید (Babaeiyan and Najafinik, 2006). همچنین می‌توان به کارایی بالای این مدل در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در ۱۵ ایستگاه ایران اشاره کرد (Sadatashofte and Masahbavani, 2010). در این پژوهش از داده‌های ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک دانشگاه تهران

جدول۳- عامل‌های ارزیابی، وزن آن‌ها و امتیاز گیاه انجیر در هر یک از عامل‌ها
Table 3. The evaluation factors and the weight of *Ficus carica* for each factor

عامل Factor	وزن Weigth	امتیاز گیاه (مثال: انجیر) Plant score
تحمل به کم‌آبی و خشکی Drought tolerace	279	2.5
تحمل به خاک شور و قلیا Soil salinity and alkalinity tolerance	253	2.5
تحمل به سرما Freezing tolerance	38	1.5
تحمل به گرما Heat tolerance	253	3
سازگاری با بافت خاک Compatiblity to soil texture	40	3
تحمل به آلودگی هوا Air pollution tolerance	231	2
تحمل به وزش باد Wind tolerance	75	1.5
تحمل به رطوبت بالای خاک High soil moisture tolerance	82	3
تحمل به سنگلاخی بودن خاک Rocky soil tolerance	27	2
تحمل به سایه Shade tolerance	24	2
منظر بهاره Spring appearance	82	2
منظر تابستانه Summer appearance	45	3
منظر پاییزه Autumn appearance	36	2
منظر زمستانه Winter appearance	16	2
معطر بودن Fragrance	10	0
تحمل آفات غالب Common pest tolerance	41	2
تحمل بیماری غالب Common disease tolerance	41	2
نیاز نداشتن به هرس No prunning	12	2
شکننده نبودن شاخه‌ها Sturdy shoots	12	3
تمییز بودن در فضای سبز Cleaness	3	1
سرعت رشد Growth rate	15	3
طول عمر Longivity	1	2
آلرژی‌زا و سمی نبودن No allergic, non poisonous	98	2
ارزش صنعتی Industial value	39	1
سایه اندازی Shade making capacity	48	3
قابلیت جلب پرندگان Attraction to birdlife	35	2.5
تهاجمی نبودن ریشه Non aggressive rooting system	21	2.5
قابلیت کنترل فرسایش Capability of erosion control	6	1

تهران با مشخصات طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۵ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۴۲۳ متر استفاده شد. در این تحقیق از داده‌های دوره زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۳ به‌عنوان دوره پایه استفاده شد. داده‌های مورد استفاده شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش است. در این پژوهش برای پیش‌بینی اقلیم آینده از نسخه نرم افزار LARSE-WG 5.1 استفاده شد. در این نرم افزار از مدل اقلیمی HadCM3 که دارای سه سناریو انتشار به نام A1B، B1 و A2 است، در دو دوره زمانی (۲۰۱۱ - ۲۰۳۰) و (۲۰۴۶ - ۲۰۶۵) استفاده شد. این سناریوها بنابر انتشار گازهای گلخانه‌ای استاندارد تعریف شده‌اند (IPCC, 2007). سناریو A2 افزایش حداکثری جمعیت را در اواسط قرن حاضر و تغییرات عمده و سریع در ساختارهای اقتصاد جهانی را مورد توجه قرار می‌دهد (Wettehall *et al*., 2009). سناریو B1 جهان را با توسعه اقتصادی اندک و تغییر اقتصادی آهسته به همراه نرخ رشد بالای جمعیت نشان می‌دهد (Prudhome *et al*., 2003) و سناریو A1B جهان را با فناوری کارآمد، نرخ رشد سریع اقتصادی و افزایش حداکثری جمعیت در اواسط قرن حاضر نمایش می‌دهد (Olesen *et al*., 2011). از جمله عامل‌های ارزیابی مدل‌های اقلیمی می‌توان به جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)[۲۳] اشاره کرد که اختلاف نسبی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهدات را نشان می‌دهد (معادله ۲). عامل بعدی جذر میانگین انحرافات (RMD)[۲۴] است که ارزیابی خطای سیستمیک مدل را انجام می‌دهد (معادله ۳) و عامل آخر هم کارایی مدل (EF[۲۵]) است (معادله ۴) که در ارزیابی کارایی مدل در ارتباط با میانگین داده‌های مشاهده شده کاربرد دارد که مقادیر آن‌ها در جدول ۴ آمده است.

$$RMSE=\frac{100}{\bar{o}}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(pi-oi)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$RMD=\frac{100}{\bar{o}}\sum_{i=1}^{n}\frac{(pi-oi)}{n} \quad (۳)$$

$$EF=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(pi-oi)^2}{\sum_{i-1}^{n}(\bar{o}-oi)^2} \quad (۴)$$

که در این فرمول‌ها Pi و Oi به‌ترتیب داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده و $\bar{o}$ میانگین داده‌های مشاهده شده و n تعداد داده‌ها است.

اگر مقدار عامل RMSE به صفر نزدیک باشد شبیه‌سازی بهتر صورت گرفته است (Jamieson, 1991). اگر مقادیر عامل RMD نزدیک به صفر باشد، مدل بدون خطا عمل کرده است و همچنین اگر مقادیر EF منفی باشد، نشان‌دهنده واریانس بیشتر داده‌های شبیه‌سازی شده نسبت به داده‌های مشاهده شده است و اگر مثبت باشد واریانس کمتر را نشان می‌دهد (Babaeiyan and Najafinik, 2006).

نتایج و بحث

ارزیابی مدل

مقادیر عامل RMSD برای دمای کمینه و دمای بیشینه به‌ترتیب ۱/۵۷ درصد و ۱/۳۱ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده شبیه‌سازی بسیار خوب مدل است، ولی این عامل برای بارش، عدد ۱۹/۰۸ درصد را نشان داد که نشان دهنده شبیه‌سازی ضعیف مدل می‌باشد. البته باید توجه داشت که این مدل پارامتر بارش را نسبت به دمای کمینه و بیشینه ضعیفتر پیش‌بینی کرده است که در تحقیق‌های گذشته نیز این موضوع قابل اثبات است (Khaliliaghdam *et al*., 2012).

مقادیر به‌دست آمده برای عامل RMD برای دمای کمینه و بیشینه به ترتیب منفی ۰/۵۴ درصد و منفی ۰/۵ درصد بود که نشان‌دهنده اندک خطایی در مدل است، اما این عامل برای بارش ۴/۸۷- درصد را نشان داد که وجود خطا را در شبیه‌سازی بارش نشان می‌دهد.

مقادیر به‌دست آمده برای عامل EF برای دمای کمینه و بیشینه به‌ترتیب ۰/۹۹درصد و ۰/۹۹ درصد بود که نشان‌دهنده واریانس کم است. این عامل برای بارش عدد ۰/۹۷ درصد را نشان داد که واریانس بیشتری را نشان می‌دهد.

تغییرات دمای کمینه

در تحقیقی صورت گرفته، نشان‌داده شد که دمای کمینه در تهران که همان دمای شب‌ها می‌باشد، طی دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ تغییرات محسوس و افزایش چشم‌گیری داشته است، بنابراین شب‌های تهران گرمتر شده‌اند (Alijani, 2009).

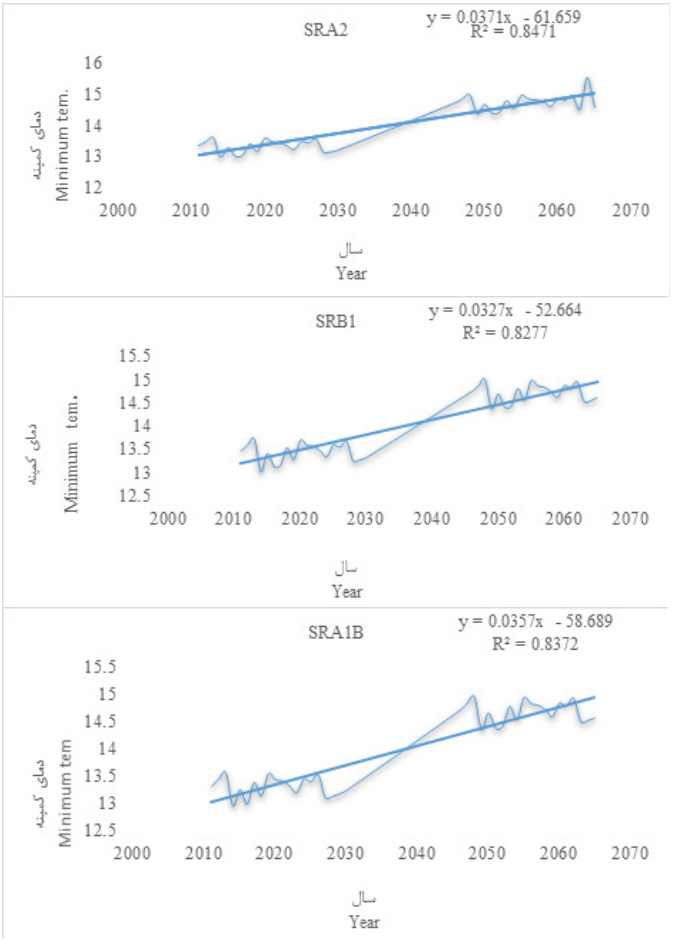
جدول ۴- عامل‌های محاسبه شده برای ارزیابی مدل‌های اقلیمی
Table 4. Computed indices for evaluating the climate models

عامل Factor	دمای کمینه Minimum tempreture	دمای بیشینه Maximum tempreture	بارش Precipitation
(%) RMSD	1.57	1.31	19.08
(%) RMD	0.54	0.50	0.87
(%) EF	0.99	0.99	0.97

روند تغییرات دمای کمینه بنابر سناریوهای مختلف طی دو بازه زمانی در شکل یک آمده است. شکل ۱ تغییرات دمای کمینه در دو بازه زمانی گفته شده تحت سه سناریو انتشار را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ۱ نیز مشخص است دمای کمینه در هر سه سناریو انتشار افزایش یافته است. میانگین دمای کمینه در دوره پایه برابر با ۱۲/۹۰ درجه سانتیگراد بود که تحت سناریو A2 در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۶۵ به‌طور میانگین به ۱۴ درجه سانتی‌گراد رسید. این در حالی است که دمای میانگین کمینه در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۶۵ تحت سناریوهای B1 و A1B به‌ترتیب به ۱۳/۸۴ و ۱۳/۹۹ درجه سانتی‌گراد رسید. از جمله ویژگی‌های اقلیمی که می‌تواند در انتخاب و مدیریت گیاهان کاشته شده در فضای سبز به ما کمک کند، آگاهی یافتن از تعداد روزهای یخبندان و حداقل دمای مشاهده شده می‌باشد که در جدول ۵ نشان داده شده‌اند.

از نتایج جدول ۴ می‌توان دریافت که در سال‌های آینده نسبت



شکل ۱- روند تغییرات دمای کمینه بنابر سناریوهای مختلف
Fig. 1- The trend of minimum temperature changes in accordance with different scenarios

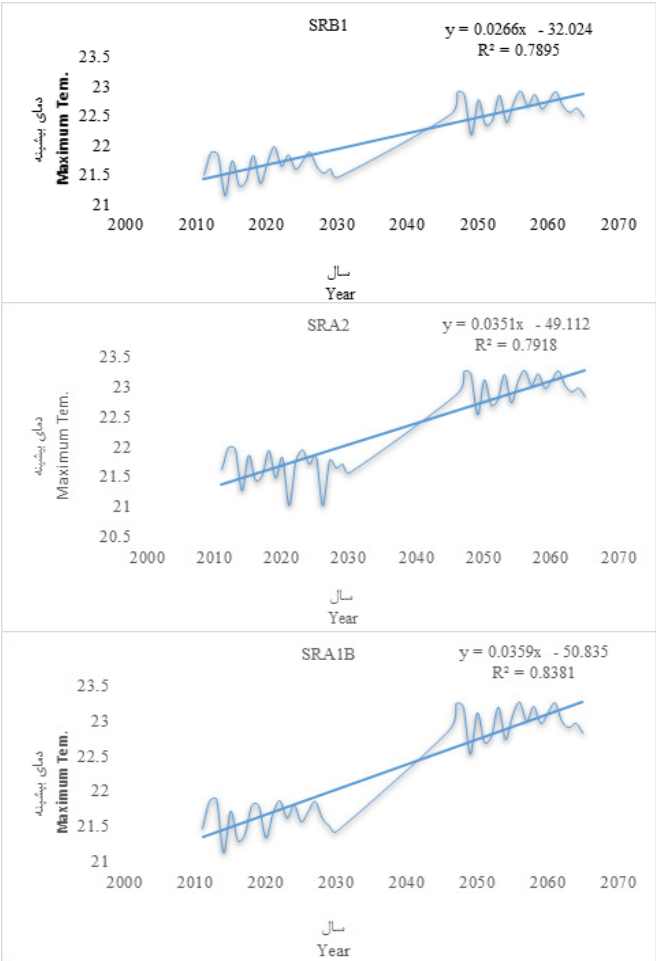
جدول ۵- تعداد روزهای یخبندان و حداقل دمای مشاهده شده تحت سناریوهای مختلف و دوره پایه
Table 5. The number of glacial days and the minimum temperature under different scenarios and base period

حداقل دمای مشاهده شده (درجه سانتی‌گراد) Observed minimum temp.	تعداد روز یخبندان Freezing days no.	سناریوهای انتشار Emission scenarios
-8.3	20	A2
-8.6	23	B1
-8	23	A1B
-10	33	دوره پایه Base period

به دوره پایه تعداد روزهای یخبندان کاهش می‌یابد، اما نباید به حداقل دماهایی که ممکن است رخ دهد بی‌توجه بود. گیاهان چوبی مقاوم در اواخر تابستان و پاییز دستخوش تغییراتی می‌شوند که آن‌ها را برای درجه حرارت‌های سردتر زمستان آماده می‌سازد، ولی بسیاری از گیاهان به‌دلیل تغییراتی که در اثر اصلاح، انتخاب و یا تفاوت شرایط جدید آب و هوایی با شرایط آب و هوایی محل منشأ آن‌ها متحمل شده‌اند، به علائم محیطی بالا از نظر فیزیولوژیکی واکنش نشان داده و از این‌رو در بعضی از مناطق به‌طور مطلوب مقاومتی نشان نمی‌دهند. از نتایج بالا می‌توان به این نتیجه رسید که دمای کمینه یکی از عامل‌هایی است که تحت تاثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرد.

دمای بیشینه:

روند تغییرات دمای بیشینه تحت سناریوهای انتشار در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲-روند تغییرات دمای بیشینه تحت سناریوهای مختلف
Fig. 2- The trend of maximal temperature changes in accordance with different scenarios

جدول۶- تعداد روزهای داغ و بیشترین دما تحت سناریوهای مختلف و دوره پایه
Table 6. The number of hot days and the minimum temperature under different scenarios and base period

سناریوها Scenarios	تعداد روزهای داغ Hot days no.	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Maximum temp.
A2	118	44
B1	117	43
A1B	118	44
دوره پایه Base period	107	41

از شکل ۲ می‌توان به این نتیجه رسید که همانند دمای کمینه، دمای بیشینه نیز در هر سه سناریو انتشار افزایش یافته است، به‌طوری که میانگین دمای بیشینه در دوره پایه از ۲۱/۳۲ به ۲۲/۳ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو A1B در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۶۵ افزایش یافت. همچنین تحت سناریوهای A2 و B1 به‌ترتیب شاهد دماهای ۲۲/۳۷ و ۲۲/۱ به‌طور میانگین هستیم. از دیگر عامل‌هایی که برای فهم چگونگی تغییر دما وجود دارد، تعداد روزهای داغ یا دماهای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد است (Semenove *et al*., 1998). تعداد روزهای داغ و بیشترین دمایی که رخ می‌دهد در دوره پایه و دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۶۵ در جدول ۶ آمده است.

بنابر اعداد جدول ۵ بیشترین دما تا ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و به تعداد روزهای داغ نیز ۱۱ روز افزوده شده است، که این افزایش دما بسیار چشمگیر است که سبب تنش گرمایی در گیاهان می‌شود.

بارش

میانگین سالیانه بارش در دوره پایه ۳۱۷/۰۸ میلی‌متر بود که این مقدار تحت سناریوهای A2، B1 و A1B به‌ترتیب برابر ۳۱۴/۲، ۳۱۷ و ۳۱۴ میلی‌متر پیش‌بینی شد که میزان تغییر اندک است. در تحقیقی صورت گرفته، نشان داده شد که بارندگی در بازه زمانی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ تغییر محسوسی نداشته ولی در مقابل تبخیر زیاد در اثر گرما خشکی را افزایش داده است (Alijani, 2009). به‌همین دلیل عامل بارش نیز جزء عامل‌هایی قرار دارد که تغییر اقلیم روی آن اثرگذار است. با توجه به بررسی منابع معتبر که انجام گرفت، دو عامل تحمل به آلودگی هوا و تحمل به آفات غالب نیز تحت تاثیر تغییر اقلیم قرار دارند.

تعیین گونه‌های درختی برتر

پس از ضرب امتیاز هر گونه در وزن همه عامل‌های ارزیابی، امتیاز نهایی درختان مشخص شد و در ۴ گروه طبقه‌بندی شدند. گروه اول گیاهان مناسب، گروه دوم گیاهان به‌نسبت مناسب، گروه سوم گیاهان به‌نسبت نامناسب و گروه چهارم گیاهان نامناسب قرار دارند. سپس دوباره فقط امتیاز هر گونه در وزن عامل‌های تحمل به کم‌آبی و بارش، تحمل به گرما، تحمل به سرما، تحمل به آلودگی هوا و تحمل به آفات غالب ضرب شد و گیاهان گروه مناسب و به‌نسبت مناسب که تعیین شده بودند، اولویت‌بندی شدند. نام درختان مناسب برای کاشت به‌ترتیب اولویت با در نظر گرفتن تغییر اقلیم عبارتند از: خرنوب (*Ceratonia silique*)، لیلکی بی‌خار و خاردار (*Gleditschia* spp.)، درخت عناب (*Ziziphus jujube*)، درخت گز (*Tamarix parviflora*)، بارانک (*Sophora japoni-ca*)، پسته چینی (*Pistacia chinensis*)، اقاقیا چتری (*Robin-ia umbraculifera*)، انجیلی (*Parrotia persica*)، ارس چینی (*Juniperus chinensis*)، بلوط قرمز (*Guercus coccinea*)، بلوط خاکستری (*Quercus douglasi*)، ارس سوسماری (*Juniperus pachyphloea*)، داغداغان (*Seltis* sp.)، اقاقیای معمولی (*Robinia pseudoacacia*)، توت مجنون (*Morus al-ba 'Pendola*)، بلوط همیشه سبز (*Guercus agrifolia*)، شاه بلوط (*Aesculus glabra*)، درخت عود (*Liboceedrus decur-rens*)، درخت آزاد (*Zelkova serrata*)، سرو نقره‌ای (*Cupres-sus arezonica*)، ممرز (*Carpinus betulus*)، بارانک برگ شانه‌ای (*Sorbus aucuparia*)، پاولینا (*Paulownia tomentosa*)، ازگیل ژاپنی (*Eryobotrya japonica*)، سنجد (*Elaegnus angosti-folia*)، درخت کافور (*Cinnamommum camphora*)، توت

آمریکایی (*Maclura pomifera*).

وجود تعداد زیادی از گونه‌های پیشنهادی در بین درختان مناسب نشان می‌دهد که هنوز گونه‌های زیادی وجود دارد که از آن‌ها در فضای سبز شهر تهران استفاده نشده است که تعداد زیادی از آن‌ها مانند داغداغان، درخت گز، ارس چینی، پسته چینی، انجیلی، درخت عناب، درخت آزاد، درخت کافور، لیلکی و ممرز یا بومی ایران هستند یا از گذشته‌های دور در مناطق مختلف کاشته شده و نتیجه قابل قبولی داشته‌اند. از بین درختان مناسب گونه‌هایی همچون: داغداغان، سنجد، لیلکی و بلوط گیاهانی مناسب برای کشت در تهران معرفی شدند (Bahmanpoor and Salajegha, 2009). همچنین گونه بلوط از مقاوم‌ترین گونه‌های معرفی شده در برابر کم‌آبی است. دو گونه ارس چینی و انجیلی نیز به‌عنوان گونه‌های مناسب برای فضای سبز اصفهان معرفی شدند (Shaban *et al*., 2009). گونه‌های غالبی مانند اقاقیای معمولی، اقاقیای چتری، سرو نقره‌ای نیز دارای ویژگی‌های مثبت هستند که کشت آن‌ها توصیه می‌شود.

درختان به‌نسبت مناسب برای کاشت به‌ترتیب اولویت با در نظر گرفتن تغییر اقلیم عبارتند از: انجیر (*Ficus carica*)، توت (*Morus alba*)، عرعر (*Ailanthus altissima*)، کاج سیاه (*Pinus nigra*)، زبان گنجشک (*Fraxinus velutina*)، نارون اوجا (*Ulmus carpinofolia*)، نارون مجنون (*Ulmus glabra*)، گیلاس همیشه سبز (*Prunus caroliana*)، کاج تهران (*Pinus eldarica*)، ابریشم قرمز (*Albizia julibrissin*)، توت ابریشمی (*Morus* sp.)، درخت عنبر سائل (*Liquidambar styraci-flua*)، نارون چتری (*Ulmus campestris*)، درخت نمدار (*Tilia americana*)، کاج کاشفی (*Pinus longifolia*)، درخت جینگو (*Ginkgo biloba*)، سیب گل (*Malus* sp.)، پکان (*Carya illi-noiensis*)، جوالدوز (*Catalpa bignonioides*)، ارغوان درختی (*Cercis chinensis*)، درخت لاله (*Cercis chinensis*)، زالزالک پرپر (*Crataegus oxyacantha*)، سیدالاشجار (*Firmiana simplex*)، افرا سیاه (*Acer negondo*)، سپیدار (*Populus alba*)، اقاقیا پیوندی گل صورتی (*Robinia viscose*)، درخت تون (*Toona sinensis*).

از بین درختان به‌نسبت مناسب انجیر، زالزالک پرپر، عرعر، توت، توت ابریشمی و افرای سیاه یا بومی ایران هستند و یا از دیرباز مورد توجه بوده‌اند. گونه سپیدار که در اولویت پایینی در گونه‌های به‌نسبت مناسب برخورداراست، گونه‌ای با حساسیت به‌نسبت بالایی به کم‌آبی به‌حساب آمده است (Shaban *et al*., 2009). درخت عرعر نیز از جمله درختانی است که در منطقه بومی شده و به راحتی زادآوری می‌کند. پایه‌های نر آن در بهار و موقع گل‌دهی و گرده‌افشانی بوی نامطبوعی تولید می‌کنند که کاشت پایه‌های نر آن توصیه نمی‌شود. درخت توت که در اولین اولویت قرار گرفته است، گیاه خوبی است که پایه ماده آن به‌دلیل کثیف کردن محیط کمتر توصیه می‌شود. البته نکته‌ای باید مورد توجه قرار گیرد و آن این است که گیاه توت میزبان آفتی به نام مگس سفید است که چند سالی است که در تهران و در تابستان به وفور دیده می‌شود که سبب مزاحمت فیزیکی عابران در سطح شهر می‌شود. با اینکه دلیل اصلی طغیان این آفت از بین رفتن دشمنان طبیعی است ولی باید از کاشت بی‌رویه آن جلوگیری شود تا هم تنوع زیستی افزایش یابد و هم مشکل مگس سفید از بین برود. دو گونه زبان گنجشک و انجیر که در بین گونه‌های مناسب قرار دارند نیز به‌عنوان گونه‌های مقاوم به خشکی معرفی شده‌اند (Abdollahi, 2003).

درختان به‌نسبت نامناسب برای کاشت به‌ترتیب اولویت با در نظرگرفتن تغییر اقلیم عبارتند از: افرا شبه چناری (*Acer pla-tanoides*)، بید مجنون (*Salix babylonica*)، صنوبر (*Popu-lus deltoids*)، سرو ناز (*Cupressus cereiformis*)، سرو شیراز (*Cupressus fastigiata*)، سرو زربین (*Cupressus horizen-talis*)، سرو لاوسون (*Chamaecyparis lawsoniana*)، سدر لبنان (*Cedrus libanii*)، چنار (*Platanus orientalis*)، تبریزی (*Populus nigra* 'Pyramidalis')، گردو (*Juglans regia*)، ماگنولیا تابستانه (*Magnolia grandiflora*)، نوئل آبی (*Picea pungens*)، نراد (*Abies concolor*)، نوئل سبز (*Picea abies exelsa*)، بید معمولی (*Salix alba*).

گیاهان این گروه برای کشت توصیه نمی‌شوند، زیرا دارای ویژگی‌های منفی زیادی هستند که در تحقیق‌های گذشته نیز به آن‌ها اشاره شده است. به‌عنوان نمونه درختان

بید و چنار از گیاهان حساس به کم‌آبی به‌شمار می‌روند (Shaban *et al*., 2009). درخت چنار افزون بر حساسیت به کم‌آبی، دارای خاصیت آلرژی‌زایی زیادی است، ولی به‌دلیل اینکه از گذشته‌های دور کاشت می‌شده و به نماد برخی خیابان‌ها و اماکن تبدیل شده است، باید به ارزش فرهنگی آن توجه کرد.

درختان نامناسب برای کاشت نیز عبارتند از: توپا (*Thuja occidentalis*)، شاه بلوط هندی (*Aesculus hippocastanum*)، افرا ابلق (*Acer negondo 'Auratum'*). درختان این گروه کمترین امتیاز را گرفته‌اند و نباید کاشته شوند. به‌عنوان نمونه درخت افرا ابلق مقاومت چندانی به کم‌آبی و خشکی، گرما و شوری خاک ندارد، سرعت رشد کمی دارد و به آفات غالب متحمل نیست و در کل گیاهی مناسب برای کشت نمی‌باشد.

تعیین گونه‌های درختچه‌ای برتر

درختچه‌های مناسب برای کاشت به‌ترتیب اولویت با درنظر گرفتن تغییر اقلیم عبارتند از: ارغوان (*Cercis chinensis*)، زرشک زینتی (*Berberis thunbergii*)، سنجد زینتی (*Eleagnus pungens*)، انگور فرنگی (*Ribes* sp.)، گز (*Tamarix tetrandr*)، توری (*Lagerstroemia indica*)، زرشک همیشه سبز (*Berberis drawinii*)، زرشک زینتی قرمز پا کوتاه (*Berberis nana*)، طاووسی (*Spartium junceum*)، گل‌نار (*Punica granatum var:pleniflorum*)، سماق (*Rhus glabra*)، سیاناتوس (*Ceanthus impressus*)،پیروکانتا (*Pyracantha coccinea*).

از بین درختچه‌های مناسب گیاهان جدیدی معرفی شدند که شامل زرشک زینتی پاکوتاه، سماق، انگور فرنگی، گل‌نار و سیاناتوس می‌باشند که دو گیاه سماق و گل‌نار یا بومی ایران هستند یا بومی شده‌اند. همچنین دو گونه سماق و زرشک به‌عنوان گونه‌هایی مقاوم به خشکی معرفی شده‌اند (Abdollahi, 2003). گیاه ارغوان نیز که اولویت اول را در بین درختچه‌های مناسب کسب کرده است به‌عنوان مقاوم‌ترین گونه‌ها به کم‌آبی شناخته شده است. پیروکانتا هم به‌عنوان گیاهی مقاوم به خشکی و کم‌آبی برای فضای سبز اصفهان معرفی شده است (Shaban *et al*., 2009).

درختچه‌های به‌نسبت مناسب برای کاشت به‌ترتیب اولویت با درنظر گرفتن تغییر اقلیم عبارتند از: پر (*Cotinus coggygria*)، خرزهره (*Nerium oleander*)، گل جارو (*Cytisus scoparinus*)، یوکا (*Yucca filamentosa*)، ماهونیا (*Mahonia aquifolum*)، مورد (*Myrtus communis*)، میخک هندی (*Pittossporum* sp.)، خاس (*Ilex* sp.)، پنجه برگ (*Potentilla fruticosa*)، شوی زیا (*Choisya ternata*)، اسکالونیا (*Escllonia* sp.)، سفالوتاکسوس سر طلایی (*Cephalotaxus harringtonia*)، یاس خوشه‌ای (*Syringavulgaris*)، یاس‌زرد(*Forsythiaintermedi*)،کامسپاریس توپی (*Camaecyparis lawsonica'*forsteckesis)، هبه (*Hebe brachysiphon*)، شیرخشت (*Cotoneaster horizantalis*).

از بین درختچه‌های به‌نسبت مناسب گیاهانی مانند گل جارو، اسکالونیا، خاص، سفالو تاکسوس سر طلایی، شوی زیا، هبه، پوتن تیلا و کامسپاریس توپی گونه‌هایی به‌نسبت جدید هستند. گیاه مورد گونه‌ای بومی شده ایران هست که از ایام قدیم کشت می‌شده و دارای خواص دارویی نیز است.

درختچه‌های به‌نسبت نامناسب برای کاشت به‌ترتیب اولویت عبارتند از: دم موشی (*Budleia davidii*)، سدروس لبنان پاکوتاه (*Cedrus libani 'Nana'*)، برگ بو (*Ligustrum vulgaris*)، بوداغ (*Viburnum opulus*)، به ژاپنی (*Chaenomeles speciose*)، وگلیا (*Weigela florida*)، سه رنگ (*Photinia serrulata*)، چرم لیفه (*Laurocerasus officinalis*)، کالونا (*Calluna vulgaris*)، گل یخ (*Chimonanthus praecox*)، ختمی درختی (*Hibiscus syriacus*)، رز (*Rosa* sp.)، یاس اشرفی (*Keria japonica*)، سنجد تلخ (*Hippophae* sp.)، اسپیره (*Spiraea thunbergii*).

از بین گونه‌های به‌نسبت نامناسب دو گیاه چرم لیفه و ختمی درختی بومی شده‌ی ایران هستند و گونه کالونا یک گونه جدید است. تعداد زیاد گونه‌های غالب در بین گیاهان به‌نسبت نامناسب بیانگر این است که تعداد زیادی از گونه‌هایی که در حال حاضر کشت می‌شوند گونه‌های مناسب نیستند و در کشت آن‌ها باید تجدید نظر شود.

درختچه‌های نامناسب برای کاشت به‌ترتیب اولویت عبارتند از: شرابی (*Calycanthus floridus*)، سدروس پاکوتاه (*Cedrus libani 'Sargentii*)، شمشاد توپی (*Buxus microphyl-*

la)، آقطی (*Sambucus* sp.)، نرگس درختی (*Phyladeiphus carnaries*)، مروارید (*Symphoricarpus albus*)، ذغال اخته (*Cornus alba*)، شمشاد (*Buxus sempervirens*)، فندق (*Corylus maxima*)، دوتسیا (*Deutzia x magnifica*)، کامسپاریس کله قندی (*C.I.'Mass*)، برگ بو (*Ligustrum vulgaris*)، شمشاد رسمی (*Eunymus japonica*)، آکوبا (*Aucuba japonica*)، ذغال اخته تاتاری (*Cornus alba 'Elegantissima'*).

تعداد زیاد گونه‌های غالب در بین گونه‌های نامناسب نشان می‌دهد که این گونه‌ها برای شرایط شهری مانند تهران مناسب نیستند. و در پایان توصیه می‌شود گونه‌های جدید معرفی شده، ابتدا به‌صورت آزمایشی (در قالب ارزیابی در یک محیط کوچک) کشت شوند تا برای محیط‌زیست منطقه خطری نداشته باشند و به تنوع کاشت گونه‌ها توجه شود.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج نشان داد که بسیاری از گیاهان غالب در فضای سبز تهران گونه‌های مناسبی نیستند و گیاهان مناسبی نیز وجود دارند که توجه کمتری به آن نشان داده‌اند. باید قبل از معرفی گیاهان جدید و وارد کردن آن‌ها به محیط شهر، برای چند سال در مقیاس کوچک آزمایش شوند تا مهاجم نبودن آن‌ها تأیید شود. یافته‌های این تحقیق به همراه سایر خصوصیات درخت برای دستیابی به بهترین نتایج، قابل استفاده است. نتایج این تحقیق برای شهرهای مشابه اقلیم تهران قابل استفاده است. برای تسهیل در انتخاب گیاهان در این تحقیق از تعدادی معیار برای انتخاب گیاهان استفاده شده ولی باید توجه داشت که تلفیق تجربه (مشاهده‌ها و کارشناسان باتجربه) با این یافته‌ها، در انتخاب گیاهان مناسب، اثربخشی بیشتری دارد.

منابع

Abdollahi, M., 2003. The study of southern Alborz afforests plant and its environmental effect on Tehran city. MSc. Thesis. Islamic Azad University, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).

Alijani, B., 2009. Tehran climate. In Article collection 1st Tehran environmental Challenges Congress. 21st-22nd, Tehran, Iran. p. 100. (In Persian).

Babaeiyan, A. and Najafinik, Z., 2006. The introduce and evaluation of model LARSE-WG for modeling Khorasan province meteorology parameterse at 1961-2003. Journal of Nivar. 62, 49-69. (In Persian).

Bahmanpoor, H. and Salajegha, B., 2009. Plant

سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند از مرکز مطالعات شهرداری تهران که در انجام این تحقیق مساعدت مالی نمودند، سپاسگزاری نمایند.

پی‌نوشت‌ها

[1]Zone Tolerance
[2]Urban Tolerance
[3]Aethetics
[4]Maintenance
[5]Growth Characteristics
[6]Specific Features
[7]Analytic Hierarchy Process
[8]Abscisic acid (ABA)
[9]Analytic Hierarchy Process (AHP)
[10]Zone Tolerance
[11]Urban Tolerance
[12]Aesthetics
[13]Maintenance
[14]Growth Characteristics
[15]Specific Features
[16]Plant Final Grade
[17]Factor Weight
[18]Plant Score
[19]Intergovernmental panel of climate change
[20]General Circulation Models (GCM_S)
[21]Weather Generator (WG)
[22]Long Ashton Reaserch Station Wether Generator (LARS-WG)
[23]Root Mean Squared Error
[24]Root Mean Deviation
[25]Model Efficiency

species compatible with Tehran city. Journal of Mayoralties. 95, 94-99. (In Persian).

Company R. 2001. Tehran greenbelt research report. Teharns Parks and Greenspace, Tehran.

Corkill, E., 2009. Legendary, dirty samurai makeover. Journal of Erisim Tarihi. 15, 153-160.

Culter, D. and Richardson, I., 1989. Tree root and buildings. Longman Group Publication.

Day, K., 2004. Vegetation management for Seattle parks viewpoint. Department of Parks and Recreation Seattle publication. Available at: https://www.seattle.gov/Documents/Departments/ParksAndRecreation/PoliciesPlanning/Vegetation%20Management%20Plans/Viewpoints_VMP.pdf

Gill, D., Magin G. and Bertram, E., 2013. A guide to the factors that influence species vulnerability and a summary of adaptation options. International Journal of Fauna and Flora. 20(2), 1-15.

IPCC, 2007. Climate change 2007, the physical science basis. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University, UK.

Jamieson, P., Porter, J. and Wilson, D., 1991. A test of the computer simulation model Arcwheat1 on wheat crops grown in New Zealand. Journal of Field Crops Research. 27(4), 337-350.

Kasang, D. and Kasper, F., 2007. Change of regional extreme. Ph.D. Thesis. Hamburg University, Germany.

Khaliliaghdam, N., Mosaedi, A., Soltani, A. and Kamkar, B., 2012. The evaluation of model LARSE-WG abilities at prediction of Sanandaj atmosphere. Journal of Soil and Water Conservation. 4, 85-102. (In Persian with English abstract).

Khosravi, M., Esmaielnajad, M. and Nazaripoor, H., 2006. Climate change and its effect on Middle East source water. In Proceeding 4th International Islam World Geographers Congress, 5th-7th April, Zahedan, Iran. p. 2072. (In Persian with English abstract).

Larry, A. and Libbey, D., 1996. Selection and culture of land scape plant in Utah. Utah State University Extension.

Li, Y., Wang, X. and Hung, C., 2011. Key street tree species selection in urban areas. African Journal of Agricultural Research. 6(15), 3539-3550.

Mohammadi, S., Mehdinejad, D. and Amiraslani, Sh., 2007. Study of climate change on catchment, hydrology and meteorology parameters. In Proceeding 1st Iran Source Water Various Aspect Congress. 1st-4th June, Kermanshah, Iran. P. 172 (In Persian).

Olesen, J., Tmka, M. and Kersebaum, K., 2011. Impact and adaptation European crop production systems to climate change. European Journal of Agronomy. 34(2), 96-112.

Prudhome, C., Wilby, R., Crooks, S., Kay, A. and Reynard, N., 2010. Scenario neutral approach to climate change impact studies application to flood risk. Journal of Hydrology. 390(3), 198-209.

Roloff, A., Korn, S. and Gillnerr, S., 2009. The climate species matrix to select tree species for urban habitats considering climate change. Journal of Urban Forestry and Urban Greening. 8(4), 295-308.

Sadatashofte, P. and Masahbavani, A., 2010. Studying the effect of climate change on runoff the case study of Gharangoo catchment, east Azerbaijan. In Proceedings 1st Iran Source Water Practical Surveys Congress, Hydrology and Various Aspect of Rain, 5th-7th, Kermanshah, Iran. P. 141. (In Persian).

Saebo, A., Benedkz, T. and Randrup, T., 2003. Selecting of tree for urban forestry in the Nordic countries. Journal of Urban Forestry and Urban Greening. 2(2), 101-114.

Saunders, M., 1999. Earth future climate. Journal of Physical and Engineering Sciences. 357(1763), 3459-3480.

Semenove, M., Brooks, R., Barooow, E. and Ricgardson, C., 1998. Comparison of the LARSE-WG stochastic weather generators for diverse climates. Journal of Climate Research. 10(2), 95-107.

Shaban, M., Khajedine, S. and Karimzade, H., 2006. Selection of species dry resistant as solution for encountering with water shortcoming crises in Isfahan. In Proceedings 1st Optimal Exploitation from Zayanderood and Karoon Source Water Regional Congress, 16th-18th September, Shahrekord, Iran. P. 5 (In Persian).

Wettehall, F., Bardossy, A., Chen, D. and Xu, C., 2009. Statistical downscaling of daily precipitation over Swede GCM output. Journal of Theoretical and Applied Climatology. 96(1), 95-103.

Wilby, R., Charles, S., Zorita, B. and Mearnes, L., 2004. Guideline for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. Journal of Theoretical and Applied Climatology. 50(1), 100-111.

Yordanov, N. and Karakirova, Y., 2007. Sugar UV spectrophotometric system for high energy dosimetry. Journal of Radiation Measurement. 42(1), 121-122.

Environmental Sciences Vol.18/ No.1/ Spring 2020

219-236

Plant selection for semi-arid urban landscapes with an emphasis on climate change (case study: Tehran)

Malek Rabiei Sadeghabadi, Omid Noori* and Reza Deihimfard

Department of Agroecology, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2019.10.15 Accepted:2020.01.22

Rabiei Sadeghabadi, M., Nouri, O. and Deihimfard, R., 2020. Plant selection for semi-arid urban landscapes with an emphasis on climate change (case study: Tehran). Environmental Sciences. 18(1): 219-236.

Introduction: Urban landscape, especially urban forest and city trees, usually has vital and various effects on the mental and physical health of humans, environmental embellishment, and mitigating the destructive effect of climatic changes like wind storms and flood control, as well as reduction and control of hazardous contaminants. Choosing appropriate plants for urban landscapes is vital to avoid potential financial and environmental losses that may occur if all selection parameters are not taken into account. The determination of plant species assessment indices in urban green space in Tehran does not have any special standard. Therefore, the aim of this study was to make a sustainable green space for Tehran metropolis due to its arid and semi-arid climate, which poses more challenges to choose suitable plant species for green spaces.

Material and methods: In our study, the methodology structured a hierarchy consisting of a goal and sub-ordinate attributes of the problem. Other important components of this methodology were a pairwise comparison between various parameters used to quantify value judgments, and the matrix multiplication used to convert level specific criteria into a larger decision priority. After grouping plants, selection parameters have been defined for each plant group. Plant species were comparatively graded for each parameter by a group of eight specialists. Analytical hierarchy process (AHP) technique and hierarchical cluster analysis have been utilized to find the most adaptable plant species for the area according to the main selection parameters of zone tolerance, urban conditions, esthetics, maintenance, growth characteristics, and specific features. A table was designed in questionnaire format and distributed between 8 respective experts for coefficient value determination and then the coefficient value was obtained by Expert choice software. The dominant plant list of Tehran and the world was prepared, and plants that exist at Tehran botanical garden and had acceptable results were chosen. Scoring the plant species was performed from 0 to 3 with the values of 0.5, 1.5, and 2.5 being used for the intermediate state. After multiply each factor

*Corresponding Author. *Email Address:* o_nouri@sbu.ac.ir

weight and each species score, the final plant weight was obtained and the proper and relative proper plants were detected. Because of the importance of climate change, the indices influenced by climate change were determined by future weather prediction using Larse-wg-5.1 software under the Hadcim3 model that have three scenarios between 2011-2030 and 2045-2065. Weight of these indices was multiplied at species scores and then the proper and relative proper plants were prioritized and introduced for planting.

Results and discussion: Pointed tree species like *Ceratonia silique*, *Gleditsia* spp., *Ziziphus jujube, Tamarix parviflora, Sophora japonica, Pistacia chinensis*, *Guercus coccinea, Quercus douglasi, Seltis* sp., and *Guercus agrifolia* were determined as suitable choices for green space planting. Pointed shrub species like *Cercis chinensis, Berberis thunbergii, Eleagnus pungens, Ribes* sp., *Spartium junceum, Punica granatum* var. pleniflora, *Rhus glabra,* and *Pyracantha coccinea* were suitable as well.

Conclusion: In general, the results showed that many dominant green space plants were not proper species and there are more suitable plants that have received less attention. Before introducing new plants to the urban environment, they should be experimented on in a small scale for several years to confirm that they will not change the ecology of the whole region through invasion or posing a threat to any local plant species.

Keywords: Analytical hierarchy process (AHP), Climate change, Semi-arid cities, Urban landscape.