فصلنامه علوم محیطی، دوره دوازدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳

۱۳-۲۴

مروری بر کارایی گیاهان در تعدیل اثرات و سازگاری با تغییرات اقلیمی در محیط‌های شهری با تأکید بر صفات عملکردی گیاهان

الهام رجب‌بیگی[۱*]، رامین عرفانیان سلیم[۲] و سید محمد جعفری[۳]

[۱]دانش‌آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
[۲]دانشجوی دکتری آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
[۳]دانش‌آموخته دکتری اکوسیستماتیک گیاهی، پردیس علوم پایه، دانشگاه تهران، تهران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۹

چکیده

اقلیم کرهٔ زمین می‌تواند به‌طور طبیعی یا تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی تغییر کند. انسان مدرن با استفاده از سوخت‌های فسیلی و تولید گازهای گلخانه‌ای به این تغییرات اقلیمی دامن زده و سرعت گرمایش جهانی را تسریع کرده است. برای مواجهه با تغییرات اقلیمی دو راهبرد اصلی سازگار شدن و تعدیل شدت را می‌توان اختیار کرد. در بین موجودات زنده، گیاهان تأثیرات انکارناپذیری بر اقلیم داشته و به‌ویژه در محیط‌های شهری دارای اثرات متعادل‌کنندهٔ متعددی می‌باشند. از جمله کارکردهای گیاهان یا فضای سبز شهری عبارتند از خنک‌سازی، تصفیهٔ هوا، افزایش بازده مصرف انرژی، جذب امواج فرابنفش، کاهش جریانات آبی مخرب سطحی، جلوگیری از فرسایش خاک، کاهش دادن سرعت باد، میزان گرد و غبار و نیز آلودگی‌های شیمیایی، کارآمدی گیاهان در ارتباط با هرکدام از این کاکردها تابعی از صفات عملکردی ریختی و فیزیولوژیک آن‌ها می‌باشد. این مقاله مرور نسبتاً جامعی در مورد ارتباط بین کارکردهای مذکور، صفات عملکردی گیاهان و دورنمای مدیریت اثرات نوسانات اقلیمی در مناطق شهری ارائه می‌دهد. صفات عملکردی نظیر مورفولوژی سطح برگ، اندازه و ارتفاع گیاه، تراکم و الگوی پراکنشی گیاهان، شکل تاج‌پوش و شاخه‌بندی گیاه و نیز ویژگی‌های شکل رویشی و فیزیولوژیک گیاه از اهمیت بالایی در موفقیت گیاهان در رابطه با تعدیل‌کنندگی یا کاهش تغییرات اقلیمی برخوردار می‌باشند. درنظرگرفتن دورنمای محیط‌های شهری در سایهٔ تغییرات اقلیمی و جایگزینی گونه‌های شهری بر پایهٔ صفات عملکردی به‌عنوان یکی از اولویت‌های مدیریت مناطق شهری از جمله ابرشهر تهران پیشنهاد می‌گردد.

کلمات‌کلیدی: تغییرات اقلیمی، محیط‌های شهری، صفات عملکردی گیاهان، تعدیل شدت، سازگارشدن.

A Review on Efficiency of Plants for Mitigation and Adaptation to Climate Change in Urban Ecosystems with Focusing on Plant Functional Traits

Elham Rajabbeigi, [1*] Ramin Erfanian Salim[2] & Seyed Mohammad Jafari[3]

[1] PhD. of Plant Physiology, Faculty of Life Science, Tarbiat Modares University
[2]PhD. Student in Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
[3]PhD. of Plant Ecosystematic, Faculty of Basic Science, University of Tehran

Abstract

Climate change is usually attributed to natural phenomena or in response to anthropogenic activities. Fossil fuel combustion and emission of greenhouse gases accelerate climate change and global warming. There are two main strategies to face climate fluctuations: adaptation and mitigation. Among living organisms, plants exert numerous mitigating effects especially in urban areas. Important climate-related functions of plants; and hence urban green space, include cooling effect, pollution reduction, increasing energy use efficiency, absorption of UV and high energy radiations, reducing surface runoffs, soil maintenance, reducing wind speed, chemical air pollution and fine particles. The efficiency of plant taxa is a function of their morphological and physiological functional traits. This research comprehensively reviews relationships between plant mitigating functions in urban environments, functional traits and climate related management perspective of cities. Plant functional traits such as leaf surface morphology, plant size and height, density and distributional pattern, canopy shape and branching pattern along with life form and physiological properties are of utmost importance in mitigation and adaptability of plants to climate perturbations. We strongly recommend considering future perspective under climate change scenario and substitution of urban plant species based on functional traits as one of the management priorities for urban areas especially Tehran metropolis environment.

Keywords: Climate change, Urban environments, Plant functional traits, Mitigation, Adaptation.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: rajabbeigi@modares.ac.ir

۱- مقدمه

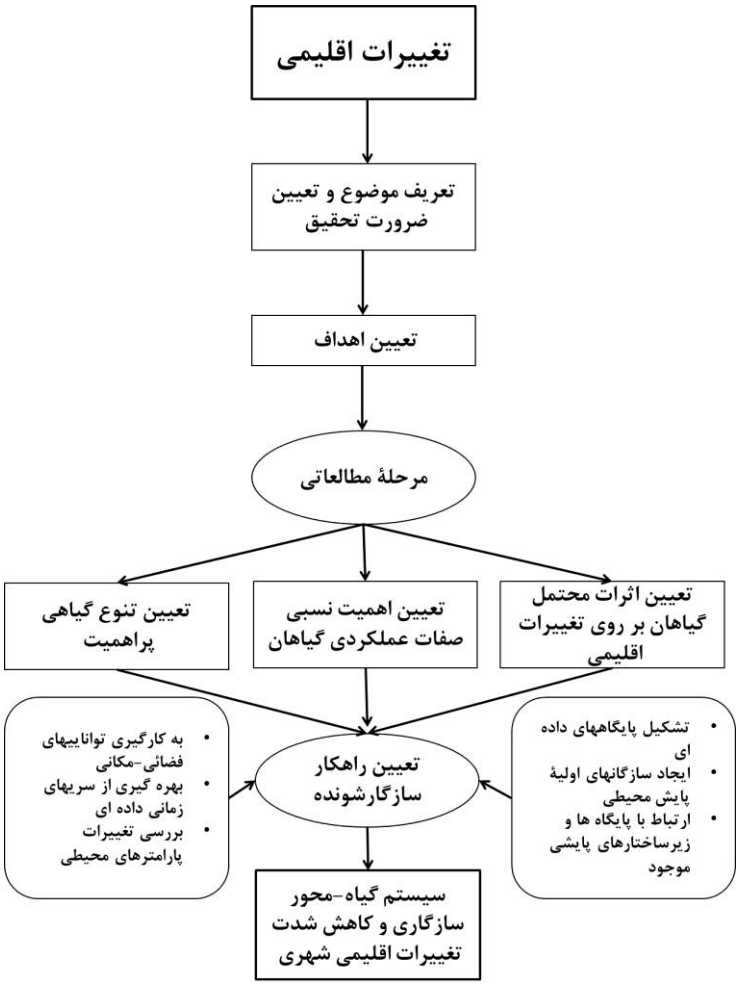
اقلیم کرهٔ زمین حاصل برهم‌کنش‌های پیچیدهٔ موجود بین اجزای مؤثر نظیر اقیانوس‌ها، اتمسفر، زمین‌کره، قطب‌ها و زیست‌کره است. فراتر از این اجزا، اقلیم کرهٔ زمین تابعی از تابش خورشیدی است که بر اجزای مذکور تأثیر به‌سزایی دارد. به‌طور کلی، هرگونه تغییر و دگرگونی در نوع و ماهیت اجزاء و یا در نوع برهم‌کنش بین آن‌ها می‌تواند باعث تغییر در اقلیم زمین گردد[۱]. در سال‌های اخیر، مفهومی با عنوان تغییرات اقلیمی مورد توجه قشر دانشگاهی و سازمان‌های مدیریتی دنیا قرار گرفته است. بر اساس تعریف ارائه شده توسط پنل بین‌حکومتی تغییر اقلیم (ICCP)، منظور از تغییرات اقلیمی، تغییر و دگرگونی پایدار و بلندمدت در الگوهای آب‌وهوایی کره زمین (ناشی از تغییر در اجزای اقلیمی و روابط بین آن‌ها) است که می‌تواند به صورت طبیعی رخ دهد یا از فعالیت‌های انسانی ناشی گردد[۲]. ویژگی بلندمدت بودن اشاره به بازه‌های زمانی دهه یا قرن دارد.

شواهد روزافزونی وقوع تغییرات بارز در سیستم اقلیمی زمین را تأیید می‌کنند. افزایش دمایی در اکوسیستم‌های مختلف خشکی و آبی[۳]، تغییرات الگوهای بارشی در مناطق مختلف جهان[۲]، بالاآمدن سطح آب دریا ها[۴] از مهم‌ترین شاخص‌های تغییرات اقلیمی هستند که در منابع از آن‌ها یاد می‌گردد. آژانس محافظت محیط‌زیست ایالات متحدهٔ آمریکا ۲۶شاخص برای پایش تغییرات اقلیم ارائه نمود که مربوط به پنج مقولهٔ کلی گازهای گلخانه‌ای، آب‌وهوا و اقلیم، اقیانوس‌ها، یخ و برف و در نهایت اکوسیستم و جامعه می‌باشند[۵]. براساس نمودار کیلینگ که بر پایهٔ آمار مرکز معتبر مائونالوئا در هاوایی رسم می‌گردد، میزان کربن دی‌اکسید اتمسفر زمین (بر اساس واحد بخش در میلیون) از ۳۱۵ در سال ۱۹۵۸ به ۳۸۴ در سال ۲۰۱۰ افزایش یافته است[۶]. به‌طور مشابه، دمای سطحی کرهٔ زمین در بازهٔ زمانی بین سال‌های ۱۸۵۰ تا ۲۰۰۰ حدود ۰/۷۴ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یافته است که شتاب افزایش دما در ۵۰ سال اخیر تقریباً دوبرابر بازهٔ زمانی قبل از ۱۹۵۰ است[۷]. همچنین مشاهده گردیده که بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵، بارش در بخش‌های شرقی آمریکای شمالی و جنوبی، شمال اروپا، شمال و مرکز آسیا افزایش یافته درحالی‌که در بخش‌هایی از جنوب آسیا، منطقهٔ مدیترانه، جنوب و شمال آفریقا کاهش یافته است[۲]. رخداد تغییرات اقلیمی در مناطق شهری بارزتر بوده و به‌طور کلی شامل ایجاد جزایر حرارتی، تغییر در وقایع هیدرولوژیک، تغییر در تعادل انرژی شهری و نیز آثار زیست‌محیطی متعدد می‌باشد[۸].

اقلیم یکی از عوامل تعیین‌کنندهٔ امکان و کیفیت زیستن موجودات زنده به‌ویژه انسان است. برعکس سایر تهدیدهای انسانی نظیر آلودگی، افزایش گازهای گلخانه‌ای یا تغییر کاربری اراضی، تغییر اقلیم اثراتی جهانی، برگشت ناپذیر و تدریجی روی تنوع زیستی و حیات زنده اعمال می‌کند[۹]. شاید مهم‌ترین شاخص‌های تغییر اقلیمی در اکوسیستم‌ها رخداد تغییر در فنولوژی، پراکندگی و فراوانی موجودات زنده می‌باشد[۱۰]. در مطالعه‌ای روی ۱۷۰۰ گونه، برآورد شده است که در هر دهه پراکنش موجودات زنده ۶/۱ کیلومتر به سمت قطب‌ها جابجا می‌گردد و وقایع زیستی بهاره حدود ۲ تا ۳ روز زودتر صورت می‌گیرد[۱۱]. دگرگونی در سیستم اقلیمی زمین سیستم‌های زنده را در سطوح سازماندهی فرد یا گونه، جمعیتها، جوامع و اکوسیستم متأثر می‌سازد[۱۲]. اثرات مذکور برروی گونه‌ها و به‌طورکلی تنوع زیستی در نهایت منجر به تأثیرگذاری روی عملکرد اکوسیستم‌ها در مقیاس بزرگ می‌گردد[۱۳]. باید دقت داشت که رابطهٔ بین اقلیم و حیات زنده یک رابطهٔ دوطرفه است. نقش پوشش گیاهی در تعدیل دمای زیستگاه های شهری (برای مثال منبع ۱۴ را ببینید) و اثر اقلیم بر روی ویژگی‌های متعدد پوشش گیاهی (برای مثال منبع ۱۵ را ببینید) طی مطالعات متعددی به اثبات رسیده است.

بشر امروزی دو راهکار اصلی را برای مقابله و یا کنار آمدن با پدیدهٔ تغییر اقلیم اختیار کرده‌است که عبارتند از سازگاری۱ و کاهش شدت۲. سازگاری به وفق‌دادن محیط زندگی و کاهش شدت به جلوگیری از ایجاد یا تقلیل شدت آن اطلاق می‌گردد[۲]. به‌عنوان یک راهکار جایگزین، دست بردن در وضعیت فیزیکی و موجودات زنده با هدف جلوگیری از تغییرات اقلیمی پیشنهاد شده است. یکی از راهکارهای فعال که برای مقابله با تغییرات اقلیمی توسط بشر به کار گرفته شده‌است، فنآوری زمین‌مهندسی است که با حذف کربن‌دی‌اکسید یا مدیریت تابش خورشیدی سعی در کاهش تغییر اقلیمی دارد[۱۶]. در سال‌های اخیر تغییر و مهندسی موجودات زنده به منظور تغییر در اقلیم زمین مورد توجه قرار گرفته است که اصطلاحاً زیست-زمین-مهندسی نام دارد[۱۷]. ظهور این شاخهٔ علمی ناشی از این حقیقت است که موجودات زنده می‌توانند نقش مؤثری در تشدید یا تقلیل

تغییرات اقلیمی داشته باشند[۱۸]. اثراتی نظیر خنک‌سازی، تصفیهٔ هوا، افزایش بازده مصرف انرژی، کاهش جریانات آبی مخرب سطحی، جلوگیری از فرسایش خاک، کاهش سرعت باد و نیز میزان گردوغبار از جمله اثرات شناخته‌شده برای گیاهان در محیط شهری است. می‌توان نتیجه گرفته که محیط‌های شهری که درجات شدیدتری از تغییر اقلیم را تجربه می‌کنند، محیط‌های سنجشی مناسبی برای پیاده سازی راهکارهای زیست-زمین-مهندسی می‌باشند. قبل از اجرای هر راهکاری، داشتن دانش کافی در مورد اجزاء دخیل در اقلیم شهری و برهم‌کنش‌های بین آن‌ها اولین گام اجرائی می‌باشد.



شکل ۱- نمودار کلی مراحل ایجاد سیستم گیاه-محور سازگاری و کاهش شدت تغییرات اقلیمی شهری

این مقاله، به بررسی اثرات محتمل گیاهان روی تغییرات اقلیمی یا عواقب ناشی از این تغییرات به‌ویژه در محیط‌های شهری خواهد پرداخت. در این مطالعه، سعی داریم به چند سوال کلیدی زیر پاسخ دهیم: ۱- آیا گیاهان تأثیری روی سیستم اقلیم زمین به‌ویژه در مناطق شهری دارند؟ ماهیت این تأثیرات چگونه است؟ ۲- چگونه گیاهان اثرات خود را اعمال می‌کنند؟ کدام گروه گیاهان در بروز این تأثیرات کارآمدتر هستند؟ ۳- کدام ویژگیها و صفات گیاهان در کارآمدی آن‌ها برای سازگاری، کاهش شدت یا ارائهٔ نقشی فعال در جلوگیری از تغییرات اقلیمی نقش مهم‌تری دارند؟ در حالی‌که اکثر مطالعات موجود اثرات تغییر اقلیم را روی سیستم‌های زنده مدنظر قرار داده‌اند، این مطالعه جزء اولین مطالعاتی است که به بررسی موضوع اثر گیاهان روی تغییرات اقلیمی به‌ویژه در کشور ایران می‌پردازد.

۲- مواد و روش‌ها

با توجه به اهداف مورد نظر در این تحقیق و ماهیت مروری این مقاله، یک‌سری مراحل عمدتاً مطالعاتی در نظر گرفته شد و سعی گردید که در ابتدا جستجوی وسیع مطالعاتی در منابع صورت گیرد. با توجه به تعداد کم منابع چاپی در زمینهٔ تأثیر گیاهان روی تغییرات اقلیمی، علاوه‌بر

این منابع سایر مطالب منتشرشده نظیر اطلاعات موجود در پایگاه‌های اینترنتی مراکز معتبر علمی و سازمان‌های بین المللی، پایگاه‌های داده‌ای الکترونیک موجود، راهنما و دستورالعمل‌های معتبر موجود برای استخراج محتوای موجود در این مقاله مورد استفاده قرار گیرد. بایستی توجه داشت این تحقیق گام اولیه‌ای تنها قسمتی از داده‌های مربوطبه برنامهٔ بلندمدت گروه حاضر جهت پایش اثرات تغییرات اقلیمی بر تنوع زیستی، حیات زنده و کیفیت زندگی در مناطق شهری به‌ویژه ابرشهر تهران می‌باشد. سیستم گیاه‌حور سازگاری و کاهش شدت تغییرات اقلیمی یکی از بخش‌های برنامهٔ بلندمدت مذکور می‌باشد (شکل ۱).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثرات عمدهٔ گیاهان روی تغییرات اقلیمی

به‌طور کلی، گیاهان و پوشش گیاهی در محیط‌های شهری می‌توانند فاکتورهای محیطی تعیین‌کننده نظیر دما، باد؛ تابش، آلودگی و رطوبت یا بارش را تحت تأثیر قرار دهند[۱۹]. در ارتباط با تغییرات اقلیمی، مهم‌ترین اثرات گیاهان را می‌توان در کاهش دما، افزایش رطوبت، کاهش تابش، کاهش سرعت باد و کاهش گازهای گلخانه‌ای خلاصه کرد (جدول ۱). سازوکارهای اعمال این تأثیرات در مورد هر فاکتور محیطی تفاوت می‌کند. در برخی موارد، یک سازوکار مشخص ممکن است در اعمال یک یا چند اثر محیطی گیاهان نقش ایفا نماید.

جدول ۱- مهم‌ترین اثرات گیاهان روی فاکتورهای محیطی مرتبط با تغییرات اقلیمی در نواحی شهری

فاکتورهای محیطی	اثر گیاهان	سازوکار اثرگذاری	برخی از صفات عملکردی بااهمیت
دما، تابش، گازهای گلخانه‌ای	کاهش دما و کاهش تابش	افزایش انعکاس	پوشش کرکی و تراکم آن، تعداد لایهٔ کوتیکول، پوشش مومی خارج کوتیکولی، محتوای کربن، آب و نیتروژن گیاه، رنگدانه‌های فعال، نسبت میانبرگ نردبانی به اسفنجی، نسبت سطح دیوارهٔ سلولی به فضای بین-سلولی در برگ
		افزایش سایه‌اندازی	شکل رویشی، نوع، دوام و اندازهٔ برگ، شاخص سطح برگی، نوع شاخه‌بندی، شکل تاج‌پوش و وسعت نسبی تاج‌پوش
		تبخیر تعرقی	اندازهٔ برگ، ویژگی‌های کوتیکول و روپوست، آناتومی میانبرگ اسفنجی و نردبانی، میزان فضاهای بین‌سلولی در میانبرگ، سطحی از دیواره‌های سلولی که در معرض هوا هستند، هدایت روزنه‌ای، تراکم و تعداد روزنه‌ها، جهت‌گیری برگ، تعداد برگ‌ها، شکل برگ، اندازه و وسعت تاج‌پوش، سطح چوب‌زنده (شیره‌چوب)، تراکم پوشش گیاهی و اشکال رویشی
	کاهش اثر گلخانه‌ای	ترسیب کربن	آناتومی میانبرگ اسفنجی و نردبانی، میزان فضاهای بین‌سلولی در میانبرگ، سطحی از دیواره‌های سلولی که در معرض هوا هستند، هدایت روزنه‌ای، تعداد و تراکم روزنه، جرم برگ در واحد سطح، محتوای نیتروژن برگ، محتوای فسفر برگ، نرخ تنفس تاریکی، طول عمر برگ، نرخ فتوسنتزی، مرحلهٔ تکوینی گیاه
		حذف متان	وجود آنزیمهای مناسب برای شکست متان، تراکم روزنه، وسعت و عمق ریشه، بسامد ریزش برگ‌ها و بخش‌های هوایی گیاه
		بخار آب	(رجوع گردد به بخش تبخیر تعرقی)
آلودگی‌ها	جذب آلودگی‌ها		توانایی ترسیب و یا تغییر شکل ترکیب آلوده‌کننده، وجود آنزیم‌های مناسب، بسامد ریزش برگ‌ها
باد و رطوبت	تأثیر بر سرعت باد	تعدیل دمایی	نوع برگ، اندازه گیاه، شکل رویشی، گسترش و شکل تاج‌پوش
	تأثیر بر میزان گرد و خاک	کاهش سرعت باد، افزایش رطوبت	نوع برگ، شاخص سطح برگی

۳-۲- راهکار گیاهان برای کاهش دما

شواهد بسیاری اثر خنک‌کنندگی گیاهان و پوشش‌های گیاهی در محیط‌های شهری را اثبات کرده است (رجوع گردد به منبع ۲۰). به‌نظر می‌رسد که هرچه تغییرات اقلیمی افزایش می‌یابد، نقش فضای سبز به‌ویژه در ارتباط با دما برجسته‌تر می‌شود[۲۱]. نشان داده شده‌است که افزایش تعداد درختان شهری شدت دما در جزایر گرمایی را تعدیل می‌کنند[۲۲]. در مقیاس کوچک، گیاهان از سه طریق

می‌توانند دما را در محیط‌های شهری کاهش می‌دهند: (۱) جذب و انعکاس برخی امواج نورانی خورشید، (۲) سایه اندازی، (۳) تبخیر تعرقی.

جذب و انعکاس. اکثر پرتوهای مرئی (سبز و زرد کمتر) و مقداری از پرتوهای ماوراء بنفش توسط گیاهان جذب می‌شوند. برخی ترکیبات گیاهی نظیر ترکیبات فنلی (فلاوونوئیدها، هیدروکسی سینامیک اسید) پرتو ماوراء بنفش را جذب کرده و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی گیاه محسوب می‌شوند[۲۳]. مقداری از نور خورشید نیز توسط گیاهان منعکس می‌شود[۲۴]. انعکاس تابش خورشید از سطح گیاه، علاوه‌بر ساختار برگ، تابعی از چهار ویژگی شیمیایی گیاه می‌باشد که عبارتند از محتوای نیتروژن برگ، محتوای کربن برگ، محتوای آب برگ و رنگدانه‌های فعال موجود[۲۵]. میزان انعکاس در بازه‌های طیفی مختلف تابع ویژگی‌های متفاوت گیاهی است. به‌عنوان مثال، انعکاس در محدودهٔ مادون‌قرمز نزدیک بستگی به ساختار برگ گیاه، در محدودهٔ مرئی تا حد زیادی وابسته به رنگدانه‌ها بوده و در محدودهٔ مادون‌قرمز میانی تابعی از محتوای آب گیاه است[۲۶]. بازتاب نور خورشید از سطوح، با ضریب آلبدو نشان داده می‌شود. هرچه میزان ضریب آلبدو بیشتر باشد، میزان خنک‌کنندگی بیشتر خواهد بود. برای افزایش ضریب آلبدوی پوشش گیاهی می‌توان از گونه‌های گیاهی با صفات عملکردی مناسب بهره‌برد[۲۷،۲۸]. مهم‌ترین صفات عملکردی که در بالابردن ضریب آلبدو و در نتیجه میزان انعکاس پوشش گیاهی نقش دارند عمدتاً در دو گروه شیمیایی و ساختاری طبقه‌بندی می‌گردند (جدول ۱). برخلاف نور مرئی که انعکاس آن بستگی به مجموعه‌ای از صفات فوق دارد، انعکاس پرتو ماوراء بنفش بستگی به ویژگی‌های لایهٔ کوتیکول یا حداکثر خارجی‌ترین لایهٔ روپوست برگی دارد[۲۹].

پوشش‌های گیاهی مختلف دارای ضریب آلبدوی متفاوتی هستند. پوشش‌های علفی و مزارع نسبت به جنگل‌ها ضریب آلبدوی بالاتری دارند[۳۰]. جنگل‌ها ضریب آلبدوی پایینی دارند، ولی آبی که از گیاهان طی فرایند تبخیر تعرقی خارج می‌شود هاله‌ای در بالای درختان ایجاد می‌کند که ضریب آلبدوی بالایی دارد و در خنک کردن جهانی کرهٔ زمین مؤثر است[۳۱]. به‌طور کلی، ضریب آلبدو از جنگل‌های سوزنی‌برگ همیشه‌سبز به جنگل‌های برگ‌پهن به علفزار و مزارع افزایش می‌یابد[۳۰] و بنابراین به‌نظر می‌رسد درختان برگریز در خنک کردن نقش مهم‌تری دارند[۳۳]. اخیراً دانشمندان بیان کردند که برخی درختان ترکیباتی عمدتاً ترپنی از خود متصاعد می‌کنند که همانند ابری بالای درختان را گرفته و نور خورشید را منعکس می‌کند و بدین ترتیب به خنک کردن زمین نیز کمک می‌کنند[۳۴].

سایه‌اندازی. ایجاد سایه و جلوگیری از برخورد تابش خورشیدی به سطوح جذب‌کننده از مهم‌ترین سازوکارهای کاهش دما توسط گیاهان به‌ویژه گیاهان چوبی می‌باشد[۳۵،۳۶،۳۷]. درختان با سایه‌اندازی بر اماکن شهری موجب کاهش ورود گرمای خورشید از پنجره‌ها، دیوارها و سقف می‌شوند. وقتی تاج‌پوش متراکم‌تر می‌شود، میزان انعکاس یا جذب نور بیشتر و در نتیجه میزان سایه‌اندازی بیشتر می‌گردد. گیاهان با برگ‌های نازک و سطح وسیع برای سایه‌اندازی بسیار مناسبند[۳۲] ولی کاشت چندین درخت کوتاه‌قامت در کنار یکدیگر نیز گزینه مناسبی است. با این حال باید توجه داشت که در بحث سایه‌اندازی، نحوه هرس گیاهان در افزایش مساحت دربرگیرندهٔ سایه بسیار حائز اهمیت می‌باشد[۳۸].

سه فاکتور وسعت، تراکم و زمانبندی ایجاد سایه توسط درختان در استفاده از این سازوکار اهمیت اساسی دارد[۳۹]. جهت ایجاد سایه چهارمین عامل مهمی است که در رابطه به سایه‌اندازی گیاهان بایستی در نظر گرفت به‌طوری‌که ایجاد سایه در جهت‌های جنوبی و غربی بیش‌ترین تأثیر را در خنک‌شدن اکوسیستم‌های شهری و ساختمان‌ها ایفا می‌نماید[۴۰]. توانایی ایجاد سایه توسط گیاهان به صفات عملکردی مختلفی از جمله شکل رویشی، نوع و اندازهٔ برگ، شاخص سطح برگی، نوع شاخه‌بندی، شکل تاج‌پوش و وسعت نسبی تاج‌پوش بستگی دارد. طول عمر برگ به‌عنوان صفت مهمی در بررسی سازوکار سایه اندازی توسط گیاهان درنظر گرفته می‌شود. در این رابطه درختان برگ‌ریز بسیار مفید هستند، چرا که در زمستان به نور خورشید اجازه می‌دهند که وارد ساختمان شود، در حالی‌که در تابستان برگ‌ها مانع ورود نور خورشید و ایجاد سایه می‌شوند[۴۱].

تبخیرتعرقی. اصطلاح تبخیر تعرقی یعنی تبخیر آب از سطح گیاه (تعرق) و از خاک اطراف آن[۴۲]. بدین ترتیب در روزهای گرم تابستان، یک درخت بعنوان یک کولر تبخیر کنندهٔ طبیعی عمل می‌کند و با مصرف آب در روز دمای محیط را کاهش می‌دهد (خنک‌کنندگی تبخیری)[۳۵]. ارتباط بسیار نزدیکی میان اندازه و شکل برگ و محیط

زندگی وجود دارد. در گیاهان با برگ پهن میزان تعرق از سطح برگ بیشتر است، بنابراین در شهرهای با رطوبت متوسط گیاهان پهن‌برگ و در شهرهای با رطوبت بالا، گیاهانی با برگ کوچک ارجحیت دارند[۳۲]. از سوی دیگر گیاهانی با برگ‌های کوچک یا با لوب‌های فراوان نسبت به گیاهانی با برگ‌های پهن برای اقلیم‌های گرم مناسب‌ترند. چنین گیاهانی قطرات آب را در سطح خود جمع کرده و مانع از دست دادن آب می‌شوند و بنابراین تنفس تعرقی در آن‌ها کاهش می‌یابد[۳۲].

به‌طور کلی هر صفت عملکردی گیاهی که در فرآیند تعرق نقش داشته باشد، می‌تواند نرخ تبخیر تعرقی را نیز تحت تأثیر قرار دهد. صفاتی نظیر اندازهٔ برگ، ویژگی‌های کوتیکول و روپوست، آناتومی میانبرگ اسفنجی و نردبانی، میزان فضاهای بین-سلولی در میان‌برگ، سطحی از دیواره های سلولی که در معرض هوا هستند، هدایت روزنه‌ای، تراکم و تعداد روزنه‌ها، جهت‌گیری برگ، تعداد برگ‌ها، شکل برگ، اندازه و وسعت تاج‌پوش گیاه از اهمیت بالایی در ارتباط با تبخیر تعرقی برخور دارند[۴۲،۴۱]. در گیاهان چوبی، سطح چوب زنده (شیره چوب) به‌عنوان عاملی تأثیرگذار بر میزات تعرق شناخته می‌شود[۴۳]. در مقیاس بزرگ‌تر، تراکم پوشش گیاهی و اشکال رویشی غالب از عوامل مهم و تعیین‌کننده در میزان تبخیر تعرقی پوشش گیاهی هستند[۴۶]. گونه‌های گیاهی و حتی ارقام زراعی نیز می‌توانند نرخهای تعرقی متفاوتی نشان دهند که بیان‌گر اهمیت تاکسونومی گیاه در بررسی‌های اکوفیزیولوژیک می‌باشد[۴۷].

۳-۳- راهکار گیاهان برای کاهش گازهای گلخانه‌ای

گیاهان و پوشش‌های گیاهی از طریق کاهش انتشار و نیز جذب گازهای گلخانه‌ای در راستای برطرف‌ازی اثر گلخانه‌ای و عواقب آن عمل می‌کنند[۱]. مهم‌ترین سازوکارهای به‌کارگرفته شده توسط گیاهان برای جذب گازهای گلخانه‌ای عبارتند از ترسیب کربن و جذب مستقیم برخی از گازهای گلخانه‌ای که کارآیی آن‌ها بر اساس نوع گیاه، نوع پوشش گیاهی، کیفیت اتمسفر و وضعیت سایر گازها می‌تواند متفاوت باشد.

ترسیب کربن. افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه کربن‌دی‌اکسید، متان و دی‌نیتروژن‌مونوکسید باعث گرم شدن هوا می‌گردد. ترسیب کربن عبارت است از جذب و ذخیرهٔ بلندمدت کربن موجود در اتمسفر (اکثراً کربن‌دی‌اکسید) [۴۸]. ترسیب کربن می‌تواند به صورت طبیعی یا مصنوعی رخ دهد. روشهای گرفتن و ذخیرهٔ کربن (CCS) و نیز حذف کربن‌دی‌اکسید (CDR) از مهم‌ترین شیوه‌های مصنوعی ترسیب کربن هستند[۴۹]. ترسیب کربن طی فرایندهای زیستی را اصطلاحاً ترسیب زیستی گویند[۵۰]. یکی از مهم‌ترین شیوه‌های ترسیب زیستی، فرآیند آشنای فتوسنتز است که طی آن گیاهان با استفاده از دی‌اکسید کربن، آب و نور خورشید نشاسته سنتز می‌کنند و از میزان کربن‌دی‌اکسید هوا می‌کاهند. بشر امروزی می کوشد با جلوگیری از جنگل‌زدائی، جنگلکاری مجدد و مهندسی ژنتیک میزان و کارآمدی فتوسنتز را افزایش دهد.

اهمیت قابلیت ترسیب کربن توسط گیاهان و پوشش‌های گیاهی شهری در سال‌های اخیر پررنگ‌تر شده است[۵۱]. به‌طور کلی، تحقیقات انجام شده در مورد میزان ترسیب کربن توسط درختان در مناطق شهری اندک و عمدتاً محدود به ایالات متحده است[۵۲]. نتایج بدست آمده از تحقیقات [۵۳] نشان داد که درختان مناطق شهری نقش مهمی در ترتیب کربن‌دی‌اکسید و بنابراین به تأخیر انداختن گرمایش جهانی دارند [۴۱]. نشان داد که هر درخت کاشته شده در لوس‌آنجلس سالانه حدود ۱۱kg-۴/۵کربن را از هوا جذب و ذخیره می‌کند.

عوامل مختلفی در میزان فتوسنتز و ترسیب کربن گیاهان مؤثرند که مهم‌ترین آن‌ها مربوط به ویژگی‌های ساختاری، شیمیایی و فیزیولوژیک برگ می‌باشند[۵۴]. نسبت سطح به حجم برگ یا سطح ویژهٔ برگی (SLA) یکی از مهم‌ترین صفات عملکردی دخیل در میزان فتوسنتز است[۵۵]. در این ارتباط، جرم برگی به‌عنوان شاخص اصلی حجم برگ از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است[۵۶]. با ارائهٔ نظریهٔ طیف اقتصاد برگ [۵۴] و تأیید برقرار بودن آن در اکوسیستم‌های مختلف، نشان داده‌شد که ارتباطی نزدیک بین ظرفیت فتوسنتزی گیاهان و صفات عملکردی برگی به‌ویژه جرم برگ در واحد سطح، محتوای نیتروژن برگ، محتوای فسفر برگ، نرخ تنفس تاریکی و طول عمر برگ وجود دارد (همچنین رجوع گردد به ۵۷). واضح است که بسیاری از صفات در سطح سلولی نظیر هدایت انتشاری برگ و ضخامت دیوارهٔ سلولی می‌توانند نرخ فتوسنتز و در نتیجه ترسیب کربن در گیاهان را تحت تأثیر قرار دهند[۵۹،۵۸].

گیاهان علفی بیش‌ترین میزان ظرفیت فتوسنتزی را دارند و گونه‌های بوته‌ای همیشه‌سبز، درختان پهن‌برگ و درختان سوزنی‌برگ در مراتب بعدی قرار دارند[۳۲]. نتایج

مربوط به مطالعات مختلف روی جوامع گیاهی و محیط‌های پیرامونی‌شان نشان می‌دهد با کاهش طول عمر برگ، ظرفیت فتوسنتزی و نرخ تنفس افزایش می‌یابد[۶۰]. گیاهان علفی غیرچمنی بیش‌ترین ظرفیت فتوسنتزی را نشان می‌دهند و در بین گیاهان چوبی، درختان برگریز ظرفیت فتوسنتزی بیشتری از گیاهان چوبی همیشه‌سبز دارند [۶۱]. در بین گیاهان علفی نیز، گیاهان با تیپ فتوسنتزی C۴، بیش‌ترین میزان فتوسنتز و گیاهان CAM کمترین میزان فتوسنتز و کارآیی ترسیب کربن را دارند[۳۲،۵۰].

جذب مستقیم گازها. گاز متان همانند کربن‌دی‌اکسید از طریق روزنه‌ها جذب می‌شود و با وجود آن‌که غلظت آن در اتمسفر کمتر از نصف غلظت کربن‌دی‌اکسید است ولی اثرش در گرمایش جهانی ۲۱ برابر اثر کربن‌دی‌اکسید می‌باشد[۳۲]. بسیاری از گیاهان پس از جذب متان آنرا به متانول، فرمالدئید و در نهایت فومارات تبدیل کرده و بدین ترتیب متان را از هوا حذف می‌کنند[۶۲]. در مطالعهٔ جدیدی در جنگل‌های سوزنی‌برگ مشاهده گردید که تمامی گیاهان درختی مورد بررسی گاز متان را با نرخ قابل توجهی از اتمسفر زمین جذب می‌کنند[۶۳].

بزرگ‌ترین مخزن زیستی متان باکتری‌های هوازی در خاک‌های غیراشباع هستند که متان را به‌عنوان منبع انرژی مصرف می‌کنند[۲]. این باکتری‌ها عمدتاً ساکن خاک‌های جنگل‌های معتدله، علفزارها و بیابانها هستند، ولی فراوانی آن‌ها در اکوسیستم‌های دیگر نیز قابل‌توجه است. مطالعات اندکی در مورد جذب متان در اکوسیستم‌های شهری وجود دارد (برای مثال منبع ۶۴ را ببینید). میزان نهشت نیتروژن و شرایط فیزیکی خاک به‌عنوان عوامل تعیین‌کننده در جذب متان درنظر گرفته می‌شوند[۶۵]. به‌نظر می‌رسد صفات عملکردی مربوط به ریشه و برگ در جذب متان توسط گیاهان مؤثر باشد. شرایط فیزیکی خاک عمیقاً تحت تأثیر سیستم ریشه‌ای گیاهان به‌ویژه توسعه، عمق نفوذ و حضور موجودات همزیست و نیز افزوده-شدن گیاخاک به آن است که عمدتاً از افتادن بخش‌های هوایی به‌ویژه برگ حاصل می‌گردد.

بخار آب. گاز گلخانه‌ای دیگری که کمتر مورد توجه قرار گرفته بخار آب است که فراوان‌ترین گاز گلخانه‌ای محسوب می‌گردد و مسئول حدود ۷۰ درصد اثر گلخانه‌ای زمین می‌باشد[۲]. حدود ۶۰درصد بخار آب موجود در اتمسفر از تعرق گیاهان حاصل می‌گردد[۶۶]. نقش بخار آب در تغییرات اقلیمی دوگانه است: از یکسو افزایش بخار آب با افزایش جذب پرتوهای گرمازای مادون قرمز باعث افزایش گرم شدن زمین می‌شود؛ و از سوی دیگر در صورتی‌که ابر تشکیل دهد، با انعکاس نور خورشید موجب خنک شدن و کاهش گرما می‌شود که به بازخورد ابری معروف است[۶۸،۶۷]. نقش مثبت یا منفی ابرها در گرمایش جهانی بستگی به نوع ابر و ویژگی‌های زمین دارد به‌طوری‌که ابرهای در ارتفاع بالا باعث گرم شدن بیشتر و ابرهای در ارتفاع پایین باعث خنک‌شدن می‌گردند[۶۹]. به‌دلیل اهمیت فرآیند تعرق در ایجاد ابر، تمامی صفات عملکردی که در بخش تبخیرتعرقی ذکر گردید، در ارتباط با این قسمت نیز از اهمیت بالایی برخوردارند (جدول ۱).

۳-۴- اثر گیاهان بر آلودگی هوا

گیاهان با تولید اکسیژن به‌عنوان ریه‌های تنفسی شهر می‌باشند. ضمن آن‌که باعث کاهش آلاینده‌های هوا و حذف PM10 (ذرات کوچک با اندازه کمتر از ۱۰ میکرون) از هوا و رسوب ذرات خشک می‌شوند. در محیط‌های شهری درختان به دو طریق بر آلودگی‌های هوا تأثیر می‌گذارند: (۱) خنک کردن هوا و در نتیجه کند شدن روند تشکیل گرد و غبار، (۲) آلاینده‌های موجود در هوا (هم گازی و هم ذرات) را خشک کرده و آن‌ها را از هوا حذف می‌کنند.

درختان به‌طور مستقیم آلاینده‌های گازی (CO، NOx، O۳ و SO۲) را از طریق روزنه‌های خود حذف می‌کنند[۷۰]. علاوه‌بر این، برخی گیاهان قادرند فلزات سنگین را از خاک یا هوا جذب کنند. گونه‌های بید (Salix espcies) و سپیدار (Populus species) از جمله درختانی هستند که پتانسیل جذب فلزات سنگین را بیش از سایر انواع گیاهان علفی دارند[۷۲،۷۱]. Mollashahi و همکاران [۷۳] در مطالعه‌ای نشان دادند که در شهر تهران درختان توت مقدار قابل توجهی از آلودگی‌های فضای شهری را جذب می‌کنند. آلودگی‌هایی که در هوا وجود دارند، غالباً از طریق روزنه‌ها جذب گیاه می‌شوند. بنابراین افزایش تعداد روزنه‌های برگی می‌تواند در جذب این آلودگی‌ها مؤثر باشد[۷۴]. با این وجود به‌نظر می‌رسد فاکتوری که تعیین می‌کند که برگ گیاهی آلودگی خاصی را جذب می‌کند یا خیر، توانایی سلول‌های گیاه برای متابولیزه کردن آن آلودگی است[۷۵]. آلودگی پس از جذب یا درون اندامکی نظیر واکوئل قرار گرفته و از سیستم فعال گیاه خارج می‌شوند و یا آن‌که به شکلهای دیگری شکسته می‌شوند که گاه این

شکل جدید سمی و گاه غیرسمی می‌باشند. در صورتی‌که شکل جدید سمی باشد گیاهان روزنه‌های خود را می‌بندند تا آلودگی وارد نشود و اگر این امر برای طولانی‌مدت ادامه یابد، گیاه از بین خواهد رفت. بنابراین به منظور حذف آلودگی‌های موجود در هوا بایستی از گیاهان مقاوم به نوع آلودگی استفاده شود. به‌نظر می‌رسد که میان درختان همیشه‌سبز و درختان برگریز، گیاهان برگریز مناسب‌ترند و کارآیی بیشتری برای جذب آلودگی‌ها دارند[۷۶].

با این حال، با توجه به نوع آلودگی هوا، علاوه‌بر درختان، می‌توان ازگیاهان علفی یا چوبی نیز برای حذف آلودگی استفاده کرد. Takahashi و Morikawa [۷۷] ۲۱۷ گونهٔ گیاهی را برای حذف آلودگی‌های موجود در هوا (NO_2) مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که در میان آن‌ها ۹ گونه توانایی بالایی در جذب NO_2 دارند که به‌ویژه از تیرهٔ مورد (Myrtaceae) می‌باشند.

۳-۵- کاهش سرعت باد

در طی دهه‌های اخیر سرعت باد در اکوسیستم‌های جهان افزایش یافته‌است[۷۸]. از طرفی دیگر، ارتباط مثبتی بین پیدایش جزایر حرارتی شهری و افزایش سرعت باد دیده شده‌است[۷۹]. علاوه‌بر پارامترهای میانگین مربوط به باد، وقوع بادهای شدید نیز پیش‌بینی شده‌است[۸۰]. گیاهان و پوشش‌های گیاهی شهری در مهار نوسانات سرعت باد به‌ویژه در اکوسیستم‌های شهری از اهمیت بالایی برخوردارند[۱۹]. حضور درختان حتی به تعداد معدود و کم‌تراکم می‌تواند تا ۵۰ درصد سرعت باد را کاهش دهد[۸۱].

کارآمدی پوشش‌های گیاهی در کاهش سرعت باد به صفات ریختی گونه‌های تشکیل‌دهنده و کل پوشش بستگی دارد. طول عمر برگ، قد گیاه در حالت بلوغ، عمق ریشه دهی، قطر تنه، نرخ رشد و شکل یا وسعت تاج‌پوش به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های عملکردی گیاهان دخیل در محافظت بادی یا کاهش سرعت باد ذکر می‌گردند[۸۲،۸۳،۸۴،۸۵]. پوشش‌های گیاهی متراکم با گیاهان دارای تاج‌پوش پهن برای کاهش سرعت باد توصیه می‌گردد[۸۳،۸۴]. داشتن تنهٔ ضخیم، تاج‌پوش وسیع با تخلخل متوسط، تراکم پوشش بالا، برگ‌های بزرگ و پهن و نیز شاخه‌بندی با زوایای افقی از مهم‌ترین مزیتهای گیاهان بادشکن می‌باشد. کاهش سرعت باد توسط گیاهان دارای منافع دیگری نظیر کاهش اتلاف انرژی [۴۱] و کاهش گردوغبار [۸۴] اکوسیستم‌های شهری می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در بین موجودات زنده، گیاهان تأثیرات انکارناپذیری بر اقلیم داشته و به‌ویژه در محیط‌های شهری دارای اثرات متعادل‌کنندهٔ متعددی می‌باشند. اثراتی نظیر خنک‌سازی، تصفیهٔ هوا، افزایش بازده مصرف انرژی، کاهش جریانات آبی مخرب سطحی، جلوگیری از فرسایش خاک، کاهش سرعت باد و نیز میزان گردوغبار از جمله اثرات شناخته شده برای گیاهان در محیط شهری است. کارآمدی گیاهان در ارتباط با هرکدام از این کاکردها تابعی از صفات عملکردی ریختی و فیزیولوژیک آن‌ها می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مساعت سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهر تهران که در فراهم کردن داده‌ها همکاری نمودند، سپاسگزاری می‌شود.

پی‌نوشت

[1] Adaptation
[2] Mitigation

منابع

[1] Morison J I L, Morecroft M D. Plant growth and climate change. India: Blackwell publishing; 2006.

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S, Qin D,Manning, M, Chen, Z, Marquis, M,Averyt, K B, Tignor, M, Miller H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[3] Dai A. Drought under global warming: a review. WIREs Climate Change; 2011; 2: 45–65.

[4] Wetzel F T, Kissling W D, Beissmann H, Penn D J. Future climate change driven sea-level rise: secondary consequences from human displacement for island biodiversity. Global Change Biology; 2012; 18: 2707-2719.

[5] Environmental Protection Agency (EPA), http://www.epa.gov/climatechange, (assessed: 2012 .(

[6] Thoning K W, Tans P P, Komhyr W D. Atmospheric carbon dioxide at mauna loa observatory 2. Analysis of the NOAA GMCC

data, 1974-1985, Journal of Geophysical Research; 1989; 94: 8549-8565.

[7] Solomon S, Qin D, Manning M, Alley R B, Berntsen T, Bindoff N L, Chen Z, Chidthaisong A, Gregory J M, Hegerl G C, Heimann M, Hewitson B, Hoskins B J, Joos F, Jouzel J, Kattsov V, Lohmann U, Matsuno T, Molina M, Nicholls N, Overpeck J, Raga G, Ramaswamy V, Ren J, Rusticucci M, Somerville R, Stocker T F, Whetton P, Wood R A, Wratt D. Technical Summary. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press; 2007.

[8] Gill S E, Handley J F, Ennos A R, Pauleit S. Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. Built Environment; 2007; 33 (1): 115-133.

[9] Kappelle M, Van Vuuren M, Baas P. Effects of climate change on biodiversity: a review and identification of key research issues. Biodiversity and Conservation; 1999; 8 (10): 1383-1397.

[10] Parmesan C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics; 2006; 37:637-669.

[11] Parmesan C, Yoh G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature; 2003; 421: 37-42.

[12] McCarty J P, Wolfenbarger L L, Wilson J A. Biological Impacts of Climate Change. eLS.; 2009.

[13] Loreau M, Naeem S, Inchausti P, Bengtsson J, Grime J, Hector A, Hooper D, Huston M A, Raffaelli D, Schmid B, Tilman D, Wardle D A. Review biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. Science; 2001; 294(5543): 804-808.

[14] Buyantuyev A, Wu J. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. Landscape Ecology; 2010; 25: 17-33.

[15] Theurillat J P, Guisan A. Potential impact of climate change on vegetation in the european alps: a review. Climatic Change; 2001; 50: 77-109.

[16] Keith D W. Geoengineering the climate: history and prospect. Annual Review of Energy and the Environment; 2000; 25(1): 245-284.

[17] Ridgwell A, Singarayer J S, Hetherington A M, Valdes P. Tackling regional climate change by leaf albedo bio-geoengineering, Current Biology; 2009; 19(2): 146-150.

[18] Mabuchi K, Yasuo S, Hideji K. Climatic Impact of Vegetation Change in the Asian Tropical Region. Part I :

[19] Case of the Northern Hemisphere Summer. Journal of Climate; 2005; 18: 410–428.

[20] Avissar R. Potential effects of vegetation on the urban thermal environment. Atmospheric Environment; 1996; 30: 437-448.

[21] Taha H. Urban climates and heat islands: albedo, evapo-transpiration, and anthropogenic heat. Energy and Buildings; 1997; 25: 99-103.

[22] Lindley S. Climate change and urban green spaces University of Manchester, speaking at conference 'A Climate of Change' Manchester; 2006.24 .

[23] Hejazi R., Abadi P. Effect of plants on ambient temperature (case study: Taleghani Park). Journal of Environmental Science and Technology; 2002; 4 (1): 45-83.

[24] Treutter D. Managing phenol contents in crop plants by phytochemical farming and breeding-visions and constraints. International Journal of Molecular Sciences; 2010; 11: 807-857.

[25] Kasperbauer M J. Far-red light reflection from green leaves and effects on phytochrome-mediated assimilate partitioning under field conditions. Plant Physiology; 1987; 85(2): 350-354.

[26] Asner G. Biophysical and Biochemical Sources of Variability in Canopy Reflectance. Remote Sensing of Environment; 1998; 64: 234–253.

[27] Slaton M R, Hunt E R, Smith W. Estimating near-infrared leaf reflectance from leaf Smith, W.H., 1984. Pollutant uptake by plants. In: Treshow, M. (Ed.), Air Pollution and Plant Life., New York: John Wiley; 2001.

[28] Feng X, Simpson A, Wilson K, Wiliams D, Simpson M. Increased cuticular carbon sequestration and lignin oxidation in response to soil warming. Nature Geoscience; 2008; 1: 836–839.

[29] Doughty C,•B Field C, McMillan A. Can crop albedo be increased through the modification of leaf trichomes, and could this cool regional climate? Climatic Change; 2011; 104: 379–387.

[30] Grant R H, Heisler G M, Gao W, Jenks M. Ultraviolet leaf reflectance of common urban trees and the prediction of reflectance from leaf surface characteristics. Agricultural and Forest Meteorology; 2003; 120: 127-139.

[31] Hollinger D Y, Ollinger S V, Richardson A D, Meyers T P, Dail D B, Martin M E, Scott N A, Arkebauer T J, Baldocchi D D, Clark K L, Curtis P S, Davis K J, Desai A R, Dragoni D, Goulden M L, Gu L, Katul G G, Pallardy S G, Paw U K T, Schmid H P, Stoy P C, Suyker A E, Verma S B. Albedo estimates for land surface models and support for a new paradigm based on foliage nitrogen concentration. Natural Resources; 2009; 16(2): 696-710.

[32] Bonan G. Forests and Climate Change: Forcings, eedbacks, and the Climate Benefits of Forests. Science; 2008; 320: 1444-1449.

[33] Bonan G. Ecological Climatology: Concepts and Applications. Cambridge University Press; 2008

[34] Betts A, Ball J. Albedo over the boreal forest (1997). Journal of Geographical Research; 1997; 102(24): 901-909 .

[35] Paasenen P, Asmi A, Petäjä T, Kajos M, Äijälä M, Junninen H, Holst T, Abbatt J P D, Arneth A, Birmili W, van der Gon H, Hamed A, Hoffer A, Laakso L, Laaksonen A, Leaitch W R, Plass-Dülmer C P, Pryor S, Räisänen P, Swietlicki E, Wiedensohler A, Worsnop D, Kerminen V, Kulmala M. Warming-induced increase in aerosol number concentration likely to moderate climate change. Nature Geoscience; 2013; 6: 438-442.

[36] Akbari H. Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. Environmental Pollution; 2002;116:119-26.

[37] Shashua-Bar L, Pearlmutter D, Erell E. The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. International Journal of Climatology; 2011; 31: 1498-1506.

[38] Simpson J. Urban forest impacts on regional cooling and heating energy: Sacramento county case story. Journal of Arboriculture; 1998; 24 (4): 201-214.

[39] Gilman F, Sadowski L. Choosing Suitable Trees for Urban and Suburban Sites: Site Evaluation and Species Selection. US: University of Florida Extension; 2007; Chapter 7.

[40] Pandit P, Laband D. Energy savings from tree shade. Ecological Economics; 2010; 69: 1324-1329 .

[41] Donovan G, Butry D. The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use. Energy and Buildings; 2009; 41: 662–668.

[42] Akbari H, Pomerantz M Taha H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. Solar Energy; 2001; 70 (3): 295-310.

[43] Thornthwaite C W. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review; 1948; 38(1): 55-94.

[44] Barton C V M, Duursma R A, Medlyn B E, Ellsworth D S, Eamus D, Tissue D, Adams M A, Conroy J, Crous K Y, Liberloo M, Löw M, Linder S, McMurtrie, R E. Effects of elevated atmospheric [CO2] on instantaneous transpiration efficiency at leaf and canopy scales in Eucalyptus saligna. Global Change Biology; 2012; 18: 585-595.

[45] Brodribb T J, Feild T S, Sack L. Viewing leaf structure and evolution from a hydraulic perspective, Functional Plant Biology; 2008; 37(6): 488-498.

[46] Ewers B E, Bond-Lamberty B, Mackay D. Size- and age-related changes in tree structure and function tree physiology; 2011; 4:481-505 Consequences of Stand Age and Species' Functional Trait Changes on Ecosystem Water Use of Forests.

[47] Buckley T N, Sack L, Gilbert M E. The Role of Bundle Sheath Extensions and Life Form in Stomatal Responses to Leaf Water Status. Plant Physiology; 2011; 156: 962-973.

[48] Song X, Barbour M M, Farquhar G F, Vann D, Helliker B. Transpiration rate relates to within- and across- species variations in effective path length in a leaf water model of oxygene isotope enrichment; 2013; 36(7): 1338-1351.

[49] Sedjo R, Sohngen B. "Carbon Sequestration in Forests and Soils". Annual Review of Resource Economics; 2012; 4: 127-144.

[50] The Royal Society. Geoengineering the climate Science, governance and uncertainty. London; 2009.

[51] Jansson C, Wullschleger S, Kalluri U., Tuskan G. Phytosequestration: Carbon Biosequestration by Plants and the Prospects of Genetic Engineering. BioScience; 2010; 60: 685-696.

[52] Nowak D, Crane D. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. Environmental Pollution; 2002; 116: 381-389.

[53] Liu C, Li X. Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. Urban Forestry and Urban Greening; 2012; 11: 121-128.

[54] Rosenfeld A H., Romm J J, Akbari H. Pomerantz M. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. Energy and Building; 1998; 28: 51-62.

[55] Wright I J, Reich P B, Westoby M, Ackerly D D, Baruch Z, Bongers F, Cavender-Bares J, Chapin T, Cornelissen J H C, Diemer M, Flexas J, Garnier E, Groom P K, Gulias J, Hikosaka K, Lamont B B, Lee T, Lee W, Lusk C, Midgley J J, Navas M, Niinemets U, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Poot P, Prior L, Pyankov V, Roumet C, Thomas S C, Tjoelker M J, Veneklaas E J, Villar R. The worldwide leaf economics spectrum. Nature; 2004; 428: 821-827.

[56] Richards R A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. Journal of Experimental and Botany; 2000; 51: 447-458.

[57] Field C, Mooney H A. The photosynthesis nitrogen relationship in wild plants. Pages 25-55 in T. Givnish, editor. On the economy of plant form and function. London, UK.: Cambridge University Press; 1986.

[58] Reich P, Ellsworth D, Walters M, Vose J, Gresham C, Vous J, Bowman W. Generality of leaf trait relationships: a test across six biomes. Ecology; 1999; 80(6): 1955-1969.

[59] Balmaseda M A, Trenberth K E, Källén E. Distinctive climate signals in reanalysis of global ocean heat content. Geophysical Research Letters; 2013; 40 (9): 1754–1759.

[60] Reich P B, Walters M B, Ellsworth D S. From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA; 1997; 94: 13730-13734.

[61] Kikuzawa K, Lechowicz M J. Ecology of Leaf Longevity. Springer, NewYork, US; 2011.

[62] Ackerly D. Functional strategies of chaparral shrubs in relation to seasonal water deficit and disturbance. Ecological Monographs; 2004; 74: 25-44.

[63] Kvesitadze G,•Khatisashvili G, Sadunishvili T, Ramsden J. Biochemical mechanisms of detoxification in higher plants basis of phytoremediation. Berlin, Heidelberg, Germany: Springer-Verlag; 2006.

[64] Sundqvist E, Crill P, Mölder M, Vestin P, Lindroth A. Atmospheric methane removal by boreal plants, Geophysical Research Letters; 2012; 39 (21): 21806- 21812.

[65] Goldman M B, Groffman P M, Pouyat R V, McDonnell M J, Pickett S T A. CH4 uptake and N availability in forest soils along an urban to rural gradient. Soil Biology and Biochemistry; 1995; 27 (3): 281–286.

[66] Goffman P M, Pouyat R V. Methane uptake in urban forests and lawns. Environmental Science and Technology; 2009; 43: 5229-5235.

[67] Jasechko S, Sharp Z D, Gibson J J, Birks S J, Yi Y, Fawcett P J. Terrestrial water fluxes dominated by transpiration. Nature; 2013; 496: 347–350.

[68] Arellano J, van Heerwaarden C, Lelieveld J. Modelled suppression of boundary-layer clouds by plants in a CO2-rich atmosphere. Nature Geoscience; 2012; 5: 701-704.

[69] Hartmann D L, Ockert-Bell M E, Michelson M L. The effect of cloud type on Earth's energy balance: global analysis. Journal of Climate; 1992; 5: 1281-1304.

[70] Peck L S, Barnes D K A, Cook A J, Fleming A H, Clarke A. Negative feedback in the cold: ice retreat produces new carbon sinks in Antarctica. Global Change Biology; 2010; 16: 2614-2623.

[71] Fowler D. Deposition of SO2 onto plant canopies. In: Winner, W.E., Mooney, H.A., Goldstein, R.A. (Eds.), Sulfur Dioxide and Vegetation., Stanford, CA, 389–402: Stanford University Press; 1985.

[72] Baslar S, Dogan Y, Yenil N, Karagoz S,Bag H. Trace element biomonitoring by leaves of Populus nigra L. from western Anatolia, Turkey. Journal of Environmental Biology; 2005; 26(4): 665-668.

[73] Sawidis T, Marnasidis A, Zachariadis G, Stratis J. A study of air pollution with heavy metals in Thessaloniki city (Greece) using trees as biological indicators. Archives of Environmental Contamination and Toxicology; 1995; 28(1): 118-124.

[74] Mollashahi M, Alimohammadian H, Hosseini S M, Riahi A, Feizi V, Satareiyan A. Mapping Air Pollution Using Magnetometery on Tree Leaves in Tehran Metropolitan, Iran. Physical

Geography Research Quarterly; 2012; 44(3): 93-108.

[75] Fahn A, Cutler D. Xerophytes. Encyclopedia of Plant Anatomy, Gebruder Borntraeger; 1992; vol.3.

[76] Omasa K, Tobe K, Hosomi M, Kobayashi M. Absorption of ozone and seven organic pollutants by Populus nigra and Camellia sasanqua. Environmental Science & Technology; 2000; 34(12): 2498-2500.

[77] Kumar S R, Arumugam T, Anandakumar C R, Balakrishnan S, Rajavel D S. Use of plant species in controlling environmental pollution- a review. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences; 2013; 2: 52-63.

[78] Takahashi M, Morikawa H. Air-pollutant-philic plants for air remediation. Journal of Environmental Protection; 2012; 3: 1346-1352.

[79] Young I R. Global trends in wind speed and wave height. Science; 2011; 332: 451-454.

[80] Balling R C, Cerveny R S. Long-term associations between wind speeds and the urban heat island of Phoenix, Arizona. Journal of Applied Meteorology; 1987; 26: 712-716.

[81] Rryor S C, Barthelmie R J. Climate change impacts on wind energy: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews.; 2010; 14: 430-437.

[82] Park M, Hagishima A, Tanimoto J, Narita K. Effect of urban vegetation on outdoor thermal environment: Field measurement at a scale model site. Building and Environment; 2012; 56: 38-46.

[83] Andreu M G, Tamang B, Rockwood D L Freidman M H. Potential Woody Species and Species Attributes for Windbreaks in Florida. US: University of Florida; 2012.

[84] Bitog J P, Lee I B, Shin M H, Hong S W, Hwang H S, Seo I H, Yoo J I, Kwon K S, Kim Y H, Han J W. Numerical simulation of an array of fences in Saemangeum reclaimed land. Atmospheric Environment; 2009; 43: 4612-4621.

[85] Hagler G S, Lin M, Khlystov A, Baldauf RW, Isakov V, Faircloth J, Jackson L E. Field investigation of roadside vegetative and structural barrier impact on near-road. Science of the Total Environment ultrafine particle concentrations under a variety of wind conditions. Science of the Total Environment; 2012; 419: 7-15.

[86] Wu Q, Chen Y, Zhang L. Study on structures and benefits of windbreak and sand-fixation forests of sand region in Yulin. Advanced Materials Research; 2012; 524-527: 2078-2082.