

مقایسه‌ی تاثیر درختان سوزنی برگ و پهن برگ در تغییرات دمای سطح زمین (مطالعه‌ی موردی پارک شهید چمران کرج و پارک چیتگر تهران)

محمدرضا رفیعی^۱

مهری اکبری^۲

محمد حسن فخارنیا^۳

محمد حسن وحیدنیا^۴

چکیده

گرچه لایه هوای مجاور سطح زمین -لایه مرزی- کسر کوچکی از کل جو زمین است، با این حال فرآیندهایی که در مقیاس کوچک در آن روی می دهد برای حیات و فعالیت انسان بسیار با اهمیت است. در بین موجودات زنده، گیاهان و علی الخصوص درختان تأثیرات انکارناپذیری بر دمای سطحی داشته و به ویژه در محیط‌های شهری دارای اثرات متعادل کننده متعددی می باشند. این تحقیق با استفاده ازتصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و با نرم افزار آرک جی‌ای اس جهت مقایسه دمای سطحی زمین در دو منطقه با پوشش گیاهی درختان سوزنی برگ (پارک چیتگر) و درختان پهن برگ (پارک شهید چمران) انجام پذیرفت. مقادیر تابندگی، بازتابندگی، دمای روشنایی، شاخص نرمال پوشش گیاهی، نسبت سبزینه، گسیلمندی و سپس دمای سطح زمین محاسبه و تولید گردید. در مجموع ۱۷۰۰ نقطه از پارک چیتگر و ۸۰۰ نقطه از پارک چمران برداشت شد. در نرم افزار SPSS از آماره آزمون لون (F) جهت اثبات همگنی واریانس‌های نمونه ها و از آزمون‌های پارامتریک (T) با دو نمونه مستقل جهت اثبات وجود تفاوت معنادار بین دمای سطحی زمین درمناطق مذکور استفاده شد. طبق آزمون لون مقدار Sig = 0.409 (P-value) شد، که مؤید همگنی و برابری واریانس نمونه‌های مورد مطالعه است. همچنین در آزمون T مقدار Sig = 0.000 شد که از ۰.۰۵ کمتر می باشد، این یعنی تفاوت معنادار است. بدین سبب وجود تفاوت بین داده‌های دمای سطحی دو پارک اثبات گردید. همچنین با مقایسه نمودارهای مقادیر LST در دو گروه دریافتیم پارک چیتگر نسبت به پارک چمران دارای میزان دمای سطحی بیشتری است. در معضل فعلی قرن یعنی گرمایش جهانی، اطلاع از این واقعیت‌های محلی و ارائه راه حل‌های منطقی برای کاهش دمای سطحی در مقیاس‌های ناحیه‌ای و منطقه‌ای در مجموع می تواند در مقیاس جهانی، به حل مسئله گرمایش جهانی کمک مؤثری نماید.

کلید واژگان: درختان پهن برگ، درختان سوزنی برگ، دمای سطح زمین، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، پارک شهید چمران کرج و پارک چیتگر تهران

مقدمه

^۱ . دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه خوارزمی تهران

^۲ . دانشیار دانشگاه خوارزمی (نویسنده مسئول)

Email : mehryakbary@gmail.com-Tel: 09121961865

^۳ . کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

^۴ . استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

گرچه لایه هوای مجاور سطح زمین -لایه مرزی- کسر کوچکی از کل جو زمین است، با این حال فرآیندهایی که در مقیاس کوچک در آن روی می دهد برای حیات و فعالیت انسان بسیار با اهمیت است (کاویانی، ۱۳۸۳: ۱).

در بین موجودات زنده، گیاهان و علی الخصوص درختان تأثیرات انکارناپذیری بر دمای سطحی داشته و به ویژه در محیط‌های شهری دارای اثرات متعادل کننده متعددی می باشند. از جمله کارکردهای گیاهان یا فضای سبز شهری عبارتند از کاهش دمای سطحی (خنک سازی)، تصفیه هوا، افزایش بازده مصرف انرژی، جذب امواج فرابنفش، کاهش جریانات آبی و کاهش سرعت باد، میزان گرد و غبار و نیز آلودگی‌های شیمیایی (رجب بیگی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱).

براساس گزارش ساینس الرت، در یکی از جدیدترین مطالعات ناسا به نقش درختان در خنک نگه داشتن شهرها پرداخته شده است. درخت‌ها و گیاهان علاوه بر ایجاد سایه بر دمای کلی شهرها نیز اثرگذارند، نکته‌ای که شاید در مهندسی شهرسازی و توسعه شهرها کمتر به آن توجه شود. این تأثیر به واسطه فرایندی به نام تبخیر-تعرق ایجاد می شود. درختان در فرایندی مشابه تعرق بدن انسان، بخار آب را از میان حفره‌های درون برگ‌ها و ساقه‌هایشان در هوا آزاد می کنند. با درنظر گرفتن اینکه افزایش یک درجه دمای هوا می تواند مصرف انرژی توسط سیستم‌های تهویه هوا را تا ۲۰ درصد افزایش دهد، درک تأثیر قابل توجه بافت گیاهی در مصرف انرژی در شهرها کار چندان دشواری نیست.

درختکاری آسانترین، ارزان ترین و زیباترین راه حل برای ایجاد یک شهر خنک است. درختان در روزهای گرم صدها لیتر آب را از ریش ها به سمت برگ‌های خود پمپاژ می کنند. تبخیر این آب ها موجب خنک شدن محیط اطراف درختان می گردد. درجه حرارت هوا در مجاورت درختان به مراتب خنک تر از عرصه‌های بدون درخت است. هر چه درخت بزرگتر باشد این تفاوت بیشتر است. درختان شهری به طور قابل ملاحظه‌ای موجب راحتی ساکنان، چه در بیرون و چه در درون خانه ها می شوند. اگر توده درختان درجه حرارت هوای محل را کاهش می دهد، یک درخت تنها در اولویت اول نه با کنترل درجه حرارت هوا، بلکه با کنترل تشعشعات خورشید موجب راحتی و سلامت انسان می شود (کریمی، ۱۳۹۲: ۱).

جذب تشعشعات خورشیدی (امواج بلند) توسط درختان تفاوت درجه حرارت روز و شب را کاهش می دهد. هوا در زیر درختان در روز خنک تر و در شب گرم تر است. در فصل تابستان درختان با سد کردن تشعشعات خورشیدی و مایل شدن در مقابل گرما هزینه‌های خنک کردن داخل منازل را کاهش می دهند. اما در زمستان به گرمای خورشیدی نیاز است، زیرا گرم کردن منازل پر هزینه است. به طور کلی فنولوژی درختان از نظر ظهور و خزان برگ ها باید با نیازهای خنک کردن و گرم کردن منازل هم خوانی داشته باشد. همیشه از بین مناسب ترین گونه ها از نظر تامین این نیازها، در گزینش باید آن گونه هایی را در اولویت قرار داد که از بهترین همخوانی فنولوژی نیز برخوردار باشند (تیموری، ۱۳۸۹: ۱).

منظور از این تحقیق، مقایسه‌ی اشکال مختلف برگ‌های درختان (سوزنی و پهن برگ) در افزایش یا کاهش دمای سطحی زمین در نواحی با پوشش گیاهی است. این تحقیق از آن جهت که به بررسی و مقایسه تأثیرات هر یک از دو گونه درختان پهن برگ و سوزنی برگ در تعدیل آب و هوای مناطق مورد مطالعه و تشکیل خرده اقلیم متفاوت با مناطقی فاقد پوشش یا پوشش متفاوت می پردازد، حائز اهمیت است. زیرا به شهرداری ها، متولیان فضای سبز شهری، سازمان ها و تشکیلات محیط زیستی و ... کمک خواهد کرد که نوع پوشش گیاهی غالب درختان را که بیشترین اثر بر تعدیل آب و هوا و به عبارت دقیق تر کاهش دمای سطحی دارد، را بشناسند و در تولید، کاشت و گسترش این نوع درختان اقدام نمایند. ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین راهکار کاهش دمای سطحی زمین و تعدیل اقلیم، ایجاد پوشش گیاهی و توسعه فضای سبز شهری می باشد.

مطالعات گسترده ای در اکثر کشورهای جهان در این خصوص صورت گرفته که از آن جمله می توان به تحقیق تنوع در روابط آب و هوایی بین جنگل‌های مخروطی و پهن برگ در اوراسیا (چونجیانگ لیو و همکاران، ۲۰۰۴)، نام برد که هدف آن، تعیین رابطه بین عوامل آب و هوایی و ریزش باران در جنگل‌های مخروطی و پهن برگ در اوراسیا و کشف تفاوت محل اختلاف بین جنگل‌های مخروطی و پهن



برگ در رابطه با آب و هوا در مقیاس قاره‌ای بود. در این تحقیق از داده‌هایی از سراسر اوراسیا استفاده نمودند و روابط بین آب‌گرفتگی و عوامل آب و هوایی با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی از مجموعه‌ای از داده‌های منتشر شده از جنگل‌های مخروطی و پهن برگ در اوراسیا مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی تغییرات دما و بارش، مشخص گردید، تغییر واحد نسبی در جنگل‌های مخروطی نسبت به میزان کل بستر جنگل‌های پهن برگ بیشتر است. همچنین نتایج نشان داد که در مقیاس قاره، کنترل آب و هوا بر روی بسترهای مختلف بین جنگل‌های مخروطی و پهن برگ متفاوت است. در جنگل‌های اوراسیا، گزارش شده است که تغییر واحد نسبی دما (میانگین تغییر دما سالانه از ۸ تا ۳۰ درجه سانتی گراد) نسبت به بارش در اثر بارندگی تأثیر بیشتری داشته است.

از دیگر تحقیقات خارجی مرتبط می‌توان به مقاله: جنگل‌های تحت مدیریت و حفاظت شده در اروپا در گرم شدن آب و هوا نقش دارد (ناتس و همکاران، ۲۰۱۶)، اشاره کرد. محققان آزمایشگاه علوم اقلیمی و محیط زیست در فرانسه، با استفاده از داده‌های مربوط به جنگل‌های اروپا در ۲۶۰ سال گذشته، مدلی را طراحی کردند. این داده‌ها شامل موارد گوناگونی می‌شد، مثل پراکندگی گونه‌های مختلف درختان و روش‌های مردم برای قطع آنها از سال ۱۷۵۰ تا ۲۰۱۰، مساحت جنگل‌های اروپا به اندازه‌ی ۲۰۰ هزار کیلومتر مربع افزایش یافته و به دنبال آن دمای هوا ۱/۲ درجه‌ی سانتیگراد بالا رفته است. آنها پی بردند که آزادسازی کربن یکی از مهمترین عوامل گرم شدن آب و هوا در حوزه بستر، چوب مرده و کربن خاک در جنگل‌های مدیریت شده است. آنها همچنین دریافتند که تبدیل جنگل‌های پهن به جنگل‌های مخروطی باعث تغییر در آلودگی و تبخیر و تعرق آن جنگل‌ها شده و در نهایت منجر به گرم شدن آن می‌شود. نتیجه‌ی نهایی این تحقیق این بود که باید در سیاست‌های کاهش تغییرات آب و هوا در اروپا و دیگر مکان‌ها، تجدید نظرهای لازم صورت پذیرفته و در مدیریت جنگل‌ها تغییراتی داده شود. نویسنده اصلی این مطالعه می‌گوید: «ما با تغییر جنگل در واقع میزان تابش الکترومغناطیسی، آب و انرژی آزاد شده از این جنگل‌ها را هم تغییر می‌دهیم».

پژوهشی با عنوان: تأثیر پوشش گیاهی جنگل شمالی بر آب و هوای جهانی (گوردون، ۱۹۹۲)، نشان داد که گسترش جنگل‌ها در مناطق سردسیر، موجب افزایش دمای مناطق برفی می‌شود. چرا که برف در مقایسه با درختان تیره، نور و حرارت بسیاری بیشتری را بازتاب می‌کند.

همچنین در یکی از جدیدترین مطالعات ناسا به نقش درختان در خنک نگه داشتن شهرها پرداخته شده‌است. در مطالعه جدید ناسا تاثیر این فرایند بر دمای شهرها در مقایسه با محیط اطراف آن را مورد بررسی قرار داده‌است. محققان ناسا با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تجهیزات سنجش دما دریافتند مناطق شهری با پوشش ۶۵ درصدی درختان نسبت به مناطقی که کمتر از ۶۵ درصد پوشش درختی دارند دمای پایین‌تری داشته و در مناطقی با پوشش ۳۵ درصدی میانگین دمای شهر ۱٫۶ درجه سلسیوس افزایش پیدا می‌کند. در این مطالعه از داده‌های کل ایالات آمریکا استفاده شد و محققان دریافتند بیشترین تفاوت تاثیر گیاهان در دمای شهرها را می‌توان در طول روز و زمانی که شدت تابش خورشید بیشتر است درک کرد و در عین حال تفاوت دما در شهرهای کوچک نسبت به شهرهای بزرگ کمتر قابل توجه است (ناسا).

در ایران می‌توان به پژوهش مروری بر کارایی گیاهان در تعدیل اثرات و سازگاری با تغییرات اقلیمی در محیط‌های شهری (رجب بیگی و همکاران، ۱۳۹۳)، که به بررسی نقش و کارایی گیاهان در تعدیل دمای سطحی و ... پرداختند و پی بردند، کارآمدی گیاهان در ارتباط با هرکدام از این کارکردها تابعی از صفات عملکردی ریختی و فیزیولوژیک آنها می‌باشد. آنها همچنین عنوان داشتند که صفات عملکردی نظیر مورفولوژی سطح برگ، اندازه و ارتفاع گیاه، تراکم و الگوی پراکنشی گیاهان، شکل تاجپوش و شاخه بندی گیاه و نیز ویژگی‌های شکل رویشی و فیزیولوژیک گیاه از اهمیت بالایی در موفقیت گیاهان در رابطه با تعدیل کنندگی یا کاهش تغییرات اقلیمی برخوردار می‌باشند. مهم ترین نتیجه تحقیق این گروه، در نظر گرفتن دورنمای محیط‌های شهری در سایه تغییرات اقلیمی و جایگزینی گونه‌های شهری بر پایه صفات عملکردی به عنوان یکی از اولویت‌های مدیریت مناطق شهری از جمله ابرشهر تهران می‌باشد.

مقاله‌ای تحت عنوان تاثیر گیاهان بر دمای محیط اطراف (حجازی و همکاران، ۱۳۸۱) نیز برای اثبات تاثیر تعديل کنندگی فضای سبز، پارک طالقانی را به عنوان یک پارک وسیع در داخل شهر انتخاب نمود و ۳۰ ایستگاه مختلف اندازه گیری دما در حاشیه و عمق پارک در نظر گرفت. اندازه گیری دما از ایستگاه‌ها در ۶ نوبت توسط ۲ نفر صورت گرفت. در این تحقیق سعی شد تا با انجام مطالعات کتابخانه‌ای و عملیات میدانی، تاثیر تعديل کنندگی فضای سبز (از لحاظ کیفی و کمی) مورد کنکاش قرار گیرد. طبق نتایج به دست آمده مشخص شد که تاثیر تعديل کنندگی و کاهش دما در عمق فضای سبز تا ۳/۰۷ درجه سانتی گراد در خنک‌ترین ایستگاه می‌رسد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با دور شدن از حاشیه پارک و نزدیک شدن به عمق فضای سبز، اختلاف درجه حرارت میانگین ایستگاه با دمای میانگین سطح شهر قابل توجه‌تر می‌باشد.

وطني و همکاران، ۲۰۱۹ در تحقیقی با عنوان اثرات گونه‌های درختی بر سایبان تاج در مزارع جنگلی معتدل، با توجه به ویژگی‌های سطح، به ویژه نوع پوشش زمین و انواع گونه‌های درختی (افرا، صنوبر، بلوط، بلوط شاه بلوط، سرو و توسکا) در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران مورد بررسی قرار داده شد. داده‌های میدانی در طی تابستان و زمستان جمع‌آوری شد و توسط دستگاه آلدومتری که در روی پایه‌ای متحرک نصب شده بود، اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که بین گونه‌های درختی مختلف، تفاوت معنی‌داری در میزان آلبدو وجود دارد. همچنین نتایج رتبه‌بندی TOPSIS نشان داد که درخت ترجیحی گونه‌ها به ترتیب گلدره، صنوبر، بلوط شاه بلوط، افرا و سرو هستند. یافته‌های آنها نشان داد که با توجه به ترکیب این عوامل (آلبیدو تابستانه و زمستانه)، درختان پهن برگ بدلیل آلبیدوی بالا در هر دو فصل تابستان و زمستان بهترین انتخاب برای احیای جنگل‌ها در مناطق معتدل ایران است.

مقاله شکل‌گیری میکرو اقلیم با مقایسه مقادیر آلبیدوی سطحی، دمای سطحی، موازنه تابش و شار تابش خالص با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ در شهر بهشهر و حومه (رفیعی و همکار، ۱۳۹۷) که با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۵ و طبق الگوریتم سبال انجام پذیرفته است، نیز از جمله کارهای مرتبط در این خصوص هست. نویسندگان با محاسبه دقیق مؤلفه‌های تابش و مقایسه آنها طبق آزمون آنوا توانستند اثبات کنند که میان این مؤلفه‌ها در دو حوزه درون شهری و حومه، در پدیده‌های مختلف، تفاوت معنادار وجود دارد؛ لذا نتیجه گرفتند که میکرو اقلیم در محدوده مورد تحقیق شکل گرفته است.

این پژوهش اولاً به بررسی تأثیرات و نقش درختان سوزنی برگ و پهن برگ در کاهش یا افزایش دمای سطحی زمین، پرداخت. ثانیاً با اثبات وجود تفاوت معنادار میان داده‌های دمای سطحی دو گونه‌های ۲ پارک، گونه همساز با اقلیم مکان‌های مورد مطالعه را احصاء و به متولیان محیط زیست و شهری توصیه به کاشت آن‌ها نماید تا در نهایت به تعديل هر چه بیشتر اقلیم‌های شهری کمک نماید و دمای سطحی را در حد سازگاری نگه دارد.

مبانی نظری

دمای سطح زمین^۱ در تصاویر ماهواره‌ای شامل میانگین دمای پیکسلی است که پوشش دهنده بخشی از سطح زمین است و بر اساس انرژی رسیده به سنجنده (رادیانس) در باند حرارتی محاسبه می‌شود. عموماً دمای سطح زمین بر حسب کلوین محاسبه می‌شود. دمای درخشندگی^۲ عبارت است از دمای ثبت شده توسط سنجنده که با دمای سطح زمین متفاوت است. دمای ثبت شده توسط سنجنده حاوی اطلاعات دمایی سطح زمین، اتمسفر و خود سنجنده است. دمای درخشندگی بر اساس واحد کلوین محاسبه می‌شود. گسیلمندی (قابلیت انتشار) یعنی توان تشعشعی یک پدیده. یا به عبارت دیگر به عنوان توان یک جسم در تابش امواج حرارتی را نشان می‌دهد. هرچقدر

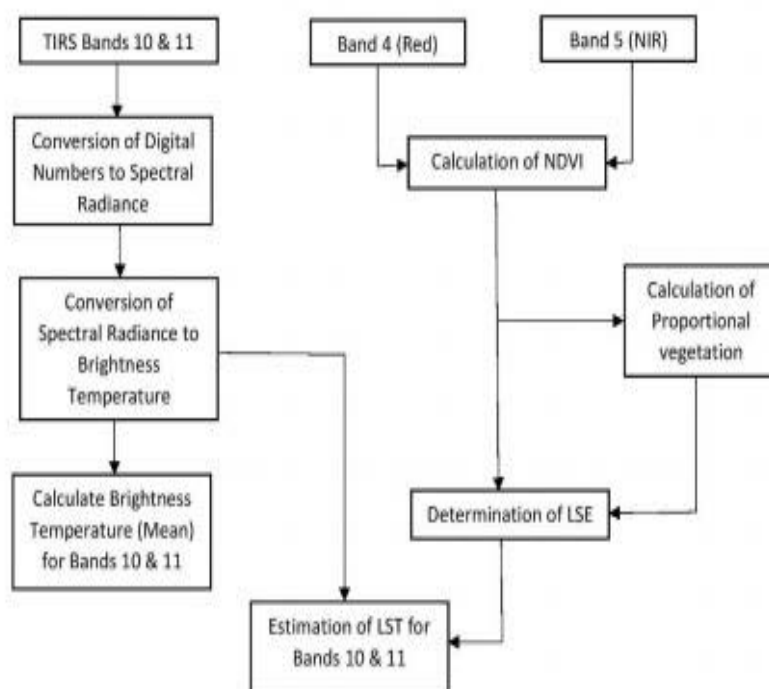
^۱Land Surface Temperature

^۲Radiance

^۳Brightness Temperature

^۴Emissivity

توان تشعشعی یک پدیده بالا باشد میزان انتشار امواج حرارتی آن نیز بیشتر است. دامنه مقادیر این پارامتر همواره بین ۰ تا ۱ است. هرچه به مقدار ۱ نزدیکتر باشد، مقدار گسیلمندی بالاتر است. در میان پدیده‌های سطح زمین، آب از بالاترین گسیلمندی برخوردار است. بعد از آن پوشش گیاهی و خاک در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. مفهوم رادیانس عبارت است از میزان انرژی رسیده به سطح زمین از جهات گوناگون در واحد مترمربع. تابش رسیده به سطح زمین عموماً ناشی از تابش‌های مستقیم خورشیدی و تابش‌های اتمسفری است. واحد اندازه‌گیری ایرادیانس وات بر متر مربع است (احراری، ۱۳۹۸).



داده ها و روش ها

منطقه مورد مطالعه

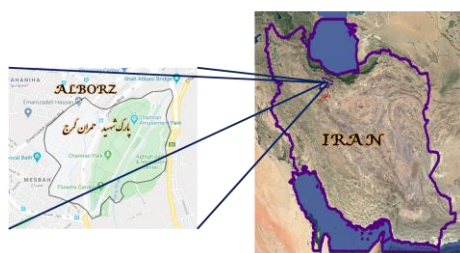
منطقه مورد مطالعه شامل بوستان‌های چیتگر تهران و شهید چمران کرج است. علت انتخاب این دو پارک به دلیل وجود پوشش گیاهی مدنظر این تحقیق، یعنی: گونه‌های سوزنی برگ در پارک چیتگر و پهن برگ در بوستان شهید چمران، می باشد.

پارک جنگلی چیتگر تهران

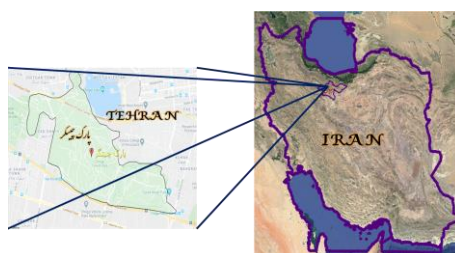
این بوستان از پارک‌های جنگلی شهر تهران است که از شمال به زمین‌های چیتگر، از جنوب به آزادراه تهران-کرج از غرب به شهرک سروآزاد و پیکان شهر و از شرق به منطقه خرگوش‌دره محدود می‌شود. این پارک با ۹۵۰ هکتار زمین پردرخت از بزرگ‌ترین بوستان‌های جنگلی استان تهران است. پوشش گیاهی غالب این پارک درختان سوزنی برگ کاج می باشد.

پارک شهید چمران کرج

پارک چمران کرج با مساحتی در حدود ۴۰ هکتار، بزرگ‌ترین پارک شهر کرج است که از اواسط بلوار سرسبز ورودی اصلی شهر کرج که به همان نام است، آغاز شده و تا تپه‌های کلاک و ورودی جاده چالوس را دربر می‌گیرد. پوشش گیاهی غالب این پارک درختان پهن برگ مثل درخت میخک می باشد.



شکل (۳) موقعیت پارک شهید چمران کرج



شکل (۲) موقعیت پارک چیتگر تهران



شکل (۵) تصویر ماهواره‌ای بینگ از پارک شهید چمران کرج



شکل (۴) تصویر ماهواره‌ای بینگ از پارک چیتگر

داده‌های تحقیق

داده مورد استفاده در این تحقیق، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ با شماره شناسایی اختصاری: LANDSAT 8(LC08_L1TP_165035_20190706) است که در تاریخ ۶ جولای ۲۰۱۹ از سایت USGS اخذ گردیده است.

لندست ۸ دارای ۲ باند حرارتی ۱۰ و ۱۱ است. فیلترهای طیفی دو باند حرارتی لندست ۸ باریک‌تر از باند حرارتی پردازنده TM و ETM است که می‌تواند اطلاعات سطح زمین را بهتر دریافت کند، در نتیجه سنسورهای حرارتی لندست ۸ درک بهتری از دمای سطح زمین ارائه می‌دهند و در مطالعات پژوهشی یک مرجع مناسب برای اندازه‌گیری دمای سطح زمین هستند (اخوان، ۱۳۹۸).

دمای سطح زمین بصورت مستقیم در داده‌های ماهواره‌ای و هوایی اندازه‌گیری نمی‌شود. به عبارت دیگر سنجنده‌های هوابرد و فضابرد، قابلیت ثبت میزان انرژی حرارتی منتشر شده را دارند که با استفاده از محاسبات فیزیکی، دمای سطح زمین متناظر آن محاسبه می‌گردد. در واقع مرجع تابش‌های حرارتی و انرژی‌های ثبت شده در باند حرارتی زمین است. تابش حرارتی زمین غالباً در طول موج بین ۳ تا ۲۰ میکرومتر رخ می‌دهد. با این حال بیشترین تابش حرارتی زمین در بازه ۸ تا ۱۴ میکرومتر، خصوصاً محدوده ۱۰ میکرومتر است. بنابراین هر باندی که به طول موج ۱۰ میکرومتر نزدیک تر باشد، حاوی انرژی‌های حرارتی بیشتری است و هم‌چنین دمای سطح زمین محاسبه شده از آن نیز در مقایسه با سایر باندهای حرارتی دقیق‌تر است (احراری، ۱۳۹۸).

روش تحقیق

تولید تصاویر مؤلفه‌ها برای پارک‌های شهید چمران کرج و چیتگر تهران

تصویر دمای سطح زمین با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و با بکارگیری دستور Raster Calculator در محیط نرم افزار ArcMap به صورت مرحله به مرحله تولید گردید. ابتدا شاخص‌های مرتبط و مؤثر در محاسبه دمای سطح زمین یعنی تابندگی فراز جو، بازتابندگی، دمای روشنایی، شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده، نسبت سبزینه، ضریب گسیلمندی (قابلیت انتشار)، محاسبه و تصاویر آنها تولید و سپس دمای سطح زمین، طبق فرمول‌های ریاضی زیر محاسبه و تولید گردید.

مرحله اول: تولید تصویر رادیانس طیفی فراز جو

برای به دست آوردن دمای روشنایی ابتدا باید تصویر به رادیانس تبدیل شود. لذا باید مقادیر درجات خاکستری DN^۵ باندهای شماره ۱۰ و ۱۱ سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ به صورت جداگانه و با کمک فایل MTL که الحاقیه تصویر لندست می باشد (جدول ۱ و ۲)، به رادیانس بالای اتمسفر تبدیل شود.

$$TOA(L\lambda) = ML * Q_{cal} + AL$$

فرمول (۱) محاسبه رادیانس فراز جو

$$L\lambda = (Watts / (m^2 * sr * \mu m)) \text{ رادیانس فراز جو بر حسب}$$

$$ML = \text{رادیانس چند بانده باند ۱۰}$$

جدول (۱) مقادیر رادیانس چند بانده باند ۱۰ لندست ۸

LC08_L1TP_165035_20190706_20190706_01_RT_MTL - Notepad

RADIANCE_MULT_BAND_10	= 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11	= 3.3420E-04

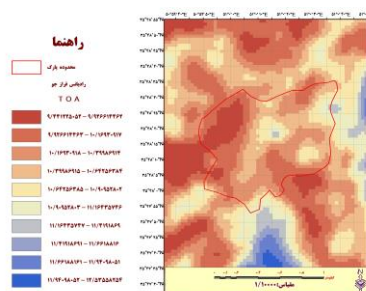
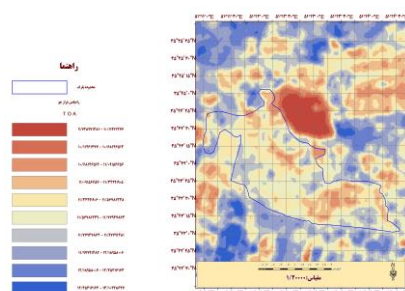
$$AL = \text{رادیانس باند افزایشی باند ۱۰}$$

جدول (۲) مقادیر رادیانس باند افزایشی باند ۱۰ لندست ۸

LC08_L1TP_165035_20190706_20190706_01_RT_MTL - Notepad

RADIANCE_ADD_BAND_10	= 0.100000
RADIANCE_ADD_BAND_11	= 0.100000

$$Q_{cal} = (DN) \text{ مقادیر کمی پیکسل استاندارد کالیبره شده}$$



Top Of Atmosphere Spectral Radiance

Reflectance

Normalized Difference Vegetation Index

Proportion Of Vegetation

Digital Number



شکل (۶) تصویر رادیانس فراز جو از پارک چمران

شکل (۷) تصویر رادیانس فراز جو از پارک چیتگر

مرحله دوم: تولید تصویر دمای روشنایی فراز جو

پس از تبدیل مقادیر DN باندهای ۱۰ و ۱۱ به رادیانس بالای اتمسفر، این دو باند تصحیح شده را به دمای روشنایی یا Brightness Temperature تبدیل کردیم.

$$BT = (K2 / (\ln(K1 / L) + 1)) - 273.15$$

فرمول (۲) محاسبه دمای روشنایی

$$BT = (\text{°C}) \text{ دمای روشنایی فراز جو}$$

$$L\lambda = (\text{Watts} / (\text{m}^2 * \text{srad} * \mu\text{m})) \text{ رادیانس فراز جو بر حسب}$$

$$BT = (1321.0789 / \ln((774.8853 / \text{"\%TOA"}) + 1)) - 273.15$$

$$K1 = K1 \text{ Constant Band (No.)}, K2 = K2 \text{ Constant Band (No.)}$$

جدول (۳) مقادیر K1, K2 Constant باند ۱۰ لندست ۸

LC08_L1TP_165035_20190706_20190706_01_RT_MTL - Notepad

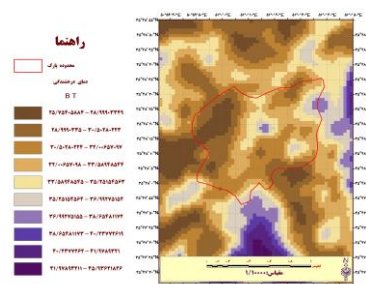
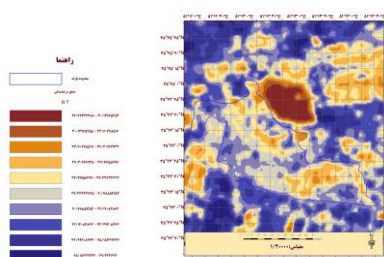
File Edit Format View Help

END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING

GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS

K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.8853

K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789



شکل (۸) تصویر دمای درخشندگی از پارک چمران

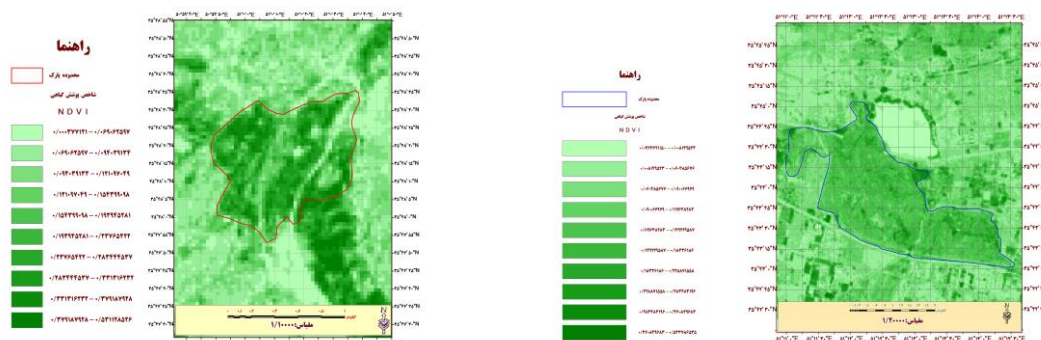
شکل (۹) تصویر دمای درخشندگی از پارک چیتگر

مرحله سوم: تولید تصویر شاخص پوشش گیاهی

تصویر شاخص پوشش گیاهی با استفاده از فرمول (۳) تولید گردید.

$$NDVI = (\text{Band } 5 - \text{Band } 4) / (\text{Band } 5 + \text{Band } 4)$$

فرمول (۳) محاسبه شاخص پوشش گیاهی



شکل (۱۰) تصویر شاخص پوشش گیاهی از پارک چمران

شکل (۱۱) تصویر شاخص پوشش گیاهی از چیتگر

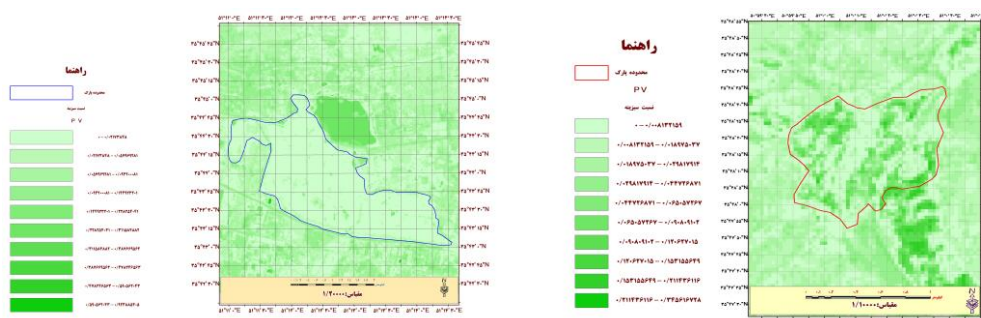
مرحله چهارم: تولید تصویر نسبت سبزینه

تصویر نسبت سبزینه با استفاده از شاخص پوشش گیاهی نرمال تولید گردید.

$$PV = (NDVI - NDVI_{min} / NDVI_{max} - NDVI_{min})^2$$

$$PV = \text{Square}((“NDVI” - 0.216901) / (0.632267 - 0.216901))$$

فرمول (۴) محاسبه نسبت سبزینه



شکل (۱۲) تصویر نسبت سبزینه از پارک چمران

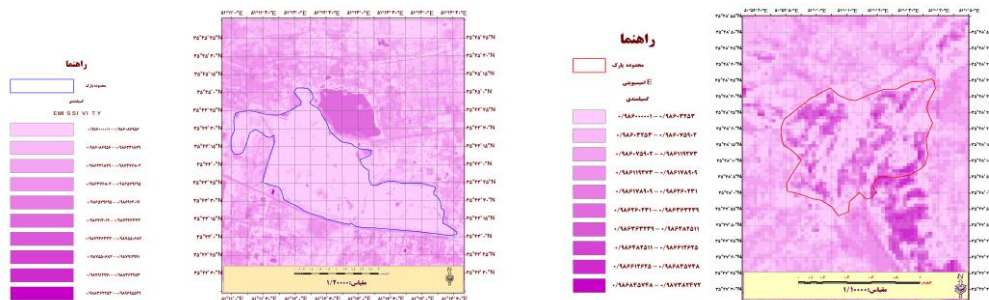
شکل (۱۳) تصویر نسبت سبزینه از پارک چیتگر

مرحله پنجم: تولید تصویر گسیلمندی

تصویر ضریب گسیلمندی با استفاده از فرمول (۵) تولید گردید.

$$\varepsilon = 0.004 * PV + 0.986$$

فرمول (۵) محاسبه ضریب گسیلمندی



شکل (۱۴) تصویر گسیلمندی از پارک چمران

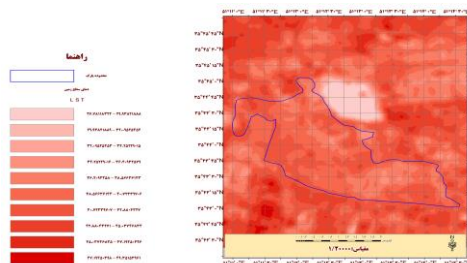
شکل (۱۵) تصویر گسیلمندی از پارک چیتگر

مرحله ششم: تولید تصویر دمای سطح زمین

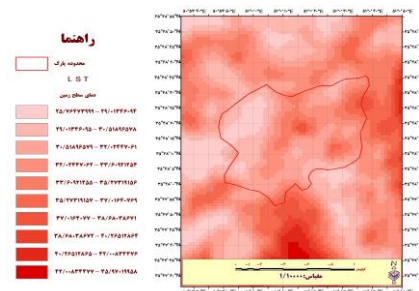
تصویر دمای سطح زمین با استفاده از فرمول (۶) تولید گردید.

$$LST = (BT / (1 + (0.00115 * BT / 1.4388) * \ln(\epsilon)))$$

فرمول (۶) محاسبه دمای سطح زمین



شکل (۱۷) تصویر دمای سطح زمین از پارک چیتگر



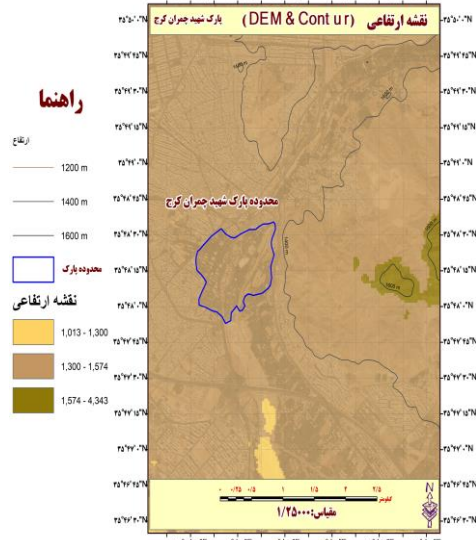
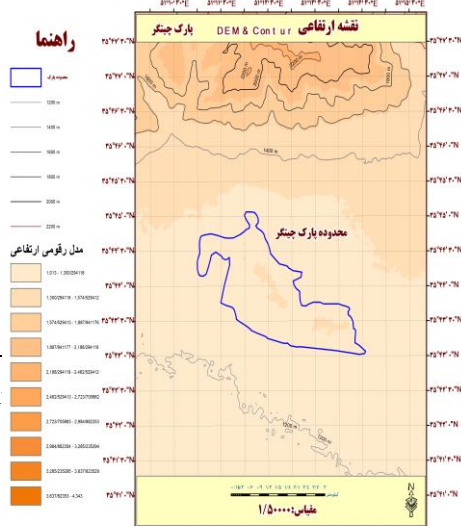
شکل (۱۶) تصویر دمای سطح زمین از پارک چمران

بهره گیری از تصویر ماهواره‌ای بینگ؛

بدلیل اینکه قدرت تفکیک مکانی تصاویر لندست ۸ در حدود ۳۰ متر می باشد، انتخاب پدیده ها در این تصاویر کاری دشوار می باشد. لذا برای رفع این مشکل، توسط نرم افزار ساس پلنت تصویر ماهواره‌ای بینگ منطقه مورد مطالعه را با سطح بزرگنمایی ۱۹ برداشت نموده، تا انتخاب نقاط نمونه (موقعیت درختان) بر روی تصویری که از نظر قدرت تفکیک مکانی در حدود ۵۰ سانتیمتر هست، دقیق تر و ساده تر شود.



شکل (۱۸) تصویر نقاط برداشتی از درختان پهن برگ پارک چمران شکل (۱۹) تصویر نقاط برداشتی از درختان پهن برگ پارک چیتگر



Bing Sateli

Sas Planet

شکل (۲۰) نقشه ارتفاعی از پارک از پارک چیتگر شکل (۲۱) نقشه ارتفاعی از پارک شهید چمران کرج

برداشت نقاط:

در نرم افزار ArcGIS هریک از پدیده‌ها (سوزنی برگ و پهن برگ) بر روی تصاویر با وضوح بالا برداشت و طبق جدول (۴) کد گذاری گردید. سعی شد، تعداد نقاط بسیار زیاد باشد تا نتایج نیز بهتر و دقیق تر باشد.

جدول (۴) تخصیص کد معرف برای هر یک از پدیده‌ها

کد	نام پدیده	تعداد نقاط
۱	درختان پهن برگ پارک شهید چمران	۸۰۸
۲	درختان سوزنی برگ پارک چیتگر	۱۷۷۵

تعیین مقادیر تصاویر

با استفاده از ابزار استخراج مقادیر در نقاط؛ در نرم افزار ArcGIS مقادیر عددی^۲ تصویر دمای سطحی، استخراج و به جدول اطلاعات توصیفی نقاط برداشتی اضافه شد. در نتیجه فایلی با فرمت txt. که در واقع حاصل استخراج داده از تصاویر دمای سطحی زمین می باشد، به دست آمد.

ورود و پردازش اطلاعات در نرم افزار اکسل

جدول استخراج شده از جی‌ای اس (جدول (۵))، با فرمت txt. در نرم افزار اکسل، فراخوانی و تنظیم شد.

جدول (۵) نمونه داده‌های دمای سطحی زمین با کد معرف‌های ۱ و ۲

کد ۱	کد ۲	دمای سطحی زمین
34.80893326	40.73164368	
34.08084106	40.71889496	
34.08084106	40.68962097	
34.08084106	40.68962097	
34.08084106	40.68962097	

Extract By Values To Point

Values

40.68962097	33.02114105	
40.68962097	33.02114105	
40.5212059	33.47989655	
39.94314957	34.80893326	
39.94314957	35.19776916	
40.60975266	34.08084106	
39.94314957	34.08084106	
39.94314957	33.02114105	
40.57178879	33.47989655	

بحث و بررسی

مقایسه دمای سطحی پدیده‌ها (LST)

طبق جدول (۶) بیشترین میزان دمای سطحی با $44/42$ درجه سانتی گراد متعلق به پارک چیتگر که پوشیده از درختان سوزنی برگ هست، می باشد و کمترین آن در پارک شهید چمران کرج با $28/09$ درجه سانتی گراد با درختان پهن برگ مشاهده شده است. نیز طبق جدول (۷) و (۸) کمترین دمای پارک چمران $28/09$ درجه سانتی گراد و بیشترین آن $36/51$ درجه سانتی گراد و کمترین دمای پارک چیتگر $34/74$ درجه سانتی گراد و بیشترین آن $44/42$ درجه سانتی گراد می باشد. مطابق شکل (۲۲) پارک چیتگر با میانگین دمای سطحی $38/92$ درجه سانتی گراد از پارک شهید چمران با میانگین دمای سطحی $31/39$ درجه سانتی گراد، گرم تر می باشد. در شکل (۲۳) نمودار قرمز رنگ، دمای سطحی زمین در پارک چیتگر را با گونه سوزنی برگ (کاج) نمایش داده و نمودار آبی معرف دمای سطحی پارک شهید چمران کرج با گونه پهن برگ می باشد. واضح است که دما بطور قابل ملاحظه‌ای در پارک چیتگر بالاتر است. دامنه نوسان دمایی در پارک شهید چمران بین $36/51 - 28/09$ درجه سانتی گراد و در پارک چیتگر بین $44/42 - 34/74$ می باشد که دقیقا در نمودار مشخص می باشد. قرار گرفتن نمودار قرمز رنگ بالاتر از نمودار آبی رنگ این امر را به درستی تبیین می نماید. علت این امر، تراکم کمتر درختان در پارک چیتگر و همچنین نوع گونه درختی غالب (سوزنی شکل) به سبب سایه اندازی کمتر و تابش ورودی بیشتر می باشد.

جدول (۶) کمترین و بیشترین دمای سطحی زمین بین شناسه‌های ۱ و ۲

دمای سطحی زمین دو پارک Min , Max		
تعداد	مقدار	2583
	Missing	0
کمترین درجه حرارت		28.0945663452
بیشترین درجه حرارت		44.4293861389

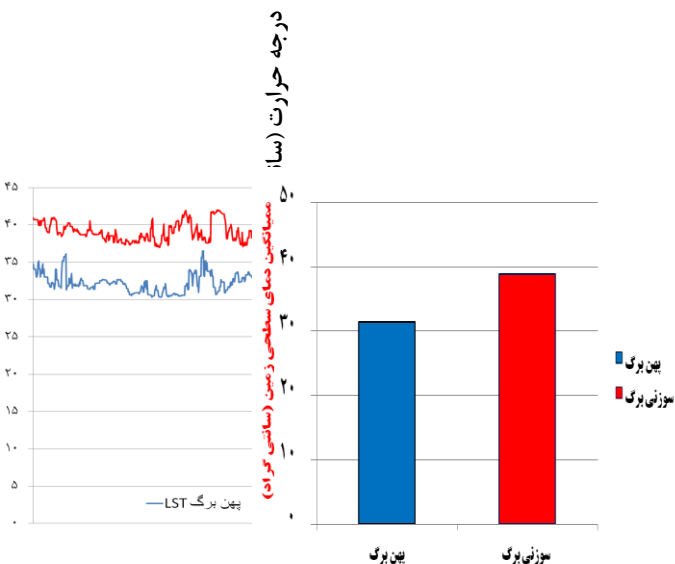
دمای سطحی زمین پارک چیتگر		
تعداد	مقدار	1775
	Missing	0
کمترین درجه حرارت		34.74988

بیشترین درجه حرارت

44.4293861389

جدول (۷) کمترین و بیشترین دمای سطحی زمین شناسه یک
جدول (۸) کمترین و بیشترین دمای سطحی زمین شناسه دو

دمای سطحی زمین پارک شهید چمران		
تعداد	مقدار	808
	Missing	0
کمترین درجه حرارت		28.0945663452
بیشترین درجه حرارت		36.51586



شکل (۲۲) مقایسه میانگین دمای سطحی (LST) هر یک از پدیده ها

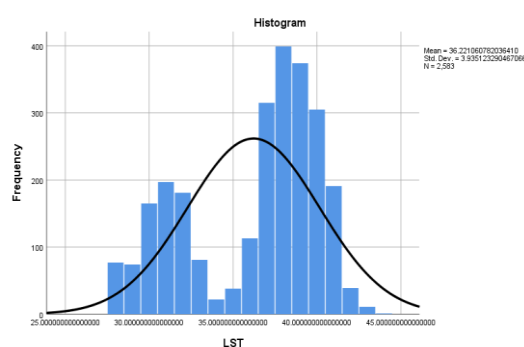
شکل (۲۳) مقایسه دمای سطحی هر یک از پدیده ها

بررسی چولگی و کشیدگی و فراوانی داده ها:

در این مرحله به بررسی نرمال بودن یا نبودن داده ها پرداخته شد تا نوع آزمون آماری (پارامتریک یا ناپارامتریک) مشخص شود. داده های مدون، جهت اخذ تحلیل ها و آزمون های آماری وارد نرم افزار SPSS گردید. در مرحله نخست به بررسی چولگی و کشیدگی داده ها پرداخته شد. خروجی آزمون در جدول (۹) بیانگر این بود که ضرایب چولگی و کشیدگی به ترتیب -0.611 و 0.950 بوده و چون در بازه (۲) و (۳) قرار دارند، پس نرمالند.

جدول (۹) نمونه داده های LST با کد معرف های ۱ و ۲

دمای سطحی		
N	Valid	2583
	Missing	0
	چولگی	-.611
	Std. Error of Skewness	.048
	کشیدگی	-.950
	Std. Error of Kurtosis	.096



شکل (۲۴) نمودار چولگی و کشیدگی داده ها

تست نرمال بودن داده ها



مطابق خروجی ها نمایش داده شده در جداول (۱۰) و (۱۱) در هر دو آزمون من ویتنی^۱ و کلموگروف-اسمیرنوف^۲ داده ها دارای Sig = 0.000 بودند که چون از مقدار ۰,۰۵ کمتر می باشد، لذا داده ها نرمال نیستند. علت این امر وجود نمونه‌های بسیار زیاد (۲۵۸۳ نمونه) می باشد، که به توصیه دانشمندان علم آمار می شود در این گونه موارد از آزمون‌های پارامتریک استفاده نمود. همچنین به دلیل اینکه ضرایب چولگی و کشیدگی نرمال بودند از آزمون‌های پارامتریک (T با دو نمونه مستقل) جهت اثبات تفاوت معنادار بین دمای سطحی زمین در مناطقی با درختان سوزنی برگ و پهن برگ استفاده شد.

جدول (۱۰) آزمون من- ویتنی

Ranks				
	کد	N	Mean Rank	Sum of Ranks
LST دمای سطحی	1	808	404.97	327212.00
	2	1775	1695.79	3010024.00
	مجموع	2583		
آماره های آزمون				
			LST دمای سطحی	
Mann-Whitney U			376.000	
Wilcoxon W			327212.000	
Z			-40.784	
Asymp. Sig. (2-tailed)			.000	

جدول (۱۱) آزمون کلموگروف- اسمیرنوف

فراوانی		
	کد	N
LST (دمای سطحی)	1	808
	2	1775
	مجموع	2583
آمارهای آزمون		LST
Most Extreme Differences	Absolute	.985
	Positive	.000
	Negative	-.985
کلموگروف- اسمیرنوف Z		23.211
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000
a. Grouping Variable: Code		

د تفاوت

برگ و پهن برگ استفاده شد. از آماره ازمون لون(F) جهت اثبات همگنی وریانس‌های نمونه و از آزمون T با دو نمونه مستقل جهت بررسی همگنی میانگین‌های دو جامعه آماری استفاده گردید، که نتایج زیر را در پی داشت. همانطور که در جدول (۱۲) دیده می شود، مقدار Sig = 0.409 همان مقدار P_value می باشد از ۰,۰۵ بیشتر شده است یعنی وریانس جامعه ها همگن و برابرند، همچنین در خروجی آزمون T در جدول (۱۳) مقدار Sig = 0.000 که از ۰,۰۵ کمتر می باشد که یعنی تفاوت معنادار است به دین سبب وجود تفاوت بین داده‌های دمای سطحی دو پارک شهید چمران و چیتگر اثبات می گردد.

جدول (۱۲) آزمون لون

		F	sig
LST دمای سطحی	Equal variances assumed	.683	.409
	Equal variances not assumed	*	*

جدول (۱۳) آزمون T

	آزمون T برای همگنی میانگین ها					
	t	df	Sig (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference
						Lower Upper

۱Mann-Whitney

۲Colmogorov-Smirnov

۳Leven

LST	Equal variances assumed	-115.343	2581	.000	-7.7572	.06725	-7.8890	-7.6253
	Equal variances not assumed	-115.520	1567.528	.000	-7.7572	.06715	-7.8889	-7.6254

جدول (۱۴) آزمون T با دو نمونه مستقل

آمارهای گروهی					
	کد	تعداد نقاط	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
LST	1	808	31.394244137376	1.580282823648306	.055594155734920
	2	1775	39.151448392196016	1.586757533997972	.037662694746994

نتیجه گیری

بر اساس تمامی یافته‌ها پارک چیتگر نسبت به پارک چمران دارای میزان دمای سطحی بیشتری است که این به علت تراکم کمتر درختان و همچنین نوع گونه درختی غالب (سوزنی شکل) می‌باشد. گونه‌های سوزنی برگ که فضای کمتری را نسبت به گونه‌های پهن برگ اشغال کرده و سایه اندازی کمتری دارند. همچنین امکان برخورد انرژی خورشید با سطح زمین را به علت به هم نرسیدن برگ‌های درختان مجاور هم، بیشتر فراهم می‌سازند و این عامل مهم بالا رفتن دمای سطحی در پارک مورد اشاره می‌باشد. گونه‌های همساز با آب و هوای مناطق مورد مطالعه گونه‌های پهن برگ می‌باشند زیرا نسبت به گونه‌های سوزنی برگ، سایه اندازی و به هم رسیدگی برگ‌های بیشتری داشته و در نهایت تعدیل هوای بیشتری را موجب می‌شوند. تفاوت دمای دو پارک مؤید این حقیقت می‌باشد. در معضل فعلی قرن یعنی گرمایش جهانی، اطلاع از این واقعیت‌های محلی و ارائه راه حل‌های منطقی برای کاهش دمای سطحی در مقیاس‌های ناحیه‌ای و منطقه‌ای در مجموع می‌تواند در مقیاس جهانی، به حل مسئله گرمایش جهانی کمک مؤثری نماید. بر اساس نتایج این پژوهش و از آنجا که مناطق شهری به دلیل داشتن سطوح جاذب انرژی خورشیدی از قبیل جاده‌ها، ساختمان‌ها و سطوح بتنی به جزایری داغ تبدیل می‌شوند که خیابان‌های پردرخت در چنین شهرهایی می‌تواند بر کاهش دمای آنها تأثیری غیرقابل انکار داشته‌باشد.

لذا انتخاب صحیح گونه‌ها از اساسی‌ترین قسمت‌های طرح‌های فضای سبز محسوب می‌گردد. انتخاب گونه مناسب نه تنها از نظر موفقیت استقرار فضای سبز حائز اهمیت است، بلکه از نظر اقتصادی نیز می‌توان با انتخاب بهترین گونه در هزینه‌های مربوط به تهیه نهال، عملیات کاشت، آبیاری صرفه جویی و بهترین گونه مؤثر در کاهش دمای سطحی را انتخاب نمود؛ لذا به دلیل تأثیر بهتر درختان پهن برگ در کاهش دمای سطحی، کاشت این درختان در دستور کار شهرداری‌های کرج و علی‌الخصوص تهران قرار بگیرد. تجدید نظر در انتخاب نوع درختان (از لحاظ انطباق و سازگاری با شرایط زیست محیطی شهر)، نحوه مناسب هرس آنها برای دستیابی به حداکثر سایه دهی، استفاده هرچه بیشتر از پهن برگان به جای سوزنی برگان و استفاده از پشت بام‌های سبز نیز از دیگر راه حل‌های پیشنهادی می‌باشد.



منابع

- آزموده مریم؛ حیدری شاهین. (۱۳۹۶). تأثیر دیوارهای سبز شهری بر کاهش دمای خرداقلیم ها و اثر جزیره گرمایی شهری، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۹(۵): ۶۰۶-۵۹۹.
- اسماعیلی مرضیه. «بررسی تاثیر ریشه گونه‌های سوزنی برگ و پهن برگ جنگلکاری شده در مسلح سازی خاک (مطالعه موردی: جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود، نوشهر)» پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی جنگل، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکده منابع طبیعی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۳۹۴
- جمشیدنیا زهرا؛ ابراری واجاری کامبیز؛ سهرابی اکبر؛ ویس کرمی غلام حسن. (۱۳۹۵). تأثیر جنگل کاری گونه‌های سوزنی برگ و پهن برگ بر برخی ویژگی‌های خاک جنگل کاری ریمله-لرستان، فصلنامه علمی پژوهش‌های خاک وزارت جهاد کشاورزی، ۳۰(۳): ۳۶۵-۳۵۷.
- حجازی رخشاد؛ آبادی پریسا. (۱۳۸۱). تاثیر گیاهان بر دمای محیط اطراف (مطالعه موردی پارک طالقانی) نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۲(۱): ۴۵-۶۲.
- خسروی محمود؛ قبادی اسدالله. (۱۳۸۶). تبیین جایگاه سامانه بام سبز در تعدیل جزیره حرارتی شهر (نمونه موردی کرج)، دو فصلنامه پژوهش‌های بوم شناسی شهری، ۲(۴): ۷۸-۶۷.
- رجب بیگی الهام؛ عرفانیان سلیم رامین؛ جعفری سید محمد. (۱۳۹۳). مروری بر کارایی گیاهان در تعدیل اثرات و سازگاری با تغییرات اقلیمی در محیط‌های شهری با تأکید بر صفات عملکردی گیاهان، فصل نامه علوم محیطی، ۱۲(۴): ۲۴-۱۳.
- روشنی احمد؛ قائمی هوشنگ؛ حجازی زاده زهرا. (۱۳۹۳). تغییرات زمانی- مکانی درازمدت تابش خالص در گستره ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳(۹): ۷۲-۵۵.
- صالحی آزاده؛ مسعود طبری کوچکسرای. (۱۳۹۲). امکان سنجی بهبود اقلیم و خاک از طریق توسعه فضای سبز در یک منطقه خشک، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۲(۱): ۴۱-۳۱.
- قیصری مهدی؛ اسلامیان سید سعید؛ شفیعیون الهام؛ علیخاوسی علی؛ غفاری ششجوانی عباس. (۱۳۹۲). پهنه بندی خرداقلیمی شهر اصفهان بر اساس نوع پوشش سطح، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱(۲): ۳۱-۲۱.
- علیجانی، بهلول و کاویانی، محمد رضا. (۱۳۸۸). مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت.
- متین کیا معصومه؛ پیله ور بابک؛ متین فر حمید. (۱۳۹۰). اثر جنگلکاری با گونه‌های سوزنی برگ و پهن برگ بر برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک (مطالعه موردی: پارک جنگلی شهرستان دورود) فصلنامه علمی پژوهشی اکو سیستم‌های طبیعی ایران، ۲(۲): ۸۹-۹۷.
- محمد نژاد کیاسری شیرزاد؛ اکبرزاده محمد؛ جعفری بهنوش. (۱۳۸۶). بررسی تنوع زیستی گیاهی در جنگلکاری دست کاشت سوزنی برگ، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۲(۱۱): ۶۲۵-۶۱۱.
- معاریان فرشید؛ طبری مسعود؛ حسینی سید محسن؛ بانج شفیعی عباس. (۱۳۸۶). مقایسه تنوع زیستی توده آمیخته سوزنی برگ با توده آمیخته پهن، محیط شناسی، ۴۲(۲): ۱۰۸-۱۰۳.
- ضوابط طراحی فضاهای سبز شهری، نشریه شماره ۲۰۳ تجدید نظر اول (معاونت نظارت راهبردی).
- Adams, J., (2009), Vegetation-Climate Interaction: How Vegetation Makes the Global Environment, Springer, 1-266.
- Bright, M.R., Davin, E., Halloran, O. T., Pongratz, J., Zhao, K., Cescatti, A., (2017), Local temperature response to land cover and management change driven by non-radiative processes, Nature Climate Change, 7: 296-302.
- Buis, A., (2019), Examining the Viability of Planting Trees to Help Mitigate Climate Change, NASA's Jet Propulsion Laboratory.

- Gordon, H., Scott, C., (2016), Trees Are Way Better at Cooling The Climate Than We Thought, The Conversation.
- Gordon, B., David, P., Starly, L, T., (1992), Effects of boreal forest vegetation on global climate, Nature, 359: 716–718.
- Kermavnar, J., Vilhar, U., (2017), Canopy precipitation interception in urban forests in relation to stand structure, Urban Ecosystems, 20: 1373–1387
- Komatsu, H., Kume, T., (2020), Modeling of evapotranspiration changes with forest management practices: A genealogical review, Journal of Hydrology, 585.
- Liu, C., Westman, J.C., Berg, B., Kutsch, W., Wang, Z.G., Man, R., Ilvesniemi, H., (2004), Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia, 13(2): 105-114.
- Meng, X., Cheng, J., Zhao, S., Liu, S., Yao, Y., (2019), Estimating Land Surface Temperature from Landsat-8 Data using the NOAA JPSS Enterprise Algorithm, Remote Sensing, 155(11): 1-18.
- Milius, S., (2019), Planting trees could buy more time to fight climate change than thought, Science News.
- Monahan, P., (2016), Europe's trees have been warming the planet, Science.
- Naudts, K., Chen, Y., McGrath, J.M., Ryder, J., Valade, A., Otto, J., Luyssaert, S., (2016), Europe's forest management did not mitigate climate warming, Science, 6273 (351): 597-600
- Potter, S., Solvik, K., Erb, A., Goetz, J.S., Johnstone, F.J., Mack, C.M., Randerson, T.J., Román, O.M., SchaafL.C., Turetsky, R.M., Veraverbeke, S., Walker, J.X., Wang, Z., Massey, R., Rogers, M.B., (2019), Climate change decreases the cooling effect from) postfire albedo in boreal North America, Global Change Biology, 26(3):
- Sheeren, D., Fauvel, M., Josipovi, V., Lopes, M., Planque, C., Willm, J., Dejoux, J.F., (2016), Tree Species Classification in Temperate Forests Using Formosat-2 Satellite Image Time Series, Remote Sensing, 8(9): 734
- Trimarchi, M., (2019), How trees affect the weather 'Trees' water-use strategies can intensify droughts, University of Utah.
- Vatani, L., Hosseini, S.M., Sarjaz, M.R., Alavi, S. J., Shamsi, S.S., Zohd Ghodsi, M.J., (2019), Tree species effects on canopy albedo in temperate forest plantations: comparing conifers and broadleaf trees, Journal of Solar Energy Research, 4(3):188-199
- Wade, J., (2017), Forests fight global warming in ways more important than previously understood Trees' role extends beyond carbon consumption, study finds, Ohio State University.
- <https://isa.ir>
- <http://know.sibche.ir>
- <http://www.iana.ir>
- <https://www.zoomit.ir/2016/10/17/147289/trees-are-way-better-at-cooling-the-climate>
- <https://www.ramgol.com/tag>
- <https://www.ahvaz.ir/news/ID/16293>. (کریمی، ۱۳۹۲).
- <https://www.hamshahrionline.ir/news/307040>
- <http://greenlife2020.blogfa.com/post/20>. (تیموری، ۱۳۸۹).

- <http://girs.ir/lst-in-arcgis/> (اخوان، ۱۳۹۸).
- <http://girs.ir/lst-remote-sensing/> (احراری، ۱۳۹۸).