

استخراج و شناسایی دمای سطحی زمین و تبیین ارتباط آن با کاربری اراضی شهری (نمونه موردی: مناطق ۱ و ۲۱ شهر تهران)

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۹۹/۱۰/۲۴

غلامرضا مرادی* (استادیار گروه مهندسی شهرسازی دانشگاه سلمان فارسی کازرون، فارس، ایران)
علیرضا حسینی (استادیار گروه مهندسی شهرسازی دانشکده هنر دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران)

چکیده:

امروزه شهرها به واسطه رشد جمعیت، گسترش صنایع، مصرف انرژی فسیلی در نتیجه تولید گازهای گلخانه‌ای، آلودگی هوا و در نهایت تغییر اقلیم به شدت آسیب پذیر می‌باشند. با گسترش شهرها سطوح طبیعی زیادی به زیر ساخت و ساز می‌روند، مصالح مصنوعی بیشتری استفاده می‌شود تراکم جمعیتی و ساختمانی بیشتر تولید حرارت‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی را تشدید می‌کند. همه این موارد در کنار نوع استفاده‌ای که از زمین در سطح شهر می‌شود که بیانگر خصوصیات خاصی از قبیل توان تشعشعی، ظرفیت گرمایی، آلودگی و... می‌باشد و دمای سطحی متفاوتی را نسبت به سایر نقاط نشان می‌دهد. تکنولوژی فضایی به طور موفقیت آمیزی در تعیین دمای سطح و توازن انرژی شهری به کار گرفته شده است. در این پژوهش دمای سطحی مناطق ۱ و ۲۱ شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ شناسایی و با انطباق آن با نقشه کاربری اراضی زمین این مناطق دمای سطحی آن برآورد شده است. نتایج نشان می‌دهد که ارتباط نزدیکی بین کاربری زمین و دمای سطحی وجود دارد چنانچه در این دو منطقه با توجه به نوع نقش و فعالیت هر منطقه دمای سطحی متفاوتی شناسایی شده است. منطقه ۲۱ با کارکرد صنعتی و کارگاهی، زمین‌های بایر، عدم پوشش گیاهی، عدم وجود آبراهه‌ها و استفاده بیش از حد مصالح مصنوعی و صنعتی و همچنین تولید حرارت‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی میانگین دمای سطحی ۵ درجه سانتیگراد بیشتر از منطقه ۱ را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کاربری زمین، دمای سطحی، جزایر حرارتی، مناطق ۱ و ۲۱ تهران، توازن انرژی.

مقدمه:

هم اکنون بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند، شهرنشینی و پیامدهای ناشی از آن به طور قابل ملاحظه‌ای بر روی اقلیم محلی تأثیر می‌گذارد. اهمیت ویژگی‌های جوی در سطوح محلی و منطقه‌ای و در رابطه با آمایش سرزمین روز به روز در حال افزایش است در محدوده شهرها که با رشد سریع جمعیت و توسعه صنعتی روبرو هستند (دشتکیان و دهقانی تفتی ۱۳۸۶، ۱۷۰). تراکم‌های جمعیتی و ساختمانی به همراه تولید حرارت‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی به همراه شکل و فرم شهرها و کاهش شاخص دید آسمان باعث افزایش دمای شهر نسبت به محیط طبیعی اطراف شده است. توازن انرژی سطح مناطق شهری به دلایل فوق متفاوت می‌باشد که این امر باعث اختلاف دمایی سطح مناطق می‌گردد. یکی از عوامل مؤثر بر دمای سطحی زمین شهرها، محیط انسان ساخت و کاربری‌های شهری می‌باشد. ساختارهای شکل‌گیری شهری، برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری بدون توجه به مسائل تغییر اقلیم، مکانیابی‌های غیر اصولی، از بین بردن زمین‌های باز و طبیعی و فضاهای سبز، ساخت و سازهای بیش از حد، استفاده از مصالح با ظرفیت گرمایی بالا و... از جمله مواردی هستند که پیامدهای زیادی را بر دمای سطحی زمین گذاشته‌اند. این مسئله سبب شده است که تناسب کاربری‌ها در انطباق با عرصه طبیعی و شهرهای پایدار به‌عنوان راه‌حلی برای این مسأله مطرح شود. از دیگر راهکارهای کاهش این اثرات می‌توان به رویکردهای نوین در مقیاس فراشهری همچون روستاشهری و در مقیاس شهری توسعه درونزا و مکان‌یابی بهینه کاربری‌ها و ارزیابی اکولوژیک بر اساس شاخص‌های پایداری و توسعه پایدار شهرها (بهرام سلطانی ۱۳۸۷)، استفاده از سقف و بام سبز، رنگ روشن معابر و سطوح و همچنین رعایت تناسب ارتفاع ساختمان‌ها نسبت به معابر برای جلوگیری از به دام افتادن تشعشع خورشید اشاره کرد. لذا در این مقاله سعی شده است به بررسی اثر کاربری‌های شهری و میزان تأثیر آنها بر دمای سطح زمین پرداخته شود. هدف پژوهش حاضر، شناسایی ارتباط دوسویه کاربری‌های زمین و گرم شدن زمین در فرایندی چرخه‌ای، در شهر تهران است.

پیشینه تحقیق

مطالعات گسترده‌ای در جهان در مورد دمای سطحی شهر و مسایل مرتبط با آن انجام گرفته که از آن جمله می‌توان به Duncan و همکارانش (2019) اشاره کرد که با استفاده از مدل‌ها و روش‌های ریاضی و آماری همچون رگرسیون وزنی و واریانس دما به بررسی اثرات پوشش گیاهی بر افزایش دمای سطحی پرداخته شده است و تأثیر پیکر بندی پوشش گیاهی بر بهینه‌سازی و خنک‌سازی در مقیاس محلی و شهری را بیان می‌کند. Nurwanda و همکارانش

(۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat در سالهای ۱۹۹۷، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۷ به بررسی رابطه بین دمای سطح زمین و گسترش شهرها و کاربری‌ها پرداخته شده است. در این پژوهش ضمن شناسایی عوامل مؤثر، کاربری زمین را برای آینده پیش بینی کرده است به گونه‌ای که کمترین میزان دمای سطحی را داشته باشند. Xiao و همکارانش (۲۰۰۵) اشاره کرد که به مطالعه ارتباط بین پوشش سطح زمین و دمای سطحی پرداختند و نشان دادند که شدت جزایر حرارتی و دمای سطحی در مناطقی که سرعت شهرنشینی بالایی داشته اند بسیار بیشتر بوده‌اند. Stathopoulou و Cartalis (۲۰۰۷) در پژوهشی محیط حرارتی شهرهای بزرگ یونان که شامل (آتین، تسالونیک، پاترا، Herallion و Volos) بود را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM⁺ و در ارتباط با پایگاه داده پوشش زمین (Corine) بررسی کردند. Corine پایگاه داده GIS برای ذخیره داده‌های مربوط به پوشش زمین می‌باشد. با توجه به پردازش‌های صورت گرفته مشخص شد که مناطق مختلط شهری مقادیر دمای سطحی بالایی را در همه شهرها نشان می‌دهند.

در ایران نیز مطالعات مختلف انجام گرفته است که از آن دسته می‌توان به برنا (۱۳۹۸) اشاره نمود که در آن شاخص‌های زیست اقلیمی مؤثر بر آسایش انسان در شهرستان بهبهان بررسی شده است. اصغری و امامی (۱۳۹۸) ضمن استخراج و پایش دمای سطح زمین به بررسی رابطه کاربری زمین و میزان گرمای پایش شده می‌پردازند. محمود زاده و همکاران (۱۳۹۷)، اثر کاربری‌های شهری را در ایجاد جزایر گرمایی در شهر مشهد مورد مطالعه قرار داده است در این مطالعه بیان شده است که کاربری‌های آبی و فضای سبز، کمترین دمای سطحی و کاربری‌های صنعتی و شبکه‌های معابر، بیشترین دمای سطحی را دارند. اکبری و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله‌ای به بررسی شاخصه‌های طراحی و میزان جذب انرژی در ساختمانها و بالتبع آن کاهش مصرف انرژی پرداخته است. معروف نژاد و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از روش من کندال به بررسی تغییرات ۲۵ ساله دما در شهرستان چهار محال و بختیاری پرداخته است. مجرد و همکاران (۱۳۹۷) با پردازش تصاویر ماهواره‌ای و استخراج دمای سطحی آن و شناسایی جزایر حرارتی به این نتیجه رسیدند که سطوح نفوذناپذیر از طریق جذب و ذخیره انرژی خورشیدی اثر گرمایشی دارند، در حالی که پوشش گیاهی از طریق ایجاد توازن گرمایی به وسیله تبخیر و تعرق و تولید سایه دارای اثر خنک کننده می‌باشد. همچنین هاشمی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای MODIS و بررسی کاربری زمین، ارتفاع، آلبدو، پوشش گیاهی و شاخص نفوذناپذیری نشان دادند که جزایر حرارتی تهران دارای نوسان مکانی، زمانی و فصلی است.

در مطالعات انجام شده عموماً به بررسی دمای سطحی زمین در یک منطقه پرداخته شده است و کل محدوده شهری به عنوان یک محیط انسان ساخت در مدل‌ها بررسی شده است. در این پژوهش صرفاً به بررسی ساختارهای کاربری زمین در محیط انسان ساخت پرداخته شده است و اثرات کاربری زمین با منشا انسانی را در دمای سطحی در دو منطقه شهری (منطقه ۱ و ۲۱ شهر تهران) با قابلیت‌های متفاوت طبیعی و مصنوع پرداخته شده است و مقطع عرضی دمای سطحی در دو منطقه ارائه شده است که در آن تنش‌های حرارتی در انطباق با کاربری‌ها تحلیل شده است. به طوری که ابتدا تصویر ماهواره‌ای لندست پردازش شده و دمای سطحی هر دو منطقه استخراج گردیده است. در مرحله بعد با روی هم گذاری لایه کاربری اراضی و تصویر پردازش شده میانگین دما، حداکثر و حداقل دما در سلولهای ۶۰ در ۶۰ که کاربریها را به خود اختصاص داده تعیین شده است.

مبانی نظری

شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل توازن انرژی شهری، آلبدو و جزایر حرارتی می‌باشند

توازن انرژی شهری: دانش در مورد تعادل انرژی سطوح در مکان تلقی می‌شود به عبارتی دیگر بررسی تمام ورودی‌ها و خروجی‌های انرژی شهر را بر اساس مدل‌های شبیه سازی شده را شامل می‌شود (Oke, 1987) Boundary Layer Climates.

جزایر حرارتی شهری (UHI): به عنوان یکی از مشکلات عمده در قرن ۲۱ مطرح شده برای انسان که در نتیجه شهرنشینی و صنعتی شدن تمدن بشر ایجاد شده است. میزان زیادی از حرارت تولید شده ساختارهای شهری ناشی از مصرف و بازتابش اشعه خورشیدی و از منابع گرما انسانی هستند که از عوامل اصلی UHI به شمار می‌آید (Ahmed Memon, Leung and Chunho, 2008, 120).

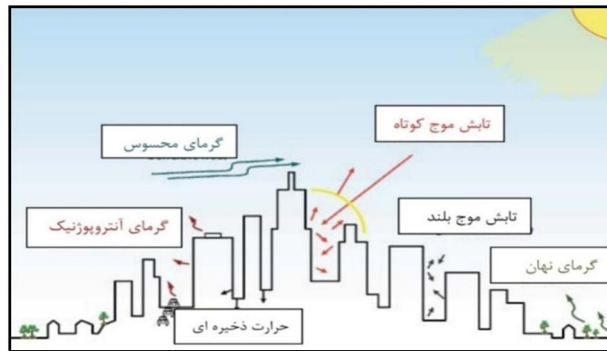
بر اساس مفهوم و مدل کمی ارائه شده توسط Oke (1988)، توازن انرژی شهری شامل شار تابشی جذبی و انعکاسی موج کوتاه (K) و موج بلند (L) شارهای محسوس آشفته (Q_H) و نهفته (Q_E) اتمسفر و انرژی ذخیره شده یا پخش شده از زیر لایه (ΔQ_S) می‌باشد. علاوه بر شارهای حرارتی فوق، انرژی حرارتی دیگری که در شهر تولید می‌شود حرارت ایجاد شده توسط فعالیت‌های انسانی از قبیل اتومبیل‌ها، دستگاه‌های تهویه حرارتی، کارخانه‌ها و دیگر منابع ساخت بشر که در افزایش بودجه انرژی شهری بسیار تأثیرگذار می‌باشد که به گرمای آنتروپژنیک معروف می‌باشد (Sailor and Lu, 2004; Grimmond, 1992) و با (Q_F) نشان داده می‌شود.

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S$$

$$Q^* = K \downarrow - K \uparrow + L \downarrow - L \uparrow = K^* + L^*$$

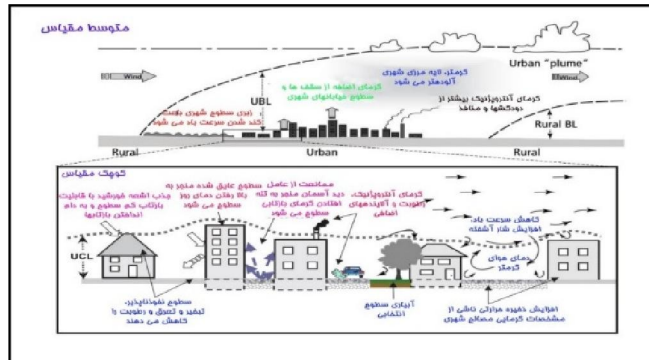
میزان توازن تابشی خالص Q^* ممکن است مثبت باشد و به معنی آن است که انرژی رسیده به سطح بیشتر از انرژی از دست رفته است، یا منفی باشد و به معنی آن است که انرژی از دست رفته بیشتر از انرژی رسیده است. از جمله عوامل دیگری که در معادله توازن انرژی سطوح شهری تأثیر گذار می‌باشد، میزان آلبدو^۱ است.

آلبدو: ضریب بازگشت یا انعکاس نور خورشید است (Hall 2004). میزان قدرت انعکاس سطوح را بیان می‌کند و به جنس مواد، رنگ و رطوبت سطح وابسته است. و میزان آن از صفر تا یک برای اجسام متغیر می‌باشد. اجسامی که نور خورشید را صد در صد بازتاب می‌دهند دارای آلبدو ۱ و سایر متغیر می‌باشد (Akbari)، (Pomerantz and Taha 2001). برای مثال آسفالت ۵ تا ۲۰ درصد، بتون ۱۰ تا ۳۵ درصد، سنگ ۲۰ تا ۳۵ درصد و خاک (مرطوب تا خشک) دارای ۵ تا ۴۰ درصد آلبدو می‌باشند (Oke)، (Boundary Layer Climates 1987).



شکل ۱: گداختگی تابشی و تأثیر شهرها (Institute 2017)

¹. Albedo



شکل ۲: توازن انرژی در شهر (Rami 2019)

همانطور که سطح در کل شهر داغتر می‌شود، در مجموع دمای هوای محیط افزایش می‌یابد. این پدیده تحت عنوان جزایر حرارتی شهری شناخته می‌شود و می‌تواند دمای هوا و سطح را در شهر ۲-۸ درجه فارنهایت بالا ببرد (Oke, 1987). Boundary Layer Climates. با توجه به گزارش آژانس حفاظت محیط (EPA)، در روزهای گرم تابستان هوای شهر می‌تواند ۱۰-۲ درجه فارنهایت گرمتر از حومه آن باشد (www.unenvironment.org 2020). شدت جزایر حرارتی شهری بسته به فصل، تابش خورشید و ویژگی‌های شهر می‌تواند بین ۰ تا ۷ درجه سانتیگراد تغییر کند (Pan 2015). تمایل شهرها در نمایش درجه حرارت بالاتر نسبت به محیط اطرافشان اولین بار توسط Luke Howard در سال ۱۸۳۳ ذکر شد (Golden 2004). مشاهدات جزایر حرارتی سطحی (با استفاده از سنجنده‌های ماهواره‌ای) برای اولین بار در سال ۱۹۷۲ گزارش شده است (Jiang et al. 2018). بعد از آن، ترکیبات متنوع سنجنده سکو (ماهواره، هواپیما و میدانی) برای مشاهدات از راه دور جزایر حرارتی سطحی، یا دمای سطحی شهری که در جزایر حرارتی سطحی شهری تأثیر دارند، استفاده شده است (علوی پناه ۱۳۸۳، ۳۸).

از بین بردن پوشش گیاهی و نشان دادن لایه‌های خاک عریان، آلودگی را افزایش می‌دهد و باعث کاهش ذخیره آب و خاک می‌شود. رطوبت کمتر در سطح به معنی کاهش جریان گرمای نهفته است، که منجر به افزایش دمای سطح می‌شود. از سوی دیگر، افزایش آلودگی باعث از دست دادن تابش خالص می‌شود. در این هوا تشکیل ابر و بارش غیرممکن خواهد بود و خشکسالی افزایش خواهد یافت (McGuffie and Henderson-Sellers 2005)، (29). در سطح شهرها مورفولوژی و ارتباط بین ارتفاع ساختمانها و عرض معابر در شکل‌گیری جزایر حرارتی تأثیرگذار می‌باشد به طوری که مطالعات اوک (۱۹۸۱) و دالوین و بوژنت (۲۰۱۵) و علیجانی و همکاران (۱۳۹۶) این موضوع را تأیید می‌نمایند. هر چقدر تراکم ساختمانی بیشتر باشد نور خورشید به

وسيله ساختمانها جذب و بعد از تشعشع در طرف مقابل به وسيله بناها و سازه‌های ديگر مجدداً جذب يا در اصطلاح به دام می‌افتد و اين امر باعث افزایش دما در آن منطقه می‌شود.

بسیاری از شهرها در سراسر جهان، در جزیره گرمایی شهری یا (UHI) حضور دارند، این جزیره گرمایی شهری در هر موقعیت جغرافیایی موجود است و ممکن است در طول روز یا شب به عنوان عملکرد تعادل حرارتی محلی رخ دهد. در جزیره گرمایی شهری مصرف انرژی برای خنک کردن افزایش می‌یابد، تقاضای مصرف برق را در دوره تابستان افزایش می‌دهد، تبادل حرارتی داخل ساختمان و در فضای باز را کاهش می‌دهد، و گرما را افزایش می‌دهد. آلودگی‌های مضر مانند اوزون تروپوسفریک را افزایش می‌دهد و بر وضعیت سلامت جمعیت شهری که آسیب پذیرتر هستند تأثیر جدی دارد. طراحی ضعیف شهری می‌تواند تأثیرات تغییرات آب و هوایی را افزایش دهد (Akbari et al. 2016). این در حالی است که در اجلاس زمین یا کنفرانس ریو (۱۹۹۲) در برزیل مفهوم توسعه پایدار با ملاحظه محیط زیست، پایداری اکولوژیکی و اقتصادی مطرح گردید. توجه به جزایر حرارتی و تلاش برای کاهش آن در راستای اهداف توسعه پایدار می‌باشد زیرا از یک طرف به دنبال کاهش مصرف انرژی به خصوص سوخته‌های فسیلی با طرح مباحث شبیه فرم شهری پایدار، معماری سبز، برنامه‌ریزی کاربری زمین بهینه و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر از طرف دیگر با کاهش مصرف انرژی و ارائه راهکارهایی جهت بهینه سازی آن در واقع در هزینه تأمین انرژی صرفه جوی شده و بر سلامت جامعه به خصوص کاهش آلاینده‌ها و عوامل تشدید کننده آن که منجر به بیماری‌های پوستی و تنفسی متعددی می‌گردد تأثیرگذار است بنابراین ارتباط تنگاتنگی بین این مفهوم و سه بعد محیط زیست، اجتماع و اقتصاد در مباحث توسعه پایدار مشاهده می‌شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش یک مطالعه کمی است که در دو بخش نظری و عملی انجام شده است. بر حسب هدف، تحقیق از نوع کاربردی دسته‌بندی می‌گردد. در بخش نظری از مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی و تحلیل محتوای نظری استفاده شده است و در بخش عملی با استفاده از داده‌های ماهواره لندست و نرم‌افزار Erdas پردازش تصویر صورت گرفته و دمای سطحی استخراج شده و در مرحله بعد با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی دمای سطحی محاسبه شده با کاربری زمین انطباق و مقایسه گردیده است. داده‌های ماهواره لندست ۷ سنجنده ETM^+ برای منطقه تهران مورد استفاده قرار گرفته، این سنجنده دارای ۶ باند مرئی و مادون قرمز نزدیک و دو باند گرمایی و یک باند پنکوماتیک است، قدرت تفکیک سنجنده در باندهای غیرگرمایی

۳۰ متر و در باند گرمایی ۶۰ متر است و هر ۱۶ روز یکبار از یک منطقه مشخص زمین عبور می‌کند.

منطقه مورد مطالعه

شهر تهران از نظر جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است، مساحتی در حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع را در بر گرفته و در پهنه‌ای بین دو وادی کوه و کویر در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه‌های البرز گسترده شده است که از سمت جنوب به کوه‌های ری و بی‌بی‌شهربانو و دشت‌های هموار شهریار و ورامین می‌رسد (۱۰۶۰ متر ارتفاع) و از شمال، به واسطه رشته کوه‌های البرز (۱۷۰۰ متر ارتفاع)، محصور گردیده است. شهر تهران دارای ۲۲ منطقه شهرداری می‌باشد. در این پژوهش مناطق ۱ و ۲۱ مورد بررسی قرار می‌گیرد. منطقه ۱ در شمال شهر تهران و در مجاور کوه‌های البرز واقع شده است و دارای وسعتی بالغ بر ۴۵۷۳٫۳ هکتار و جمعیتی معادل ۳۷۹۹۶۲ نفر و همچنین میانگین ارتفاع از سطح آبهای آزاد این منطقه ۱۶۴۱ متر می‌باشد. منطقه ۲۱ در جنوب غرب شهر تهران و در مجاور دشت واقع شده است و ۵۱۹۶ هکتار وسعت و ۱۵۹۷۹۳ نفر جمعیت دارد میانگین ارتفاع این منطقه از سطح آبهای آزاد ۱۲۱۷ متر می‌باشد.

منطقه ۱ شهر تهران همانطور که در شکل شماره ۵ مشخص می‌باشد دارای کارکرد مسکونی می‌باشد و عمده‌ترین کاربری در آن کاربرهای مسکونی و خدمات مرتبط با آن می‌باشد. فعالیت‌های جاری در این کاربری‌ها دارای عملکرد خدمات رسان به واحدهای مسکونی می‌باشد و دمای تولید شده در این منطقه عموماً ناشی از شبکه حمل و نقل شهری، جذب گرما توسط ساختمانها و فشردگی بافت شهری می‌باشد. منطقه ۲۱ همانطور که در شکل شماره ۷ ارائه شده است دارای عملکرد صنعتی و نظامی باشد. گرمای تولید شده در این منطقه بیشتر جنبه فعالیت‌های صنعتی و نظامی و حمل و نقل وابسته به آن را دارد.

نتایج و بحث

در این بخش به بررسی و پردازش داده‌ها در مناطق ۱ و ۲۱ شهر تهران پرداخته می‌شود و دمای سطحی آن استخراج می‌گردد:

استخراج دمای سطحی از تصویر سنجنده ETM ماهواره لندست ۷: برای استخراج دمای سطحی این تصویر از باند ۲-۶ (High Gain) با قدرت تفکیک ۶۰ متر استفاده شد این باند

برای تحصیل و تعیین تفاوت‌های دمایی میان پدیده‌های شهری پیچیده مناسب است؛ چرا که امکان آنالیز دقیق و مؤثر محیط شهری را می‌دهد (Stathopoulou and Cratalis, 2007).
محاسبه دمای روشنایی: بر اساس پیشنهاد Landsat Project Science Office (2002)، تصحیحات داده‌های تصویر حرارتی به صورت زیر انجام می‌شود: تبدیل ارزش‌های رقمی اعداد باند ۶ به رادیانس طیفی با استفاده از معادله (۱):

$$L(\lambda) = Gain * DN + Bias \quad \text{معادله (۱)}$$

$$Gain = (Lmax - Lmin) / 255$$

DN = بر اساس هیستوگرام تصویر

$$Lmin = Bias$$

مقدار $Gain$ و $Bias$ از $Headerfile$ تصاویر استخراج گردیده است.

محاسبه گسیل مندی سطح: توان تشعشعی یا گسیل مندی نسبت بین گسیلش از یک شیء به گسیلش از یک جسم سیاه در دمای ثابت را گویند. منظور از جسم سیاه ماده‌ای است فرضی که همه انرژی الکترومغناطیسی فرودی بر خودش را جذب می‌کند و تمامی انرژی در واحد سطح را (هر طول موجی برای هر دمایی) به صورت گرما ساطع می‌کند (Mulligan, 1980). مقدار گسیل مندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی سطح مورد نیاز است چرا که دمای روشنایی به دست آمده از معادله (۱) دمایی است که جسم سیاه به منظور تولید رادیانس معلوم در طول موج معلوم (۱۱,۵ میکرومتر) دارد. عدم انجام تصحیحات گسیل مندی منبع عمده خطا در تخمین درجه حرارت سطوح است. از آنجا که سطح زمین ترکیبی است از پوشش‌های اراضی مختلف، تصحیحات دیگری نیز با توجه به طبیعت پوشش‌های اراضی سطح مورد نیاز است. یکی از روش‌های مؤثر برای تخمین دمای سطح که می‌تواند استفاده شود مدل ترکیبی درصد پوشش است. با این فرض که خاک و پوشش گیاهی مقدار گسیل مندی معلوم دارند و با توجه به درصد پوشش خود ترکیب می‌شوند (Sobrino and Liang Li, 2001). مقدار درصد پوشش گیاهی با استفاده از $NDVI$ محاسبه می‌شود. در این روش از آستانه گذاری $NDVI$ استفاده می‌شود.

$$0.2 > NDVI \quad \text{الف}$$

در این مورد پیکسل مربوط است به خاک خشک و میزان گسیل مندی آن از ارزش‌های انعکاسی ناحیه قرمز طیف به دست می‌آید. مقدار گسیل مندی خاک بر اساس آنالیز کتابخانه‌ای نمونه‌های خاک به دست آمده است. مقدار میانگین آن برای باند حرارتی لندست ۰,۹۷۸ می‌باشد.
 (ب) $0.5 < NDVI$

پیکسل‌های با ارزش NDVI بزرگتر از ۰,۵ مناطق با پوشش گیاهی کامل و مقدار ارزش ثابت برای گسیل‌مندی ۰,۹۸۵ تخمین زده شده است.

$$0,2 \leq NDVI \leq 0,5 \quad \text{ج}$$

در این مورد پیکسل ترکیبی است از پدیده‌های مختلف و مقدار گسیل‌مندی با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d_\varepsilon \quad \text{معادله (۲)}$$

ε_v = گسیل‌مندی پوشش گیاهی

ε_s = گسیل‌مندی خاک

P_v = درصد پوشش گیاهی که با استفاده از معادله (۳) محاسبه می‌شود

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right]^2 \quad \text{معادله (۳)}$$

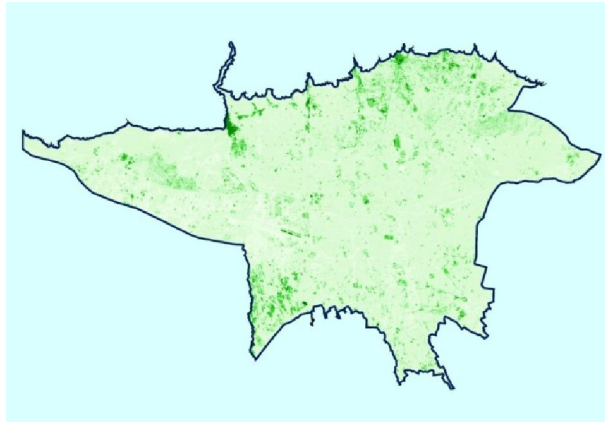
$$NDVI_{\max} = 0.5$$

$$NDVI_{\min} = 0.2$$

d_ε = اثر توزیع هندسی سطوح طبیعی و همچنین انعکاس درونی آنها را نشان می‌دهد. برای سطوح هموار این ترم قابل اغماض است، اما برای سطوح ناهمگن و همچنین سطوح ناهموار به صورت تقریبی با استفاده از معادله (۴) به دست می‌آید.

$$d_\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - P_v)F\varepsilon_v \quad \text{معادله (۴)}$$

F = ضریب شکل است که مقدار میانگین آن با فرض توزیع هندسی متفاوت سطوح، ۰,۵۵ می‌باشد.



شکل ۳: میزان پوشش گیاهی در شهر تهران (نگارندگان)

جدول ۳: رتباط بین پوشش گیاهی و میانگین دمای سطحی

میزان پوشش گیاهی	سطح پوشش گیاهی	مساحت		دما			
		(مترمربع)	درصد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
کم ↓ زیاد	-۰,۳۵ _ -۰,۶۳	۲۰۹۱۷۳۰۰	۳,۴	۳۰,۲	۴۸,۸۴	۴۴,۳۳	۳,۱۶
	-۰,۲۹ _ -۰,۳۵	۳۱۳۴۴۷۰۰۷	۵۱,۲۳	۳۰,۱	۴۸,۸۴	۴۲,۹۳	۲,۶۹
	-۰,۲۳ _ -۰,۲۹	۱۳۸۰۳۲۹۹۲	۲۲,۵۶	۲۶,۰۰	۴۸,۸۴	۴۱,۷۹	۲,۷۱
	-۰,۱۷ _ -۰,۲۳	۵۴۲۹۱۵۰۰	۸,۸۷	۲۶,۷۶	۴۸,۸۴	۴۱,۰۹	۲,۹۷
	-۰,۱۱ _ -۰,۱۷	۳۱۳۸۳۰۰۰	۵,۱۳	۲۶,۷۶	۴۸,۸۴	۴۰,۵۷	۳,۰۲
	-۰,۰۵ _ -۰,۱۱	۱۸۷۵۴۵۰۰	۳,۰۷	۲۶,۷۶	۴۸,۸۴	۴۰,۰۶	۳,۱۷
	۰,۰۱ _ -۰,۰۵	۱۱۹۸۱۴۰۰	۱,۹۶	۲۶,۷۶	۴۸,۸۴	۳۹,۶۸	۳,۲۸
	۰,۰۷ _ ۰,۰۱	۸۳۵۲۷۵۰	۱,۳۷	۲۷,۰۴	۴۸,۸۴	۳۹,۱۹	۳,۴۹
	۰,۱۳ _ ۰,۰۷	۵۸۹۶۹۵۰	۰,۹۶	۲۷,۰۴	۴۸,۸۴	۳۸,۷۱	۳,۵۹
	۰,۱۹ _ ۰,۱۳	۳۸۱۵۳۴۰	۰,۶۲	۲۸,۱۲	۴۸,۸۴	۳۸,۲	۳,۷۳
	۰,۲۵ _ ۰,۱۹	۲۳۸۴۲۸۰	۰,۳۹	۲۸,۱۲	۴۸,۸۴	۳۷,۹۴	۴,۰۸
	۰,۳۱ _ ۰,۲۵	۱۶۳۶۳۳۰	۰,۲۵	۲۸,۳۹	۴۸,۸۴	۳۶,۸۳	۴,۵۲
	۰,۳۷ _ ۰,۳۱	۸۶۶۸۶۰	۰,۱۴	۲۸,۶۶	۴۸,۸۴	۳۶,۷۳	۴,۴۸
	۰,۴۳ _ ۰,۳۷	۱۲۳۳۶۷	۰,۰۲	۲۵,۴۱	۴۸,۸۴	۳۶,۴۲	۴,۳۸
۰,۵ _ ۰,۴۳	۶۹۰۸۵,۶	۰,۰۱	۳۰	۴۵,۷۹	۳۶,۰۹	۵,۴	

مأخذ: نگارندگان

محاسبه NDVI

برای محاسبه NDVI از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک استفاده شد تا شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده حساب شود. همچنین میزان NDVI با استفاده از ماهواره لندست به صورت معادله (۵) محاسبه می‌شود.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad \text{معادله (۵)}$$

$$NDVI = (band4 - band3) / (band4 + band3)$$

در نهایت پس از انجام تصحیحات بر روی تصویر حرارتی و محاسبه گسیل‌مندی، دمای سطح زمین با استفاده از معادله (۶) محاسبه می‌شود.

$$T_s = BT / \{1 + [(\lambda BT / \rho) * \ln \varepsilon]\} \quad \text{معادله (۶)}$$

$$BT = \text{دمای روشنایی}$$

$$\lambda = \text{طول موج رادیانس ساطع شده (۱۱,۵ میکرومتر)}$$

$$\rho = hc/k$$

$$h = \text{ثابت پلانک (} 6.626 \times 10^{-34} \text{ jsec)}$$

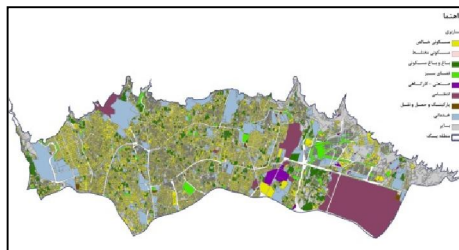
$$C = \text{سرعت نور (} 2.998 \times 10^8 \text{ m/sec)}$$

$$K = \text{ثابت استفان بولتزمن (} 5.67 \times 10^{-8} \text{ wm}^{-2} \text{ k}^{-4} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ j/k)}$$

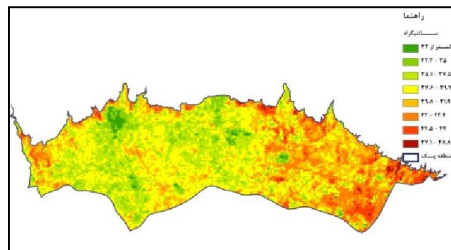
$$\varepsilon = \text{گسیل مندی (توان تشعشی)}$$

در مرحله پایانی تبدیل داده‌ها، تغییر واحد از درجه کلوین به درجه سانتیگراد با معادله (۷) صورت می‌گیرد:

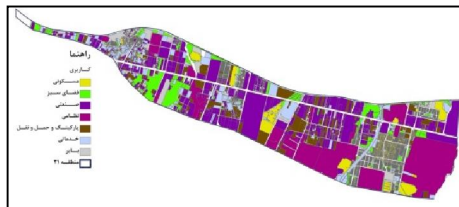
$$\text{Celsius} = \text{Kelvin} - ۲۷۳.۱۵ \quad \text{معادله (۷)}$$



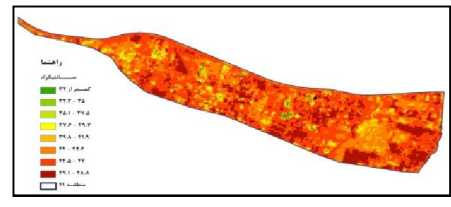
شکل ۵: کاربری زمین منطقه ۱ تهران (نگارندگان)



شکل ۴: دمای سطحی منطقه ۱ تهران (نگارندگان)



شکل ۷: کاربری زمین منطقه ۲۱ تهران (نگارندگان)



شکل ۶: دمای سطحی منطقه ۲۱ تهران (نگارندگان)

چنانچه در تصاویر شماره ۴ و ۶ مشاهده می‌شود، دمای سطحی مناطق ۱ و ۲۱ استخراج گردیده است. با مقایسه دو منطقه به وضوح تفاوت دمای سطحی را می‌توان مشاهده کرد. با توجه به جدول شماره ۱ دما سطحی در چهار دامنه طبقه‌بندی شده، طبقه کمتر از ۳۵ درجه که نشان دهنده کمترین دما در هر دو منطقه می‌باشد، در منطقه یک ۷,۱ درصد و در منطقه ۲۱ تنها ۰,۷ درصد از کل سطح را در بر می‌گیرد، طبقه ۳۵-۴۰ که دمای نسبتاً مناسب در آن دوره زمانی را نشان می‌دهد، در منطقه ۱ حدود ۵۷,۲ درصد از کل منطقه و در منطقه ۲۱ تقریباً

۳,۴ درصد را در بر می‌گیرد. طبقه ۴۵-۴۰ که نشان دهنده مناطق نسبتاً گرم می‌باشد، در منطقه ۱ حدود ۳۲ درصد و در منطق ۲۱ وسعتی معادل ۴۱,۲ درصد را نشان می‌دهد، طبقه ۵۴-۴۸ درجه که سطوح داغ مناطق را ارائه می‌دهد، در منطقه یک تنها ۳,۷ درصد ولی در منطقه ۲۱ بیش از ۵۴ درصد از کل منطقه را دربر می‌گیرد.

جدول ۲: مقایسه دمای سطحی مناطق ۱ و ۲۱ تهران

دما (سانتیگراد)	منطقه ۱		منطقه ۲۱	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد
کمتر از ۳۵	۳۲۴,۴	۷,۱	۳۵,۳	۰,۷
۳۵-۴۰	۲۶۱۲,۷	۵۷,۲	۱۷۴,۸	۳,۴
۴۰-۴۵	۱۴۶۴	۳۲	۲۱۳۷,۲	۴۱,۲
۴۵-۴۸	۱۶۸,۷	۳,۷	۲۸۴۴,۳	۵۴,۸

مأخذ: نگارندگان

موقعیت قرارگیری این دو منطقه در شهر تهران می‌تواند دلیلی بر این اختلاف دما باشد. منطقه ۱ در شمال شهر تهران و در مجاورت کوه‌های البرز واقع شده که از نظر ارتفاعی نسبت به منطقه ۲۱ در ارتفاع بالاتری از سطح دریا قرار دارد ولی منطقه ۲۱ در جنوب غربی شهر و در مجاورت دشت قرار گرفته است. نقش و عملکرد هر کدام از این مناطق تأثیر بسزایی در میزان جذب حرارت خورشید دارد. منطقه ۱ منطقه کوهستان، طبیعت، منطقه تفریحی و مناطق باغ و باغ مسکونی و تا حدی نظامی می‌باشد در جهت دیگر منطقه ۲۱، منطقه صنعت، انبارداری، کارگاهی و نظامی می‌باشد. جدول (۵-۳) سطوح کاربری‌ها و میانگین دمای سطحی هر دو منطقه را به تفکیک نشان می‌دهد. ۹,۲ درصد از سطح منطقه ۱ را کاربری فضای سبز با میانگین دمای سطحی ۳۷ درجه در بر گرفته در حالی که تنها ۶,۷ درصد از سطح منطقه ۲۱ به این کاربری اختصاص یافته است و دمای سطحی آن ۳۹ درجه می‌باشد، حدود ۲۶,۷ درصد از سطح منطقه ۲۱ را صنایع و کارخانجات صنعتی با میانگین دمای سطحی ۴۴,۵ درجه سانتیگراد در بر گرفته و در منطقه ۱ تنها ۴۰ هکتار یا ۰,۸ درصد با میانگین دمای سطحی ۴۲ درجه شامل این نوع کاربری می‌شود. میزان سطوح پارکینگ و مراکز حمل و نقل در منطقه ۲۱، حدود ۷,۷ درصد و در منطقه ۱، شامل ۰,۳۸ درصد و میانگین دمای سطحی آن‌ها به ترتیب ۴۳ و ۳۹,۶ درجه سانتیگراد می‌باشد، پادگان‌ها و مناطق نظامی ۲۱,۵ درصد از سطح منطقه ۲۱ و با

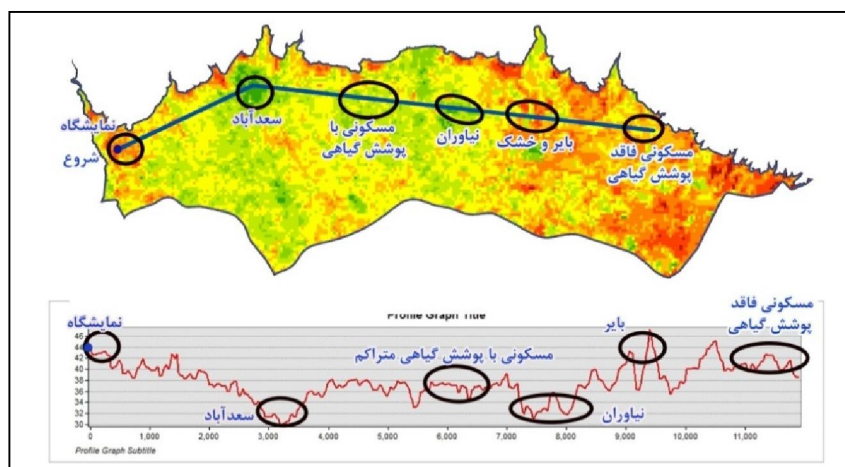
میانگین دمای سطحی ۴۳٫۵ تنها ۱۵ درصد از مساحت منطقه ۲۱ و با دمای سطحی ۴۱ درجه سانتیگراد را در بر می‌گیرد. حدود ۳۴ درصد از سطح منطقه ۱ را کاربری مسکونی در بر گرفته، در حالی که فقط ۸٫۸ درصد از سطح منطقه ۲۱ به این کاربری اختصاص یافته است و میانگین دمای سطحی آنها به ترتیب ۳۸ و ۴۰٫۵ می‌باشد. اراضی بایر و بدون استفاده ۱۲٫۶ درصد از سطح منطقه ۱ با میانگین دمای سطحی ۴۲ و ۵٫۱۴ درصد از مساحت منطقه ۲۱ را دمای سطحی ۴۳ درجه شامل می‌شود، سطوح معابر منطقه ۱ تقریباً ۸۱۶٫۵ هکتار (۱۷٫۸ درصد) و منطقه ۲۱ حدود ۷۸۰٫۶ هکتار (۱۵٫۰۲ درصد) می‌باشد. داغ‌ترین کاربری در منطقه ۱ را صنعتی و بایر با ۴۲ درجه سانتیگراد در بر می‌گیرد با توجه به اینکه اراضی بایر آن منطقه کوهستانی و فاقد پوشش گیاهی است باعث جذب حداکثری نور خورشید و در نتیجه افزایش دمای سطح می‌شود. خنک‌ترین کاربری در آن منطقه کاخ سعدآباد و نیاوران به دلایل وجود رطوبت و پوشش گیاهی وسیع در آن و عدم وسیع مصالحی مثل بتن و آسفالت می‌باشد. داغ‌ترین کاربری در سطح منطقه ۲۱ را کاربری‌های صنعتی در بر می‌گیرد با توجه فعالیت‌های صنعتی موجود در آن و همچنین مصالح مصنوع جاذب انرژی خورشیدی در کنار حرارت‌های تولید شده ناشی از فعالیت‌های انسانی باعث افزایش دمای سطحی آن کاربری شده است. خنک‌ترین کاربری در سطح این منطقه فضاهای سبز و پارک موجود در آن می‌باشد.

جدول ۳: بررسی میانگین دمای سطحی کاربری‌ها به تفکیک مناطق ۱ و ۲۱ شهر تهران

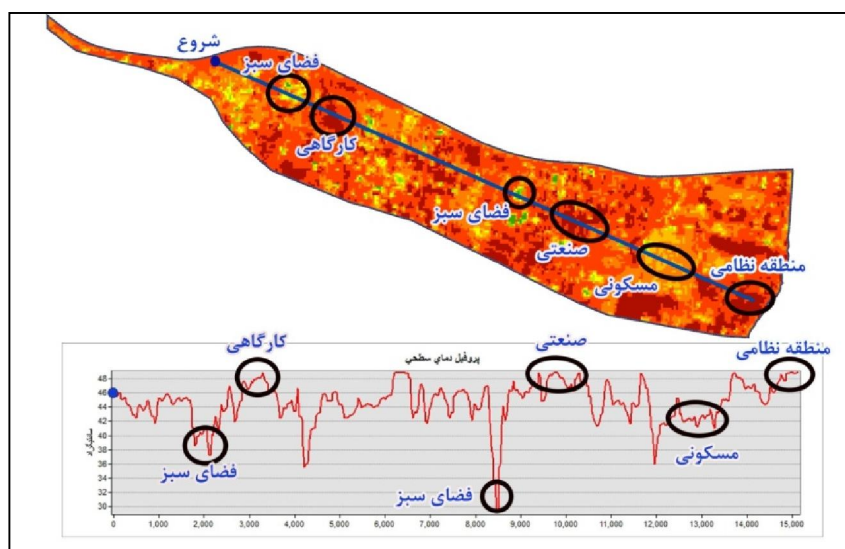
کاربری	منطقه ۱			منطقه ۲۱		
	هکتار	درصد	میانگین دمای سطحی	هکتار	درصد	میانگین دمای سطحی
بایر	۵۶۷٫۳	۱۲٫۶۰	۴۲	۲۶۷	۵٫۱۴	۴۳٫۵
خدماتی	۴۴۴	۹٫۷۱	۳۸٫۲	۴۲۴٫۵	۸٫۱۷	۴۲
مسکونی	۱۵۵۷	۳۴٫۰۶	۳۸	۴۶۱٫۵	۸٫۸۸	۴۰٫۵
نظامی	۶۹۶	۱۵٫۲۲	۴۱	۱۱۱۸	۲۱٫۵۲	۴۳٫۵
پارکینگ و حمل و نقل	۱۷٫۲	۰٫۳۸	۳۹٫۶	۴۰۱٫۵	۷٫۷۳	۴۳
سبز	۴۲۴٫۵	۹٫۲۸	۳۷	۳۵۰	۶٫۷۴	۳۹
صنعتی	۴۰	۰٫۸۹	۴۲	۱۳۹۱	۲۶٫۷۸	۴۴٫۵
معابر	۸۱۶٫۵	۱۷٫۸۵	۳۹	۷۸۰	۱۵٫۰۲	۴۲

مأخذ: نگارندگان

بعد از پردازش تصاویر و استخراج دمای سطحی محدوده مورد نظر پروفیل دمایی آنها ترسیم و نقاط یا مکانهایی که در فراز و فرود از نظر دمای سطحی قرار دارند شناسایی شده است به طوری که در منطقه یک چنانچه شکل ۸ نشان می‌دهد منطقه نیاوران و سعد آباد دارای دمایی به مراتب کمتر از محدوده نمایشگاه و اراضی بایر می‌باشد. همینطور پروفیل دمایی منطقه ۲۱ نشان می‌دهد که منطقه نظامی، صنعتی و کارگاهی دمای بالا و پارک و فضای سبز و منطقه مسکونی دارای پوشش گیاهی دارای دمای سطحی کمتری می‌باشد.



شکل ۸: میانگین دمای سطحی منطقه ۱ تهران (نگارندگان)



شکل ۹: میانگین دمای سطحی منطقه ۲۱ تهران (نگارندگان)

نتیجه گیری

یکی از راه‌های شناسایی دمای سطحی اراضی شهری استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش آنهاست. از آنجایی که اندازه پیکسل تصویر ماهواره لندست ۶۰ در ۶۰ متر می‌باشد با استخراج میزان پوشش گیاهی در یک پیکسل و میانگین دمای سطحی آن می‌توان برای توسعه شهر و تفکیک قطعات ضوابطی طرح کرد که حداقل پوشش گیاهی در واحد سطح جهت آسایش محیطی رعایت گردد. چنانچه در جدول ۳ نشان داده می‌شود می‌توان گفت در صورتی که یک پیکسل یا قطعه زمینی از شهر ۵۰ درصد آن را پوشش گیاهی در بر گرفته باشد، میانگین دما ۳۶،۰۹ درجه سانتیگراد و در حالیکه فاقد پوشش گیاهی باشد ۳۹،۱۹ درجه سانتیگراد حرارت دارا می‌باشد. این امر اختلاف دما را در دو قطعه دارای پوشش گیاهی و فاقد آنرا نشان می‌دهد. همچنین می‌توان با همپوشانی نقشه کاربری اراضی و تصویر پردازش شده دمای سطحی هر کاربری را استخراج و برای کاهش دما با توجه به وضع موجود راهکارهای مختلفی ارائه نمود. موارد زیر را می‌توان در جمع‌بندی پژوهش بیان نمود:

- ۱- با توجه به میزان سطح و سطوح کاربری‌های مختلف در هر دو منطقه علت اختلاف درجه حرارت این دو منطقه را می‌توان به صورت زیر عنوان کرد:
- ۲- وجود فضای سبز و پوشش گیاهی بیشتر در سطح منطقه ۱ انرژی خورشید را جذب می‌کند و در فرایند تبخیر و تعرق آن را از دست می‌دهد در نتیجه دمای کمتری نسبت به سطوح آسفالت و... دارد.
- ۳- کاربری صنعتی سطح وسیعی از منطقه ۲۱ را در بر گرفته، این مراکز علاوه بر اینکه خود در فرایند تولید باعث ایجاد حرارت می‌شوند معمولاً از فضای سبز کمتری برخوردارند و همچنین مصالح و پوشش سقف آنها انرژی خورشید را بیشتر جذب و کمتر انعکاس می‌دهند.
- ۴- پادگان‌ها و مناطق نظامی و پارکینگ و مراکز حمل و نقل در منطقه ۲۱ علاوه بر اینکه سطح وسیعی را در بر گرفته به دلیل استفاده زیاد از مصالحی مانند آسفالت و بتن و عدم پوشش گیاهی انرژی خورشید را بیشتر جذب می‌کنند و باعث گرم‌تر شدن بیشتر سطح می‌گردند.
- ۵- معابر موجود در سطح منطقه ۲۱ به دلیل شریانی بودن (بزرگراه مخصوص کرج و آزاد راه تهران-کرج) معمولاً حجم ترافیک بیشتری را دارا می‌باشد که به نوبه خود حرارت ناشی از سوخت‌های وسایل نقلیه باعث گرم‌تر شدن بیشتر هوا و در نتیجه سطح می‌گردد.

- ۶- اراضی بایر موجود در منطقه ۱ به دلیل آنکه در مجاورت کوه‌های البرز قرار دارد نسیم خنکی معمولاً آنها را نسبت به زمین‌های بایر منطقه ۲۱ خنکتر نگه می‌دارد و با توجه به اینکه تصویر در اوایل صبح گرفته شده دمای سطحی پایین‌تری را نشان می‌دهند.
- ۷- ناحیه مسکونی منطقه ۱ به صورت باغ مسکونی و با پراکندگی بیشتر که فضای سبز آنها را احاطه کرده نسبت به کاربری مسکونی منطقه ۲۱ که در مجاورت مراکز صنعتی قرار گرفته دارای درجه حرارت کمتری است.

منابع و مأخذ:

- ۱- اصغری سراسکانرود، صیاد، وهادی امامی. ۱۳۹۸. "پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ و OLI". تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ۱۹ (۵۳): ۱۹۵-۲۱۵.
- ۲- ازکیا، مصطفی. ۱۳۹۴. جامعه شناسی توسعه. تهران: کیهان.
- ۳- —. ۱۳۹۱. مقدمه‌ای بر جامعه شناسی توسعه روستایی. تهران: اطلاعات.
- ۴- ازکیا، مصطفی، حبیب الله زنجانی، سید محمد سید میرزایی، و هادی برغمندی. ۱۳۹۳. "بررسی سطح توسعه اجتماعی در شهر تهران". مطالعات توسعه اجتماعی ایران ۶ (۴): ۷-۲۱.
- ۵- اکبری، حسن، فرامرزهادوی، مهدی زمانی، و یوسف علیپور. ۱۳۹۵. "تعیین جهت‌های مناسب استقرار ساختمان جهت دریافت تابش خورشیدی در شهر زنجان". فصلنامه آمایش محیط ۹ (۳۳): ۱۵۵-۱۷۳.
- ۶- اکبری، هادی. ۱۳۷۹. بررسی الگوی توزیع درجه حرارت شهر تهران با استفاده از اطلاعات حرارتی لندست TM. تهران: پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
- ۷- بحرینی، سید حسین. ۱۳۷۷. فرآیند طراحی شهری. تهران: دانشگاه تهران.
- ۸- بحرینی، سید حسین، و رضا مکنون. ۱۳۸۰. "توسعه شهری پایدار: از فکر تا عمل". محیط شناسی ۲۷: ۴۱-۶۰.
- ۹- برنا، رضا. ۱۳۹۸. "مطالعه شاخص‌های زیست اقلیمی مؤثر بر آسایش انسان (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان)". فصلنامه آمایش محیط ۱۲ (۴۵): ۹۵-۱۱۸.
- ۱۰- بهرام سلطانی، کامبیز. ۱۳۸۷. مجموعه مباحث و روش‌های شهرسازی - محیط زیست. تهران: شهیدی، مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.
- ۱۱- پوردیهیمی، شهرام. ۱۳۹۰. زبان اقلیمی در طراحی محیط پایدار- مقیاس کلان و میانه. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.
- ۱۲- پیت، ریچارد، و الین ریچارد هاردویک. ۱۳۹۰. نظریه‌های توسعه. با ترجمه مصطفی ازکیا، اسماعیل رحمانپور و رضا صفری شالی. تهران: لویه.
- ۱۳- تودارو، مایکل. ۱۳۹۱. وسعه اقتصاد در جهان سوم. ۱۹. با ترجمه غلامعلی فرجادی. تهران: کوهسار.
- ۱۴- جمعه پور، محمود. ۱۳۹۲. برنامه‌ریزی محیطی و پایداری شهری و منطقه‌ای اصول، روش‌ها و شاخص‌های محیطی پاداری سرزمین. تهران: سمت.
- ۱۵- حسین زاده دلیر، کریم. ۱۳۸۵. برنامه‌ریزی ناحیه‌ای. پنجم. تهران: سمت.

- ۱۶- دشتکیان، کاظم، و محمدعلی دهقانی تفتی. ۱۳۸۶. "بررسی دمای سطح زمین در ارتباط با پوشش گیاهی و توسعه شهری با استفاده از سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در مناطق بیابانی، مطالعه موردی: منطقه یزد- اشکذر." پژوهش و سازندگی ۲۰ (۴): ۱۶۹-۱۷۹.
- ۱۷- دینی، علی. ۱۳۷۰. تفاوت کیفی مفهوم رشد و توسعه. جلد ۱. تهران: کتاب توسعه بهار.
- ۱۸- زاهدی اصل، محمد. ۱۳۸۱. مبانی رفاه اجتماعی. تهران: دانشگاه علامه طباطبائی.
- ۱۹- سن، آرماتیا. ۱۳۹۲. توسعه یعنی آزادی. با ترجمه سعید نوری نائینی. تهران: نشر نی.
- ۲۰- عزیزی، محمد مهدی. ۱۳۸۵. محله مسکونی پایدار. تهران: دانشکده هنرهای زیبا دانشگاه تهران.
- ۲۱- علوی پناه، سید کاظم. ۱۳۸۳. "کاربرد سنجش حرارتی از دور در مطالعات محیط زیست." محیط شناسی ۳۰ (۳۴): ۲۹-۳۸.
- ۲۲- فرشچی، رفیعه. ۱۳۸۸. "معماری در عصر تغییر اقلیم." صغه (دانشگاه شهید بهشتی) ۱۸ (۴۸): ۶۵-۷۸.
- ۲۳- قره باغیان، مرتضی. ۱۳۹۳. اقتصاد رشد و توسعه. تهران: نی.
- ۲۴- گریفین، کیث؛ کنلی، تری مک. ۱۳۷۵. تحقق استراتژی توسعه انسانی. تدوین توسط غلامرضا خواجه پور. تهران: موسسه پژوهش تأمین اجتماعی.
- ۲۵- گلکار، کوروش. ۱۳۷۹. "طراحی شهری پایدار در حاشیه کویر." هنرهای زیبا شماره هشتم.
- ۲۶- لهسایی زاده، عبدالعلی. ۱۳۹۳. جامعه شناسی توسعه. تهران: دانشگاه پیام نور.
- ۲۷- لهسایی زاده، عبدالعلی. ۱۳۸۰. "نابرابری و قشر بندی اجتماعی در ایران." علوم اجتماعی و انسانی (دانشگاه شیراز) ۱۶ (۲): ۲۴-۳.
- ۲۸- مجرد، فیروز، مهتاب ناصریه، و سیروس هاشمی. ۱۳۹۷. "بررسی تغییرات دوره‌ای و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه در شب و روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای." فیزیک زمین و فضا ۴۴ (۲): ۴۷۹-۴۹۴. doi: 10.22059/jesphys.10.22059.2018.247773,1006952
- ۲۹- محمودزاده، حسن، افسانه نقدبیشی، و سحر مومنی. ۱۳۹۷. "تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی." جغرافیا و مخاطرات محیطی ۲۷: ۱۰۵-۱۱۹.
- ۳۰- معروف نژاد، عباس، و شهلا قاسمی. ۱۳۹۶. "روند تغییرات دما با استفاده از روش من-کندال." فصلنامه آمایش محیط ۱۰ (۳۷): ۱۴۹-۱۶۶.
- ۳۱- مفیدی شمیرانی، سید مجید، و علی افتخاری مقدم. ۱۳۹۵. "توسعه پایدار شهری، دیدگاه‌ها و اصول اجرایی آن در کشورهای در حال توسعه." دانش نما ۲۰-۲۸.

- ۳۲- مفیدی، مجید؛. ۱۳۸۶. "پایداری و انرژی." توسعه شهری پایدار. تهران: دانشکده هنرهای زیبا.
- ۳۳- موسوی ثمرین، سید سعید. ۱۳۹۲. "نگاهی گذرا به اندیشه‌های دنیس گولت." جستارهای مبین ۱-۵.
- 34- Ahmed Memon, Rizwan, Dennis Y.C Leung, and Liu Chunho. 2008. "A review on the generation, determination and mitigation of." *Journal of Environmental Sciences* 120–128.
- 35- Akbari, H, M Pomerantz, and H Taha. 2001. "Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas." *Solar energy* (Elsevier BV) 295-310: 295-310. doi:10.1016/s0038-092x(00)00089-x.
- 36- Akbari, Hashem, Constantinos Cartalis, Denia Kolokotsa, Alberto Muscio, Anna Laura Pisello, Federico Rossie, Matheos Santamouris, Afroditi Synnefa, Nyuk Hien WONG, and Michele Zinzig. 2016. "Local Climate Change and Urban Heat Island Mitigation Techniques – The State of the Art." *Journal of Civil Engineering and Management* 22 (1): 1–16. doi:10.3846/13923730.2015.1111934.
- 37- Dhalluin, A ;Bozonnet, E. 2015. Urban heat islands and sensitive building design° A study in some French cities context, *Sustainable Cities and Society*, 19: 292 -299, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.009>.
- 38- Duncan, J.M.A., B. Boruff, A. Saunders, Q. Sun, J. Hurley, and M. Amati. 2019. "Turning down the heat: An enhanced understanding of the relationship between urban vegetation and surface temperature at the city scale." *Science of The Total Environment* 656: 118-128. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.223.
- 39- Golden, Jay S.. 2004. "The Built Environment Induced Urban Heat Island Effect in Rapidly Urbanizing Arid Regions – A Sustainable Urban Engineering Complexity." *Environmental Sciences* (Informa UK Limited) 1: 321-349. doi:10.1080/15693430412331291698.
- 40- Hall, Alex. 2004. "The Role of Surface Albedo Feedback in Climate." *Journal of Climate* 17 (7): 1550–1568. doi:10.1175/1520-0442(2004)017<1550:TROSAF>2.0.CO;2.
- 41- Institute, The Energy and Resources. 2017. "Urban Planning Characteristics to Mitigate Climate Change in context of Urban Heat Island Effect." The Energy and Resources Institute, Bangalore.

- 42- Jiang , Lu, Wenfeng Zhan, James Voogt, Limin Zhao, Lun Gao, Fan Huang, and Zhe Cai. 2018. "Remote estimation of Complete urban surface temperature using only directional radiometric temperatures." *Building and Environment* (Elsevier BV) 135: 224-236. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.005>.
- 43- McGuffie, Kendal, and Ann Henderson-Sellers. 2005. *A Climate Modelling Primer*. Vol. 3. England: John Wiley & Sons.
- 44- Mulligan, Joseph Francis. 1980. *Practical physics : the production and conservation of energy*. New York: McGraw-Hill.
- 45- Nurwanda, Atik, and Tsuyoshi Honjo. 2020. "The prediction of city expansion and land surface temperature in Bogor City, Indonesia." *Sustainable Cities and Society* 52. doi:10.1016/j.scs.2019.101772.
- 46- Oke, T.R. 1987. *Boundary Layer Climates*. Routledge.
- 47- Oke, T.R. 1988. "The urban energy balance." *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 12 (4): 471-508. doi:10.1177/030913338801200401.
- 48- Oke T.R. 1981. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*. 1(3):237-254, DOI: 10.1002/joc.3370010304.
- 49- Pan, Jinghu. 2015. "Area Delineation and Spatial-Temporal dynamics of urban heat island in Lanzhou City, China Using Remote Sensing Imagery." *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 111-127. doi:10.1007/s12524-015-0477-x.
- 50- Rami , Mousa. 2019. "Analysis of the pattern of surface temperature in Amman city." *International Journal of Planning ,Urban and Sustainable Development*. doi:10.13140/RG.2.2.22156.26246.
- 51- Sobrino, Jose, N Raissouni, and Zhao Liang Li. 2001. "A Comparative Study of Land Surface Emissivity Retrieval from NOAA Data." *Remote Sensing of Environment* (Elsevier) 75 (2): 256-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00171-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00171-1).
- 52- Stathopoulou, Marina I. , and Constantinos Cartalis. 2007. "Use of Satellite Remote Sensing in Support of Urban Heat Island Studies." *Advances in Building Energy Research* (Informa UK Limited) 203-212. <http://dx.doi.org/10.1080/17512549.2007.9687275>.
- 53- 2020. www.unenvironment.org. 1 29. <https://www.unenvironment.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/citi>.

-
- 54- Xiao, Jingfeng , and Aaron Moody. 2005. "A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA." *Remote Sensing of Environment* (Elsevier BV) 98: 237-250.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2005.07.011>