

Analysis of the Urban Geometry's Effects on Nocturnal Urban Heat Islands Using Remote Sensing and GIS (Case Study: Golestan town, District 22 of Tehran)

Hamid Motieyan^{1*}, Seyyed Hassan Hashemi Ashka²

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor, Department of Geomatics, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology (NIT), Babol, Iran.
2. MSc Student of GIS, Faculty of Engineering, Islamic Azad University (IAU), Ramsar Branch, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 01 June 2020

Revised: 14 August 2020

Accepted: 21 November 2020

Keywords:

Oke's model, Canyon, Urban geometry, GIS, Remote Sensing, Linear regression analysis.

ABSTRACT

Oke's model is one of the most successful models presented to simulate maximum nocturnal urban heat island's intensity (UHI) based on the urban canyons' aspect ratio parameter. The aspect ratio parameter is known as one of the indicators of urban geometry. Since this simulation requires various spatial and descriptive analyzes (especially topological analyzes), the use of geospatial information systems is inevitable. In this study, the efficiency of Oke's model is evaluated using regression analysis and land surface temperature (LST) calculated from ASTER data and single-channel algorithm (SCA), and a local model is presented to simulate the maximum nocturnal urban heat island intensity of the area of study. The coefficient of determination and correlation calculated based on regression analysis are 0.74 and 0.86, respectively. These quantities show a relatively strong linear relationship between the urban geometry index and nocturnal urban heat island's intensity and the significant effect of urban geometry on nocturnal urban heat island intensity. The root mean squared error (RMSE) and the mean absolute error (MAE) of the presented local model are ± 0.80 and 0.67, respectively, showing the acceptable accuracy of the presented local model in simulation of UHI intensity. Two-variable regression analysis shows a greater effect of the height of buildings on UHI intensity's changes compared to the width of the streets. The sign of the coefficients above shows this effect is increasing in terms of the height of the buildings and decreasing in terms of the width of the streets.

Cite this article: Motieyan, H., Hashemi Ashka, S. (2022). Analysis of the Urban Geometry's Effects on Nocturnal Urban Heat Islands Using Remote Sensing and GIS (Case Study: Golestan town, District 22 of Tehran). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(30), 51-68. DOI: 10.22111/jneh.2020.34497.1670



© Hamid Motieyan. Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2020.34497.1670

* Corresponding Author Email: h.motieyan@nit.ac.ir



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۳۰، زمستان ۱۴۰۰

تحلیل عامل هندسه شهری بر میزان شدت جزایر گرمایی شبانه شهرها با استفاده از سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرک گلستان، منطقه ۲۲ شهر تهران)

حمید مطیعان^{۱*}، سید حسن هاشمی اشکاء^۲

۱. استادیار گروه مهندسی نقشه برداری دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل (نویسنده مسئول)
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامسر

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	مدل اوکه یکی از موفق‌ترین مدل‌های ارائه شده در زمینه شبیه‌سازی بیشینه شدت جزیره گرمایی شبانه شهری بر اساس پارامتر نسبت منظر در کانیون‌های شهری است. این پارامتر به عنوان یکی از شاخص‌های هندسه شهری شناخته می‌شود. از آنجا که این شبیه‌سازی به تحلیل‌های مکانی و توصیفی گوناگون (به خصوص تحلیل‌های توپولوژیکی) نیازمند است، لذا استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی امری اجتناب‌ناپذیر است. در این مطالعه، کارایی مدل اوکه با استفاده از تحلیل رگرسیون و دمای سطح زمین محاسبه شده از داده‌های سنجنده استر و الگوریتم تک‌کاناله مورد ارزیابی قرار گرفته و یک مدل محلی برای شبیه‌سازی بیشینه شدت جزیره گرمایی شبانه کانیون‌ها در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. ضرایب تشخیص و همبستگی حاصل از تحلیل رگرسیون مدل محلی در کانیون‌های شهری به ترتیب ۰٫۷۴ و ۰٫۸۶ محاسبه شد که نشان‌دهنده وجود یک رابطه خطی نسبتاً شدید میان شاخص هندسه شهری و بیشینه شدت جزیره گرمایی و تأثیر قابل توجه هندسه شهری بر آن پدیده است. مقادیر خطای جذر میانگین مربعات و خطای متوسط حسابی حاصل از نتایج مدل محلی ارائه شده در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۰٫۸۰ ± و ۰٫۶۷ محاسبه شد که نشان‌دهنده دقت قابل قبول آن در شبیه‌سازی بیشینه شدت جزایر گرمایی شبانه شهری است. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون دو متغیره داده‌ها نشان می‌دهد ارتفاع متوسط ساختمان‌ها (با ضریب ۱٫۴۳) در مقایسه با عرض متوسط معابر (با ضریب ۰٫۳۵-)، تأثیر بیشتری را بر تغییرات شدت جزایر گرمایی شبانه شهری دارد. علامت ضرایب مذکور نشان می‌دهد این تأثیر در خصوص ارتفاع ساختمان‌ها افزایشی و در خصوص عرض معابر، کاهش‌ی است.
واژه‌های کلیدی: مدل اوکه، جزایر حرارتی شبانه، کانیون شهری، شاخص هندسه شهری، GIS، RS، تحلیل رگرسیون.	

استناد: مطیعان، حمید، هاشمی اشکاء، سید حسن. (۱۴۰۰). تحلیل عامل هندسه شهری بر میزان شدت جزایر گرمایی شبانه شهرها با استفاده از سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرک گلستان، منطقه ۲۲ شهر تهران). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۰(۳۰): ۶۸-۵۱. DOI: 10.22111/jneh.2020.34497.1670



© حمید مطیعان^{*}، سید حسن هاشمی اشکاء.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

در طی دهه‌های گذشته، رشد روز افزون جمعیت از یک سو و افزایش و تمرکز خدمات و امکانات در شهرها از سوی دیگر سبب شده تا پدیده مهاجرت از روستاها به شهرها افزایش یابد. در نتیجه رشد شهرنشینی و توسعه فضای فیزیکی و کالبدی شهرها، کاربری اراضی پیرامون آن‌ها تغییر یافته که این امر پیامدهای ناخوشایندی هم چون افت کیفیت محیط زیست و کاهش کیفیت زندگی را به همراه داشته است. ایجاد پدیده جزیره گرمایی شهری^۱ (UHI) از جمله این پیامدها است. در این پدیده، درجه حرارت جوی و سطحی مناطق شهری به واسطه شهرسازی و تغییر کاربری اراضی؛ نسبت به مناطق روستایی اطراف افزایش می‌یابد (لی و لیو^۲، ۲۰۰۸). افزایش دمای ناشی از این پدیده می‌تواند به ۱۲ درجه سانتی‌گراد نیز برسد (راث^۳، ۲۰۱۳). این پدیده از طریق افزایش مصرف انرژی، انتشار بالای آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای، تهدید سلامتی و آسایش ساکنان شهرها و کاهش کیفیت منابع آبی؛ بر محیط و کیفیت زندگی جامعه شهری تأثیرگذار است (اوکه^۴، ۱۹۸۲، آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده^۵، ۲۰۰۸). عوامل مختلفی هم چون تغییر کاربری اراضی، کاهش پوشش گیاهی، ویژگی‌های مصالح شهری، هندسه شهری و انرژی گرمایی ناشی از فعالیت ساکنان شهر در ایجاد و تشدید پدیده جزیره گرمایی شهری موثر هستند. در میان این عوامل، هندسه شهری (هم‌چون چیدمان، ارتفاع، سطح اشغال و سطح نمای ساختمان‌ها و همچنین اندازه عرض و جهت معابر) به علت تأثیرگذاری بر تبادل تابشی میان زمین و آسمان و جریان هوا، نقشی اساسی را در شکل‌گیری و تشدید پدیده مذکور ایفاء می‌کند. در نظر گرفتن این عامل در طراحی‌های معماری-شهرسازی یکی از راه‌کارهای مهم در کاهش اثرات منفی پدیده UHI در مناطق شهری محسوب می‌شود. لذا، تهیه مدل محلی شبیه‌سازی این پدیده بر مبنای شاخص‌های هندسی شهری ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در انجام تحلیل‌های مکانی مرتبط با هندسه شهری و نیز بهره‌گیری از قابلیت‌های سنجش از دور در جهت به دست آوردن دمای مناطق مورد نظر به صورت پیوسته و با هزینه پایین‌تر، اجتناب ناپذیر است. اوکه (۱۹۸۱) با تهیه یک مدل فیزیکی ساده و شبیه‌سازی سرعت سرمایش شبانه محیط‌های روستایی و شهری در شرایط ایده‌آل، ضمن ارائه مدل عددی پیش‌بینی شدت جزیره گرمایی بر اساس شاخصی از هندسه، نشان داد هندسه شهری پارامتری مرتبط در ایجاد جزایر گرمایی شبانه محسوب می‌شود. یانگ^۶ و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه خود، به ارزیابی اقلیمی هندسه سه‌بعدی شهری با استفاده از ابزارهای تحلیلی موجود در سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. در این مطالعه، شاخص ضریب دید آسمان به عنوان یکی از شاخص‌های بیان‌گر هندسه شهری با استفاده از ابزارهای تحلیلی فضایی GIS محاسبه شد و بر اساس آن، طرح‌های گوناگون هندسی از نظر عملکرد اقلیمی مورد مقایسه قرار گرفت. در این مطالعه، مزایای استفاده از ابزارهای تحلیل مکانی GIS مانند افزایش سرعت و دقت در انجام محاسبات و امکان به‌کارگیری این ابزارها در ارزیابی اقلیمی‌های شهری در مرحله طراحی نشان داده شد. ناکاتا^۷ و همکاران

^۱ -Urban Heat Islands

^۲ -Li and Liu

^۳ -Roth

^۴ -Oke

^۵ -United States Environmental Protection Agency

^۶ -Yang

^۷ -Nakata

(۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸) در پژوهش خود با استفاده از مدل اوکه (۱۹۸۱) به بررسی تأثیر هندسه شهری بر روی شدت جزیره گرمایی شبانه در منطقه سائو خوزه دو ریو پرتو واقع در ایالت سائوپائولوی برزیل پرداخته و با استفاده از اندازه‌گیری‌های مستقیم دمای هوا، ضمن تأیید نقش موثر هندسه شهری در شکل‌گیری جزایر گرمایی شبانه و ارائه یک مدل محلی از بیشینه شدت جزیره گرمایی شبانه شهری، کاربرد GIS در این زمینه را نشان دادند. صادقی نیا و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه خود، تغییرات فضایی-زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران در بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ را با استفاده از فناوری از سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و بر اساس روش‌های آمار کلاسیک، استخراج و مورد بررسی قرار دادند. صادقی نیا و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی دیگر با استفاده از تصاویر چند زمانه لندست^۱ TM مربوط به بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ و الگوریتم تک‌باندی کین، ضمن محاسبه دمای سطح زمین؛ تغییرات زمانی و فضایی دمای زمین شهر تهران را بر اساس تحلیل خودهمبستگی فضایی عمومی و محلی مورد بررسی قرار دادند. علیجانی و همکاران (۱۳۹۶) در یک پژوهش، به شبیه‌سازی و محاسبه شدت جزیره گرمایی منطقه کوچه باغ شهر تبریز بر اساس هندسه شهری پرداختند که این تحقیق با استفاده از معادله عددی- نظری اوکه در محیط GIS صورت پذیرفت. همچنین، رفیعیان و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه خود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و استر^۲ به برآورد تغییرات فضایی- زمانی شدت جزیره حرارتی مناطق بیست و دوگانه شهر نشهر تهران در سال‌های ۸۴ تا ۹۲ پرداختند. هاشمی دره‌بادامی و همکاران (۱۳۹۸) نیز در یک پژوهش، نوسانات مکانی و زمانی روزانه و فصلی جزیره حرارتی سطحی کلان‌شهر تهران را با استفاده از محصولات چند زمانه سنجنده مادیس مورد بررسی قرار دادند. همان‌طور که مشاهده می‌شود؛ تحقیقات گوناگونی در زمینه برآورد دمای سطح زمین و تغییرات مکانی-زمانی آن انجام شده است. درحالی‌که در خصوص عوامل تأثیرگذار آن؛ به ویژه پارامترهای هندسی، بررسی، مدل‌سازی و ارزیابی کمی صورت نگرفته است. لذا این تحقیق با هدف بررسی تأثیر هندسه شهری بر روی بیشینه شدت جزایر گرمایی و مدل‌سازی آن بر اساس شاخص هندسه شهری در محدوده مورد مطالعه صورت گرفته است. بدین‌منظور از المان‌های هندسه شهری، داده‌های حرارتی سنجنده استر و قابلیت‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی استفاده شده که تاکنون مشابه آن در هیچ یک از مطالعات پیشین داخلی و خارجی صورت نگرفته است و از نوآوری‌های این پژوهش به حساب می‌آید.

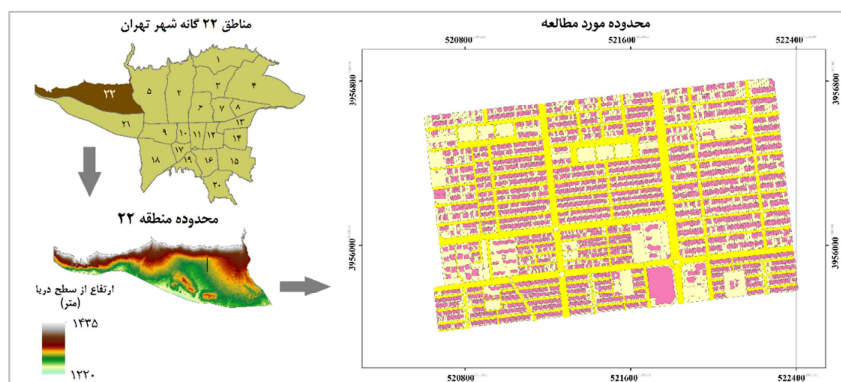
داده‌ها و روش‌ها

الف- محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، قسمتی از شهرک گلستان و مشتمل بر ۱۹۲ کانیون شهری می‌باشد که در منطقه ۲۲ شهر تهران واقع شده است. این محدوده با مساحت ۲۲۳ هکتار از سمت شمال به کوچه‌های بنفشه نهم و سروستان هشتم، از طرف شرق به بلوار کاشان، از سمت جنوب به بلوار هوا نیروز و از طرف غرب به بلوار گلها منتهی می‌شود. ارتفاع متوسط این محدوده تقریباً ۱۳۰۲ متر از سطح دریا است. شکل (۱) موقعیت این محدوده را نمایش می‌دهد.

^۱ -Landsat

^۲ -ASTER



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه.

ب- داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتست از:

* شیب فایل ساختمان‌ها، پارسل‌ها و محور معابر: این لایه‌ها که از نقشه‌های شهری ۱:۲۰۰۰ سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران (فاوا) تهیه شده‌اند؛ در شبیه‌سازی بیشینه شدت جزایر گرمایی^۱ (UHI_{max}) و ارزیابی کارایی مدل ارائه‌شده در این خصوص مورد استفاده قرار می‌گیرند.

* داده‌های سنجنده استر: از این داده‌ها برای محاسبه دمای سطح زمین^۲ (LST) و بیشینه شدت جزایر گرمایی کانیون‌های شهری در محدوده مورد مطالعه استفاده می‌شود. این داده‌ها از طریق وبسایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده^۳ (USGS) قابل دسترس است. در این تحقیق از ۷ تصویر متعلق به بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ استفاده شده که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) آمده است.

* داده‌های هواشناسی: این داده‌ها که در محاسبه LST محدوده مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفته و شامل اطلاعات دما و رطوبت نسبی ایستگاه هواشناسی نزدیک به منطقه مطالعاتی (ایستگاه مهرآباد) در زمان‌های تصویربرداری سنجنده استر می‌باشد؛ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است.

جدول ۱: مشخصات داده‌های استر مورد استفاده در تحقیق

ردیف	تاریخ تصویربرداری	زمان تصویربرداری (UTC)	نوع داده	پوشش ابر	ردیف	مسیر
۱	۲۰۱۶/۰۹/۰۵	۱۸:۴۷	شبانه	۰	۲۰۹	۲۹
۲	۲۰۱۷/۰۹/۱۷	۱۸:۴۱	شبانه	٪۱	۲۰۹	۲۹
۳	۲۰۱۷/۰۹/۱۹	۰۷:۲۶	روزانه	۰	۳۵	۱۶۴
۴	۲۰۱۷/۰۹/۲۴	۱۸:۴۷	شبانه	٪۸	۲۰۹	۲۹
۵	۲۰۱۷/۱۰/۱۹	۱۸:۴۰	شبانه	۰	۲۰۹	۲۹
۶	۲۰۱۸/۰۶/۲۵	۱۸:۳۵	شبانه	٪۱	۲۰۹	۲۹
۷	۲۰۱۹/۰۸/۱۳	۱۸:۳۵	شبانه	٪۱۹	۲۰۹	۲۹

^۱-Maximum Urban Heat Islands

^۲-Land Surface Temperature

^۳-The United States Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov>)

ج- کاربرد سنجش از دور در مطالعات جزایر گرمایی

بررسی‌ها نشان می‌دهد شدت UHI با نزدیک شدن به غروب خورشید افزایش یافته و پس از گذشت چند ساعت از غروب آفتاب (در حدود ساعت ۸ تا ۱۰ شب) به بیشترین مقدار خود می‌رسد. لذا این پدیده، اساساً یک پدیده شبانه محسوب می‌شود (راث، ۲۰۱۳). همچنین مطالعات بیان‌گر آن است که دمای سطح زمین به گونه‌ای غیرمستقیم و قابل توجه؛ بر روی درجه حرارت هوا تأثیر بوده و دمای هوا در هنگام شب از همان الگوی دمای سطح زمین پیروی می‌کند (آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، ۲۰۰۸). لذا در این مطالعه، از دمای سطح زمین حاصل از سنجنده‌های حرارتی و فناوری سنجش از دور، به عنوان یک تقریب مناسب از درجه حرارت هوا استفاده شده است.

ماهواره‌های گوناگونی در خصوص تهیه و ارائه داده‌های حرارتی مورد نیاز از سطح زمین وجود دارد که در جدول (۲) مشخصات تعدادی از آن‌ها آمده است. با توجه به ماهیت شهری محدوده مورد مطالعه و زمان وقوع بیشینه شدت جزایر گرمایی لازم است ماهواره‌ای انتخاب شود که سنجنده آن در مقایسه با سایر سنجنده‌ها، حتی‌الامکان دارای قدرت تفکیک مکانی بالاتری بوده و زمان تصویربرداری آن نیز به زمان وقوع UHI_{max} نزدیک‌تر باشد. پس از بررسی مشخصات سنجنده‌های مندرج در جدول (۲) با توجه به این‌که مشخصات سنجنده استر در مقایسه با سایر سنجنده‌ها به معیارهای مورد نظر این تحقیق نزدیک‌تر بوده، از داده‌های این سنجنده در انجام این پژوهش استفاده می‌گردد.

جدول ۲: مشخصات تعدادی از ماهواره‌های دارای سنجنده‌های حرارتی

نام ماهواره	نام سنجنده	زمان تقریبی تصویربرداری (UTC)	توان تفکیک مکانی (متر)
لندست ۸	OLI/TIRS	۷:۱۵	۱۰۰
سنتینل ۳	SLSTR	۷:۰۰ و ۱۷:۰۰	۱۰۰۰
ترا	MODIS	۱۰:۳۰ و ۲۴:۰۰	۱۰۰۰
آکوا	MODIS	۱:۰۰ و ۱۵:۰۰	۱۰۰۰
ترا	ASTER	۷:۳۰ و ۱۸:۴۵	۹۰

د- محاسبه دمای سطح زمین (LST)

در این مطالعه، برای محاسبه دمای سطح زمین از الگوریتم تک‌کاناله^۲ (SCA) استفاده گردید. در این الگوریتم از باندهای مرئی، مادون قرمز و مادون قرمز حرارتی سنجنده استر استفاده و اثرات پوشش‌های مختلف سطح زمین همراه با اثرات اتمسفر در نظر گرفته می‌شود. در این روش، دمای سطح زمین مطابق رابطه (1) محاسبه می‌شود (خی‌منز و سوپرینو،^۳ ۲۰۱۰):

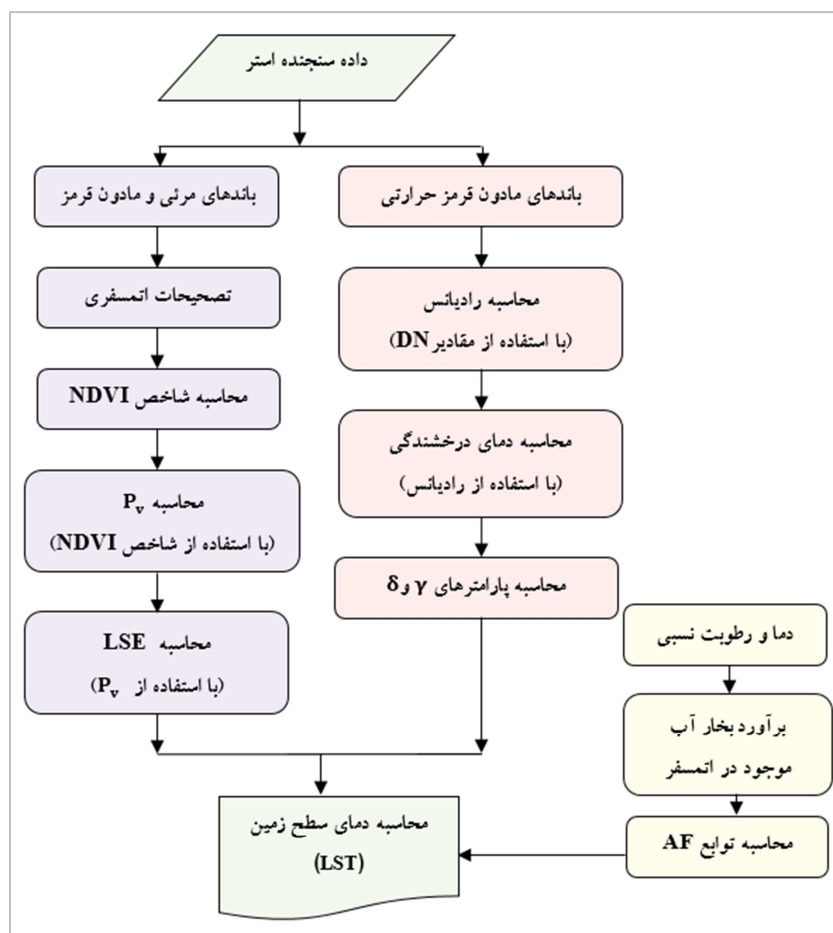
$$LST = \gamma \left[\frac{1}{\varepsilon} (\psi_1 L_{sen} + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta \quad (1)$$

¹ -Coordinated Universal Time

² -Single-Channel Algorithm

³ -Jimenez-Munoz & Sobrino

در معادله مذکور LST دمای سطح زمین، L_{sen} رادیانس یا تابش طیفی سنجنده، ε گسیل‌مندی، γ و δ متغیرهای وابسته به تابع پلانک هستند. همچنین ψ_1 ، ψ_2 و ψ_3 توابع اتمسفری^۱ هستند. شکل (۲) فلوچارت محاسبه LST را نشان می‌دهد.



شکل ۲: فلوچارت مراحل محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم SCA. منبع: نگارندگان

به منظور محاسبه LST لازم است شدت تابش امواج مادون قرمز حرارتی در تصاویر باین مقادیر به رادیانس تبدیل گردد. بدین منظور از رابطه (۲) استفاده می‌شود:

$$L_{sen} = (DN - 1) * UCC \quad (2)$$

در این معادله L_{sen} رادیانس، DN مقدار درجه خاکستری ثبت شده و UCC ضریب تبدیل واحد برای باند مادون قرمز حرارتی است که مقدار آن برای باند شماره ۱۳ برابر با ۰,۰۰۵۶۹۳ است (آبرامس^۲ و همکاران، ۲۰۰۲). دمای درخشندگی مطابق روابط (۳) تا (۵) محاسبه می‌شود (خی‌منز و سوبرینو، ۲۰۱۰):

^۱ -Atmospheric functions (AFs)

^۲ -Abrams et al.

$$T_{sen} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (۳)$$

$$K_1 = C_1 / \lambda^5, \quad C_1 = 1.19104 \cdot 108 \text{ w. m}^2 \quad (۴)$$

$$K_2 = C_2 / \lambda, \quad C_2 = 1.43877 \cdot 104 \mu\text{m. K} \quad (۵)$$

در این معادلات T_{sen} دمای درخشندگی و L_λ رادیانس اندازه‌گیری شده در سنجنده، λ طول موج باند می‌باشد. ضرایب K_1 و K_2 متناظر با باند ۱۳ به ترتیب: ۱۳۴۹،۸۲ و ۸۶۵،۶۵ است. مطابق شکل (۳) برای محاسبه گسیل مندی (LSE) لازم است مقادیر شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و نسبت پوشش گیاهی (P_V) محاسبه شود. شاخص NDVI مطابق رابطه (۶) قابل محاسبه است (ون دوگریند، اوه^۱، ۱۹۹۳):

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (۶)$$

در معادله فوق NIR و RED به ترتیب مقدار بازتابش باندهای مادون قرمز و قرمز سنجنده ASTER هستند. P_V نیز توسط رابطه (۷) محاسبه می‌شود (کارلسون و ریپلی،^۲ ۱۹۹۷):

$$P_V = \left[\frac{NDVI-NDVI_s}{NDVI_v-NDVI_s} \right]^2 \quad (۷)$$

در این رابطه $NDVI_v$ و $NDVI_s$ به ترتیب مقادیر حد آستانه شاخص NDVI برای پوشش گیاهی و خاک است که مقادیر آن‌ها بر اساس هیستوگرام NDVI به ترتیب ۰،۵ و ۰،۲ می‌باشد. پس از محاسبه P_V گسیل مندی مربوط به باند ۱۳ مطابق رابطه (۸) محاسبه می‌شود (خی‌منز و سوپرینو،^۳ ۲۰۰۶):

$$\varepsilon_{13} = 0.968 + 0.022 P_V \quad (۸)$$

جهت محاسبه توابع اتمسفری ψ_1 ، ψ_2 و ψ_3 موجود در رابطه (۲)، از رابطه (۹) استفاده می‌شود (خی‌منز و سوپرینو،^۳ ۲۰۰۳، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰):

$$\begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.06524 & -0.05878 & 1.06576 \\ -0.55835 & -0.75881 & 0.00327 \\ -0.00284 & 1.35633 & -0.43020 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega^2 \\ \omega \\ 1 \end{pmatrix} \quad (۹)$$

پارامتر رطوبت موجود در اتمسفر (ω) از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود (لیو و ژانگ^۳، ۲۰۱۱):

$$\omega = 0.0981 * \left\{ 10 * 0.6108 * \exp \left[\frac{17.27 * (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)} \right] * rh \right\} + 0.1679 \quad (۱۰)$$

در این رابطه T_0 دمای ایستگاه (بر حسب کلون) و rh رطوبت نسبی هوای اندازه‌گیری شده در ایستگاه (درصد)، متناسب با زمان تصویربرداری سنجنده است. نهایتاً، پارامترهای γ و δ موجود در رابطه (۱) مطابق روابط (۱۱) و (۱۲) محاسبه می‌شود (خی‌منز و سوپرینو،^۳ ۲۰۰۶):

$$\gamma \approx \frac{T_{sen}^2}{K_2 L_{sen}} \quad (۱۱)$$

^۱ - Van de Griend & Owe

^۲ - Carlson & Ripley

^۳ - Lio and Zhang

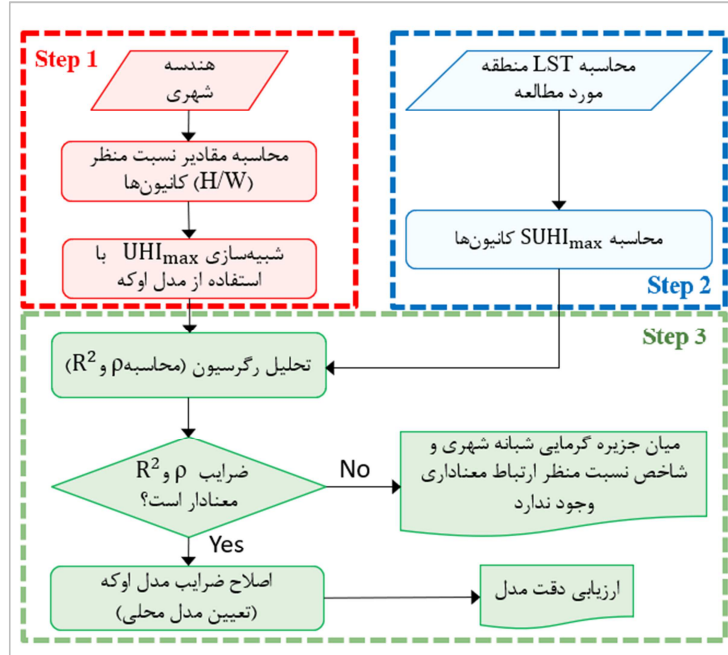
$$\delta \approx T_{sen} - \frac{T_{sen}^2}{K_2} \quad (12)$$

ه- بررسی ارتباط هندسه شهری با جزیره گرمایی

از بین عوامل ایجاد پدیده جزایر گرمایی شهری، هندسه شهری از طریق تأثیرگذاری بر جریان باد، جذب انرژی و توانایی سطوح در انتشار امواج بلند به فضا؛ نقش قابل توجهی را ایفاء می‌کند. در میان مطالعات انجام شده در زمینه ارتباط هندسه شهری و تشکیل جزایر گرمایی، مطالعه صورت گرفته توسط اوکه بسیار برجسته است. اوکه با انجام یک مجموعه آزمایش بر روی مدل‌های فیزیکی و مقایسه نتایج حاصله با اندازه‌گیری‌های واقعی و بر اساس یک مجموعه استنتاجات ریاضی، مدل عددی-تجربی پیش‌بینی بیشینه شدت جزیره گرمایی شهری را به صورت رابطه (۱۳) ارائه نمود:

$$UHI_{max} = 7.45 + 3.97 \ln(H/W) \quad (13)$$

در این رابطه UHI_{max} بیشینه شدت جزیره گرمایی (بر حسب درجه سانتی‌گراد) و H/W نسبت ارتفاع متوسط ساختمان‌ها به عرض متوسط معبر (فاصله ساختمان‌ها از یکدیگر) در یک کانیون شهری است (اوکه، ۱۹۸۱). با توجه به این‌که پدیده UHI اساساً پدیده‌ای شبانه محسوب می‌شود، لذا رابطه (۱۳) یک مدل پیش‌بینی بیشینه شدت جزیره گرمایی شبانه شهری را ارائه می‌دهد. همچنین مدل اوکه، یک مدل عددی مبتنی بر آزمایش با مدل‌های فیزیکی است؛ انتظار می‌رود به مکان و موقعیت جغرافیایی خاصی محدود نبوده و در هر محیط شهری واقعی قابل استفاده باشد. صرفاً لازم است این مدل قبل از به‌کارگیری در هر منطقه مورد مطالعه، مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گیرد و در صورت نیاز، ضرایب آن اصلاح شود. شکل (۳) مراحل انجام ارزیابی کارایی مدل مذکور را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد. این کار شامل سه مرحله است. در مرحله نخست، مقادیر UHI_{max} کانیون‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل اوکه محاسبه می‌شود. در گام آخر، مقادیر مذکور برای کانیون‌های آموزشی با یکدیگر مقایسه شده و تحت تحلیل رگرسیون قرار می‌گیرند. پس از محاسبه تابع رگرسیون، ضرایب تشخیص همبستگی (ρ) و تشخیص (R^2) دو دسته داده مذکور مورد بررسی قرار می‌گیرد. در صورتی‌که این ضرایب قابل قبول باشد، از تلفیق مدل اوکه با معادله رگرسیون حاصله؛ ضرایب مدل تعدیل شده اوکه (مدل محلی) در محدوده مورد مطالعه محاسبه می‌شود. در نهایت با استفاده از مدل محلی مقادیر UHI_{max} کانیون‌های محدوده چک محاسبه و با مقادیر متناظر حاصل از تصاویر LST مقایسه می‌گردد و خطای جذر میانگین مربعات ($RMSE$) و متوسط حساسی (MAE) برای این کانیون‌ها محاسبه می‌شود. این مقادیر، دقت مدل محلی را نشان می‌دهد.

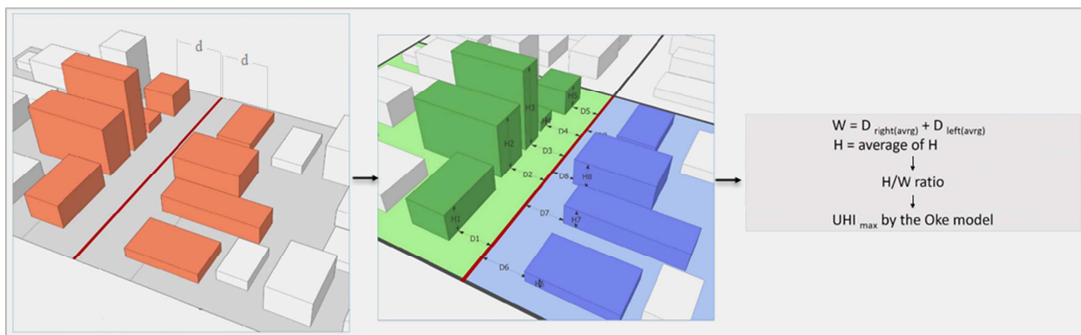


شکل ۳: فلوچارت به کارگیری و ارزیابی کارایی مدل اوکه. منبع: نگارندگان

برای محاسبه و شبیه‌سازی UHI_{max} در هر کانیون مطابق شکل (۴) عمل می‌شود. مطابق شکل (۴) با تعریف شعاع جستجو در هر کانیون، آن دسته از ساختمان‌هایی که در مجاورت محور کانیون‌ها قرار گرفته‌اند؛ انتخاب و ارتفاع متوسط آن‌ها و عرض متوسط محور کانیون بر اساس آن‌ها، با استفاده از روابط (۱۴) و (۱۵) محاسبه می‌شود و سپس در رابطه (۱۳) جایگذاری می‌گردد:

$$D_{right} = \frac{\sum_1^m D_r}{m} \quad , \quad D_{left} = \frac{\sum_1^n D_l}{n} \quad , \quad W = D_{right} + D_{left} \quad (14)$$

$$H = \frac{\sum_1^s H_i}{s} \quad , \quad s = m + n \quad (15)$$



شکل ۴: مراحل محاسبه حداکثر شدت جزیره گرمایی کانیون‌ها با استفاده از مدل اوکه. منبع: ناکاتا و همکاران، ۲۰۱۸ با اندکی تغییر

در روابط فوق، D_{right} و D_{left} به ترتیب فواصل ساختمان‌های واقع در سمت راست و چپ کانیون از محور آن و W و H به ترتیب متوسط عرض معبر و ارتفاع ساختمان‌های کانیون است. انجام این محاسبات در یک محدوده وسیع سخت و زمان‌بر است. لذا برای انجام آن می‌توان از قابلیت‌های GIS استفاده نمود. در انجام این تحقیق، به منظور محاسبه UHI_{max} از یک مدل اصلی و یازده زیرمدل تهیه‌شده در محیط مدل‌بیلدر استفاده شد.

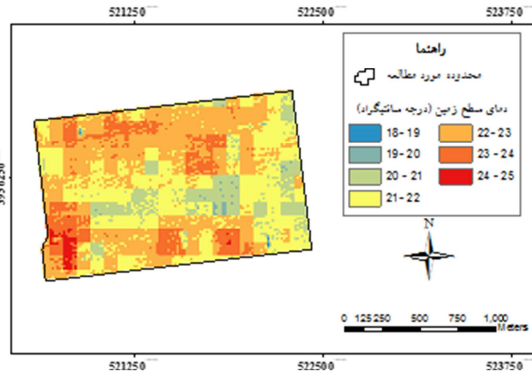
نتایج و بحث

داده‌های سنجنده ASTER در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ با استفاده از الگوریتم SCA در محیط نرم‌افزارهای Envi و Matlab مورد پردازش قرار گرفت که تصاویر LST آن‌ها در شکل (۵) نمایش داده شده است. با اجرای مدل‌های تهیه شده در محیط مدل‌بیلدر؛ مقادیر نسبت‌منظر و UHI_{max} مربوط به ۱۳۴ کانیون آموزشی در محدوده مورد مطالعه (بر اساس مدل اوکه) و مقادیر $SUHI_{max}$ متناظر آن‌ها با استفاده از تصاویر LST محاسبه شد. در جدول (۳) اطلاعات تعدادی از این کانیون‌ها ارائه شده است.

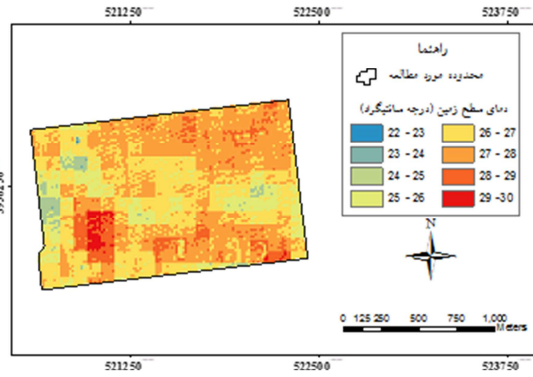
جدول ۳: پارامترهای کانیون‌های ناحیه آموزشی

کانیون	H/W	UHI_{max}	SUHI						$SUHI_{max}$
			۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۷	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	
			۰.۹	۰.۹	۰.۹	۱.۰	۰.۶	۰.۸	
			۰.۵	۱۷	۲۴	۱۹	۲۵	۱۳	
۱۶۸	۰/۴۱	۳/۹۲	۰/۹۲	۱/۸۹	۲/۱۲	۲/۸۲	۳/۵۳	۲/۶۳	۳/۵۳
۲۳۹	۲/۵۴	۱۱/۱۶	۳/۵۷	۱/۹۳	۴/۴۳	۲/۶۰	۱/۰۸	۴/۰۹	۴/۴۳
۵۲	۲/۲۵	۱۰/۶۶	۰/۲۸	۴/۱۲	۲/۰۴	۴/۶۲	۳/۲۲	۳/۴۹	۴/۶۲
۱۸۳	۱/۱۲	۷/۸۹	۰/۲۲	۳/۲۳	۱/۸۱	۳/۵۰	۲/۵۹	۲/۴۴	۳/۵۰
۱۱۹	۰/۲۲	۱/۴۶	۲/۲۸	۲/۲۶	۳/۰۶	۱/۷۲	۱/۳۸	۱/۰۱	۳/۰۶
۲۴۸	۰/۳۵	۳/۲۴	۰/۳۴	۳/۵۹	۱/۸۰	۳/۸۸	۱/۷۷	۳/۷۳	۳/۸۸
۱۸۱	۰/۸۱	۶/۶۴	۱/۱۳	۲/۳۲	۱/۸۴	۲/۹۹	۱/۹۷	۳/۱۳	۳/۱۳
۲۶۱	۰/۲۷	۲/۲۷	۲/۷۰	۱/۲۷	۲/۸۹	۰/۷۷	۱/۲۳	۳/۲۷	۳/۲۷

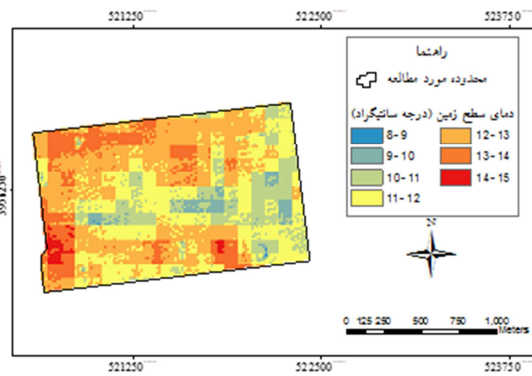
شکل (۶) نمودار ارتباط مقادیر $SUHI_{max}$ و UHI_{max} کانیون‌های محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود الگوی کاملاً مشخصی در میان مقادیر فوق وجود ندارد. از نظر تئوری، کانیون‌های مشابه می‌بایست دارای رفتار مشابهی بوده و شدت جزیره گرمایی آن‌ها یکسان باشد؛ در حالی که شکل (۶) این موضوع را نشان نمی‌دهد و مقادیر مختلفی برای آن‌ها به دست آمده است. علت این موضوع را می‌توان به کامل نبودن الگوریتم برآورد LST و همچنین سایر خطاهای اندازه‌گیری منتسب نمود. از نظر تئوری، کانیون‌های مشابه می‌بایست دارای رفتار مشابهی بوده و شدت جزیره گرمایی آن‌ها یکسان باشد؛ در حالی که شکل (۶) این موضوع را نشان نمی‌دهد و مقادیر مختلفی برای آن‌ها به دست آمده است. علت این موضوع را می‌توان به کامل نبودن الگوریتم برآورد LST و همچنین سایر خطاهای اندازه‌گیری منتسب نمود.



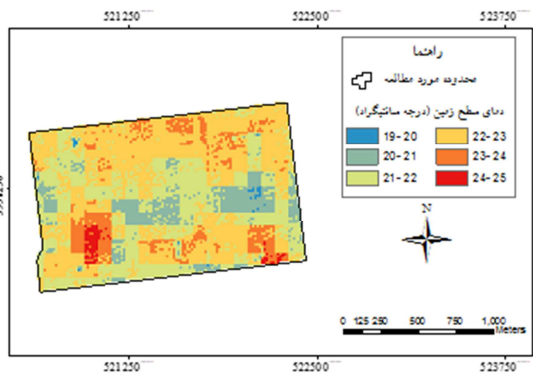
تاریخ: ۲۰۱۷/۰۹/۱۷



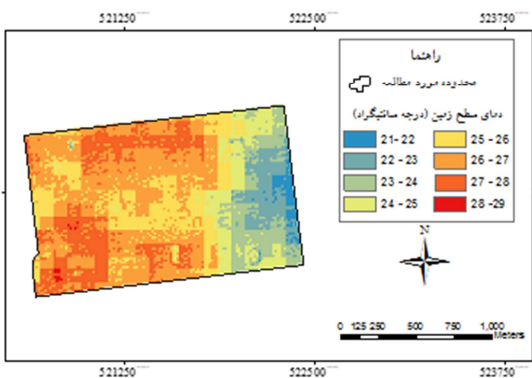
تاریخ: ۲۰۱۶/۰۹/۰۵



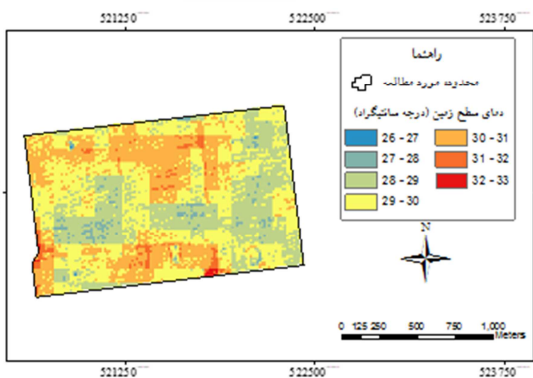
تاریخ: ۲۰۱۷/۱۰/۱۹



تاریخ: ۲۰۱۷/۰۹/۲۴

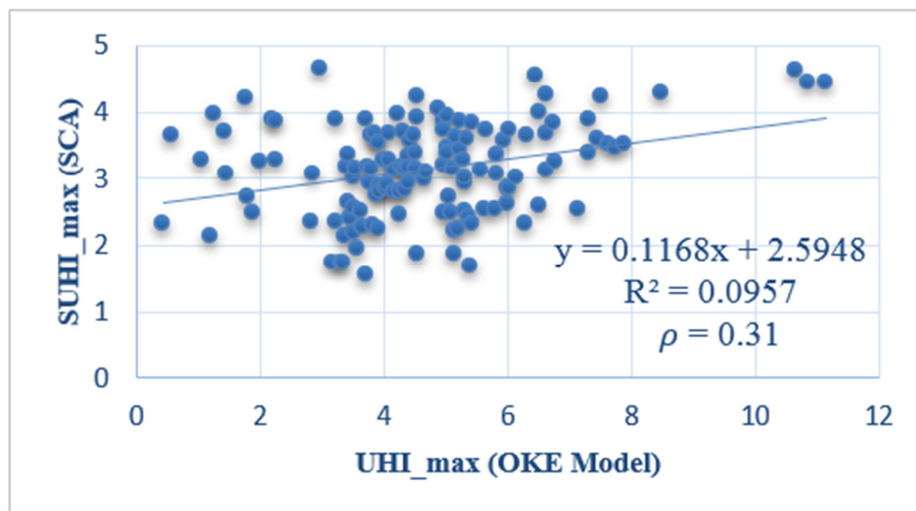


تاریخ: ۲۰۱۹/۰۸/۱۳



تاریخ: ۲۰۱۸/۰۶/۲۵

شکل ۵: تصاویر LST حاصل از روش SCA در محدوده مورد مطالعه، به تفکیک تاریخ تصویربرداری. منبع: نگارندگان



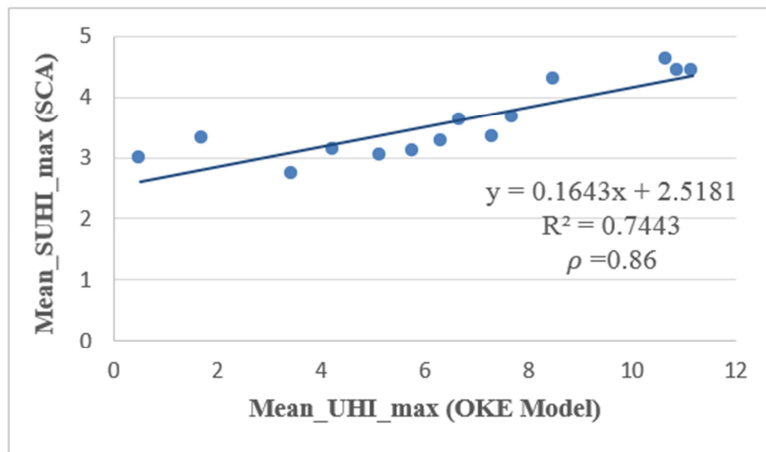
شکل ۶: نمودار ارتباط مقادیر $SUHI_{max}$ و UHI_{max} در کانیون‌های آموزشی. منبع: نگارندگان

لذا در ادامه تحقیق به منظور بررسی بهتر موضوع، کانیون‌ها بر اساس مقادیر H/W در ۱۴ کلاس مختلف طبقه‌بندی و مقادیر متوسط $SUHI_{max}$ و UHI_{max} برای هر طبقه محاسبه و نهایتاً تابع رگرسیون خطی میان آن‌ها تعیین شد. جدول (۴) اطلاعات مربوط به این طبقه‌بندی را نشان می‌دهد. شکل (۷) نیز نمودار رگرسیون خطی به‌دست آمده را نشان می‌دهد. بر این اساس تابع رگرسیون مربوط به داده‌های فوق به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$SUHI_{max} = 0.1643 * UHI_{max} + 2.518 \quad (16)$$

جدول ۴: مقادیر متوسط $SUHI_{max}$ و UHI_{max} کانیون‌های طبقه‌بندی شده

Class	Mean_Height	Mean_Width	Mean_H/W	Mean_UHI_max (°C)	Mean_SUHI_max (°C)
۱	۱/۰۰	۴۸/۲۹	۰/۱۷	۰/۵۱	۲/۹۸
۲	۱۰/۵۲	۴۴/۴۳	۰/۲۴	۱/۷۴	۳/۳۲
۳	۱۰/۸۳	۲۹/۸۷	۰/۳۷	۳/۴۶	۲/۷۳
۴	۱۰/۳۶	۲۳/۳۰	۰/۴۵	۴/۲۵	۳/۱۴
۵	۱۰/۶۸	۱۹/۰۷	۰/۵۶	۵/۱۵	۳/۰۴
۶	۱۱/۴۰	۱۷/۴۳	۰/۶۵	۵/۷۷	۳/۱۰
۷	۱۱/۷۵	۱۵/۵۹	۰/۷۵	۶/۳۳	۳/۲۸
۸	۱۳/۲۹	۱۶/۰۹	۰/۸۲	۶/۶۸	۳/۶۳
۹	۱۱/۰۵	۱۱/۴۸	۰/۹۵	۷/۳۰	۳/۳۵
۱۰	۱۱/۵۹	۱۰/۹۲	۱/۰۶	۷/۷۰	۳/۶۸
۱۱	۲۲/۷۱	۱۷/۵۰	۱/۳۰	۸/۴۸	۴/۲۹
۱۲	۲۹/۰۰	۱۲/۹۲	۲/۲۵	۱۰/۶۶	۴/۶۲
۱۳	۱۹/۰۰	۸/۰۳	۲/۳۷	۱۰/۸۷	۴/۴۴
۱۴	۱۷/۶۷	۶/۹۵	۲/۵۴	۱۱/۱۶	۴/۴۳



شکل ۷: نمودار رگرسیون خطی UHI_{max} و $SUHI_{max}$ در کانیون‌های طبقه‌بندی شده. منبع: نگارندگان

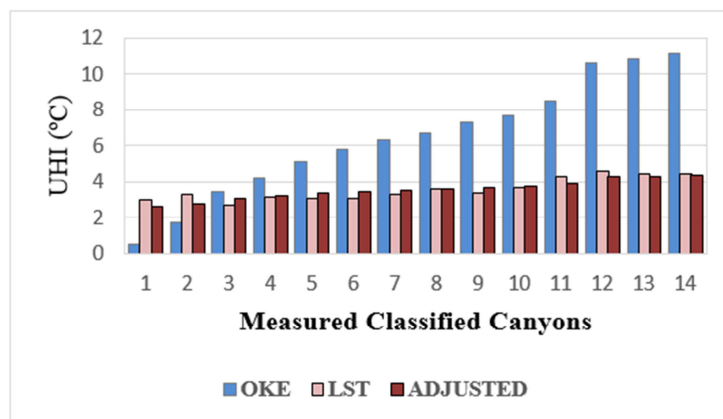
پس از طبقه‌بندی کانیون‌ها و انجام تحلیل رگرسیون، ضرایب تشخیص (R^2) و همبستگی داده‌ها (ρ) به ترتیب ۰,۷۴ و ۰,۸۶ محاسبه شد. از تلفیق معادله (۱۳) با رابطه (۱۶)، مدل پیش‌بینی بیشینه شدت جزیره گرمایی کانیون‌های شهری در محدوده مورد مطالعه به صورت رابطه (۱۷) بیان می‌شود:

$$SUHI_{max-adjusted} = 0.1643 [7.45 + 3.97 \ln(H/W)] + 2.5181 \quad (17)$$

رابطه فوق، مدل تعدیل‌شده (محلی) بیشینه شدت جزیره گرمایی کانیون‌های شهری بر اساس پارامتر نسبت‌منظر در روش SCA می‌باشد. جدول (۵) مقادیر شدت جزیره گرمایی کانیون‌های طبقه‌بندی شده از مدل اوکه، تصاویر LST و مدل تعدیل‌شده (محلی) را نشان می‌دهد. شکل (۸) نمودار مقایسه مقادیر فوق را نشان می‌دهد.

جدول ۶: بیشینه شدت جزیره گرمایی حاصل از مدل اوکه، تصاویر LST و مدل تعدیل‌شده (محلی) در کانیون‌های طبقه‌بندی شده

Class	Mean_H/W	UHI_OKE (°C)	SUHI_max (°C)	SUHI_max (Adjusted) (°C)
۱	۰/۱۷	۰/۵۱	۲/۹۷	۲/۶۰
۲	۰/۲۴	۱/۷۴	۳/۱۷	۲/۸۰
۳	۰/۳۷	۳/۴۶	۲/۸۶	۳/۰۹
۴	۰/۴۵	۴/۲۵	۳/۲۶	۳/۲۲
۵	۰/۵۶	۵/۱۵	۳/۱۰	۳/۳۶
۶	۰/۶۵	۵/۷۷	۳/۲۳	۳/۴۷
۷	۰/۷۵	۶/۳۳	۳/۴۶	۳/۵۶
۸	۰/۸۲	۶/۶۸	۳/۷۵	۳/۶۲
۹	۰/۹۵	۷/۳۰	۳/۴۳	۳/۷۲
۱۰	۱/۰۶	۷/۶۹	۳/۸۰	۳/۸۷
۱۱	۱/۳۰	۸/۴۸	۴/۱۰	۳/۹۱
۱۲	۲/۲۵	۱۰/۶۶	۴/۷۹	۴/۲۷
۱۳	۲/۳۷	۱۰/۸۷	۴/۵۰	۴/۳۰
۱۴	۲/۵۴	۱۱/۱۶	۴/۶۲	۴/۳۵



شکل ۸: مقایسه مقادیر بیشینه شدت جزیره گرمایی حاصل از مدل اوکه، LST و مدل محلی در کانیون‌های طبقه‌بندی شده.

مقایسه مقادیر بیشینه شدت جزیره گرمایی حاصل از مدل تعدیل‌شده (محلی) و تصاویر LST نشان‌دهنده نزدیک شدن نتایج حاصل از مدل محلی به مقادیر اندازه‌گیری حاصل از تصاویر LST و در نتیجه بهبود نتایج در کانیون‌های طبقه‌بندی شده می‌باشد. برای بررسی دقت مدل مذکور، از ۵۸ کانیون ناحیه تست موجود در محدوده مورد مطالعه استفاده شد. بدین منظور، شدت جزیره گرمایی این کانیون‌ها با استفاده از مدل تعدیل‌شده اوکه محاسبه و با نتایج حاصل از تصاویر LST مقایسه گردید. بر این اساس مقادیر RMSE و MAE به ترتیب ± 0.80 و 0.67 درجه سانتی‌گراد محاسبه گردید.

معادله پیش‌بینی UHI_{max} تابعی از دو پارامتر H و W است. برای بررسی میزان تأثیر هر کدام از این پارامترها بر پدیده جزیره گرمایی شبانه، می‌توان معادله مذکور را در حالت کلی به شکل رابطه (۱۸) نوشت:

$$UHI_{max} = a_0 + a_1 \ln(H) + a_2 \ln(W) \quad (18)$$

ضرایب a_0 ، a_1 و a_2 با استفاده از مقادیر H، W و شدت جزیره گرمایی اندازه‌گیری شده کانیون‌ها و رگرسیون چند متغیره قابل محاسبه است. با توجه به این‌که تابع لگاریتم طبیعی، یک تابع اکیداً صعودی است، با محاسبه این ضرایب می‌توان میزان تأثیرگذاری پارامترهای مذکور در شدت جزیره گرمایی را بررسی و مقایسه کرد. با انجام رگرسیون، a_1 و a_2 به ترتیب ۱،۴۳ و -۰،۳۵ محاسبه شد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تأثیر شاخص هندسه شهری بر شدت جزیره گرمایی شبانه با استفاده از فناوری سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفت. ضرایب تشخیص (R^2) و همبستگی (ρ) و مربوط به انجام تحلیل رگرسیون بر روی بیشینه شدت جزایر گرمایی حاصل از مدل اوکه و تصاویر LST منطقه مورد مطالعه، به ترتیب ۰،۷۴ و ۰،۸۶ محاسبه شد. ضریب تشخیص بیان‌گر آن است ۷۴٪ از تغییرات $SUHI_{max}$ تحت تأثیر UHI_{max}

بوده و بقیه تغییرات آن به عوامل دیگر مربوط است. همچنین مقدار ضریب همبستگی (۰,۸۶) نشان‌دهنده وجود همبستگی نسبتاً بالا در میان دو دسته داده مذکور است. می‌توان نتیجه گرفت؛ میان شاخص هندسه شهری و بیشینه شدت جزیره گرمایی، یک همبستگی بالا وجود داشته و هندسه شهری به گونه نسبتاً قابل توجهی در شکل‌گیری جزایر گرمایی شبانه اثرگذار است. این نتیجه با یافته‌های تحقیقات اوکه (۱۹۸۱) و ناکاتا و همکاران (۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۸) مشابهت دارد. در این پژوهش، دقت مدل محلی (حاصل از تحلیل رگرسیون) به وسیله مقادیر RMSE و MAE مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. مقادیر RMSE و MAE مدل محلی ارائه شده در ناحیه چک، به ترتیب $\pm 0,80$ و $0,67$ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد که نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل مذکور در منطقه می‌باشد. در مطالعات انجام شده توسط اوکه (۱۹۸۱) و ناکاتا و همکاران (۲۰۱۳ و ۲۰۱۸) ارزیابی دقت مدل‌های ارائه شده صورت نگرفته و فقط به ارائه یک مدل پیش‌بینی شدت جزیره گرمایی شبانه بر اساس شاخص هندسه شهر بسنده شده است. در پژوهش علیجانی و همکاران (۱۳۹۶) نیز صرفاً استفاده از مدل اوکه در منطقه مطالعاتی مورد نظر قرار گرفته و نتیجه‌گیری‌ها بر این اساس ارائه شده است. همچنین نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون دو متغیره بر روی داده‌ها نشان می‌دهد ارتفاع متوسط ساختمان‌ها (با ضریب ۱,۴۳) در مقایسه با عرض متوسط معابر (با ضریب ۰,۳۵-)، تأثیر بیشتری را بر تغییرات شدت جزایر گرمایی شبانه شهری دارد. علامت ضرایب مذکور نشان می‌دهد؛ افزایش ارتفاع ساختمان‌ها در کانیون‌های شهری موجب افزایش شدت جزایر گرمایی شبانه می‌شود و حال آن‌که با افزایش عرض متوسط معابر و فاصله ساختمان‌ها از یکدیگر میزان شدت جزایر گرمایی شبانه شهرها کاسته می‌شود. این نتیجه با یافته‌های پژوهش علیجانی و همکاران (۱۳۹۶) که بیان می‌دارد؛ عرض معابر در مقایسه با ارتفاع ساختمان‌ها بر جزایر حرارتی شبانه تأثیر بیشتری را ایجاد می‌کند؛ مغایرت دارد. استفاده صرف از مدل اوکه، عدم استفاده از داده‌های واقعی و عدم اعتبارسنجی مدل مورد استفاده در تحقیق مذکور از جمله دلایل عدم مطابقت نتیجه آن تحقیق با نتیجه پژوهش حاضر است. در مطالعات مربوط به بررسی جزایر گرمایی شبانه شهری (که در مقدمه این تحقیق به برخی از آن‌ها اشاره شده است) استفاده از داده‌های سنجنده‌های حرارتی در بازه زمانی مورد نظر ضروری است و حال آنکه، با وجود مدل محلی حاصل از انجام این تحقیق؛ نیاز به داده‌های سنجنده‌های حرارتی در مطالعات جزایر گرمایی شبانه مرتفع شده و بیشینه شدت جزایر گرمایی بر اساس المان‌های هندسی شهری (ارتفاع متوسط ساختمان‌ها و عرض متوسط معبر موجود در یک کانیون) قابل محاسبه است. این قابلیت در مطالعات مذکور وجود ندارد. همچنین، مطالعات فوق‌الذکر صرفاً توانایی محاسبه و بررسی جزایر گرمایی شهری بر اساس وضع موجود شهر را دارا بوده و قابلیت پیش‌بینی شدت جزایر گرمایی بر اساس طراحی‌های شهری آتی را ندارند، در حالی‌که مدل محلی ارائه شده این نقصان را بر طرف می‌نماید. لذا روش و نتیجه انجام این تحقیق می‌تواند به کارشناسان و برنامه‌ریزان شهری در تهیه طرح‌های معماری-شهرسازی بهینه با دیدگاه کاهش اثرات منفی پدیده UHI، تأمین بیشترین آسایش حرارتی شهروندان و پیش‌بینی زیرساخت‌های آبی مرتبط با تأمین انرژی برق در مناطق شهری کمک شایانی نماید. همچنین، نتیجه انجام این تحقیق می‌تواند بدون نیاز به اندازه‌گیری‌های مستقیم درجه حرارت هوا و یا هرگونه دسترسی و پردازش داده‌های سنجنده‌های حرارتی، به شناسایی نحوه توزیع مکانی پدیده UHI و تعیین مناطق با بیشینه شدت جزیره گرمایی بالاتر کمک نماید.

قدرت تفکیک مکانی نسبتاً پایین سنجنده‌های حرارتی (از جمله سنجنده استر)، امکان اندازه‌گیری دمای سطح زمین را در رزولوشن‌های بالا نمی‌دهد و این امر سبب کاهش دقت اندازه‌گیری‌های دمای مورد نیاز در محدوده‌های مطالعاتی و در نتیجه کاهش دقت مدل‌های محلی تهیه شده می‌گردد. این موضوع، از جمله محدودیت‌های پژوهش حاضر محسوب شده و به نظر می‌رسد با افزایش قدرت تفکیک مکانی سنجنده‌های حرارتی در آینده، بتوان با روش ارائه شده در این تحقیق به نتایج بهتری دست یافت. عدم همکاری دستگاه‌های اجرایی متولی تهیه داده‌های مکانی پایه شهری در خصوص ارائه اطلاعات مورد نیاز تحقیق از دیگر محدودیت‌های این تحقیق بوده است. همچنین، محدودیت وجود داده‌های سنجنده استر از منطقه مورد مطالعه از مشکلات دیگر این تحقیق بود. با توجه به قدرت تفکیک زمانی (۱۶ روزه) سنجنده استر انتظار می‌رفت داده‌های حرارتی زیادی از منطقه مورد مطالعه در دسترس باشد. با این حال، صرفاً ۶ تصویر حرارتی شبانه در دسترس قرار گرفت. شرایط جوی نامساعد و ابرناک بودن منطقه در زمان تصویربرداری، عدم بارگذاری کامل تصاویر مورد نیاز در وبسایت USGS از جمله دلایل محدودیت وجود اطلاعات در این تحقیق به حساب می‌آید. به نظر می‌رسد؛ استفاده از تصاویر حرارتی بیشتر و در بازه‌های زمانی متفاوت بتواند در مدل‌سازی دقیق‌تر شدت جزیره گرمایی کمک شایانی نماید. در مدل‌سازی بیشینه شدت جزایر گرمایی شهری ارائه شده در این تحقیق، صرفاً تأثیر دو المان ارتفاع ساختمان‌ها و عرض متوسط معابر مورد بررسی قرار گرفت. بررسی تأثیر سایر المان‌های شهری بر روی تغییرات شدت جزایر گرمایی شبانه از جمله: جهت معابر، سطح اشغال ساختمان‌ها، سطح نمای ساختمان‌ها در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد. همچنین استفاده از الگوریتم‌های سنجش از دور که مبتنی بر تلفیق و استفاده از دو باند حرارتی می‌باشد؛ در مطالعات آتی مربوط به مدل‌سازی این پدیده و بررسی و مقایسه نتایج آن با نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود.

تقدیر و تشکر

از همکاری‌های ارزنده سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران در ارائه لایه‌های اطلاعات مکانی مورد نیاز انجام این تحقیق در محدوده مورد مطالعه سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

- صادقی‌نیا علی‌رضا، علیجانی بهلول، ضیاییان فیروزآبادی پرویز، (۱۳۹۱). تحلیل فضایی- زمانی جزیره حرارتی کلان شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره (۱)، شماره (۴)، صص ۱۷-۱.
- [10.22067/geo.v1i4.16950](https://doi.org/10.22067/geo.v1i4.16950)
- صادقی‌نیا علی‌رضا، علیجانی بهلول، ضیاییان فیروزآبادی پرویز، خالدی شهریار، (۱۳۹۲). کاربرد تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی در تحلیل جزیره حرارتی شهر تهران، فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره (۱۳)، شماره (۳۰)، صص ۶۷-۹۰.
- <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-1623-fa.html>
- رضایی‌راد هادی، رفیعان مجتبی، (۱۳۹۶). برآورد تغییرات فضایی- زمانی شدت جزیره حرارتی کلانشهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT8 و ASTER، برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره (۷)، شماره (۲۷)، صص ۶۰-۴۷.
- <http://ensani.ir/fa/article/download/376979>

- علیجانی بهلول، طولابی نژاد میثم، صیادی فریبا، (۱۳۹۶). محاسبه شدت جزیره حرارتی بر اساس هندسه شهری مورد مطالعه: محله کوچه باغ شهر تبریز، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره (۴)، شماره (۳)، صص ۹۹-۱۱۲. <http://jsaeh.knu.ac.ir/article-1-2752-fa.html>
- هاشمی درهبادامی سیروس، درویشی بلورانی علی، علوی پناه سید کاظم، ملکی محمد، بیات رضا، (۱۳۹۸). تحلیل تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چند زمانه سنجنده مادیس (مطالعه موردی: کلانشهر تهران)، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره (۱۹)، شماره (۵۲)، صص ۱۱۳-۱۲۸. <http://jgs.knu.ac.ir/article-1-2745-fa.html>
- Abrams, M, Hook, S., Ramachandran, B., (2002), ASTER User Handbook, version 2, Jet Propulsion Laboratory: Pasadena, CA, USA. https://pdaac.usgs.gov/documents/262/ASTER_User_Handbook_v2.pdf.
- Carlson, T.N., Ripley, D.A., (1997), On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. Remote Sensing of Environment, 62: 241-252. doi:10.1016/s0034-4257(97)00104-1.
- Jiménez-Muñoz J.C., Sobrino J.A., (2003), A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, <https://doi.org/10.1029/2003JD003480>.
- Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Gillespie, A., Sabol, D., Gustafson, (2006), W.T. Improved land surface emissivities over agricultural areas using ASTER NDVI. Remote Sensing of Environment, 103: 474-487. doi:10.1016/j.rse.2006.04.012 .
- Jiménez-Muñoz J.C., Cristóbal J., Sobrino J.A., Soria G., Ninyerola M.; Pons X., (2009), Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data. IEEE Transaction in Geoscience and Remote Sensing, 47: 339-349. doi:10.1109/TGRS.2008.2007125.
- J. C., Sobrino J. A., (2010), A Single-Channel algorithm for land surface temperature retrieval from ASTER data, IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, 1: 176 – 179. doi:10.1109/LGRS.2009.2029534.
- Li W., Putra S. Y., Yang P.P., 2004, GIS analysis for the climatic evaluation of 3D urban geometry-The development of GIS analytical tools for sky view factor, Journal Alam Bina, 1:175-187
- Li H., Liu Q., (2008), Comparison of NDBI and NDVI as indicators of surface urban heat island effect in MODIS imagery, Proceedings Volume 7285, International Conference on Earth Observation Data Processing and Analysis (ICEODPA); 728503. <https://doi.org/10.1117/12.815679>.
- Liu L., Zhang, Y., (2011), Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. Remote Sensing, 3, 1535-1552. <https://doi.org/10.3390/rs3071535>
- Nakata, C.M., Souza, L.C.L., (2013), Verification of the influence of urban geometry on the nocturnal heat island intensity, Journal of Urban and Environmental Engineering, 2:286-292. <https://www.jstor.org/stable/26189199>.
- Nakata O C M, De Souza L. C. L., Rodrigues D.S., (2015), A GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry, Proceedings of CUPUM 2015, Conference Cambridge, Massachusetts (USA):1-16. http://ctac.uminho.pt/sites/default/files/biblio/2129-2015_CUPUM_julho_346_nakata-osaki_h.pdf.
- Nakata-Osaki, C.M., Souza, L.C.L., Rodrigues, D.S., (2018), THIS – Tool for Heat Island Simulation: A GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry, Computers, Environment and Urban Systems, 67:157-168. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2017.09.007.
- Oke T. R., (1981), Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. International Journal of Climatology, 1, 237-254. <https://doi.org/10.1002/joc.3370010304>.
- Oke T.R., (1982), The energetic base of urban heat island. Quartely Journal of the Royal Meteorological Society. London. Elsevier Science. 108:1-24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>.
- Oke, TR (1984), Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. Energy and Buildings 7(1):1-10. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(84\)90040-9](https://doi.org/10.1016/0378-7788(84)90040-9).
- Roth M., (2013), Urban heat islands, Handbook of Environmental Fluid Dynamics, Volume Two, edited by Harindra Joseph Sermal Fernando. CRC Press/Taylor & Francis Group, LLC. ISBN: 978-1-4665-5601-0. <http://profile.nus.edu.sg/fass/geomr/roth%20uhi%20hefd13.pdf>
- Svensson, M., Eliasson, I., Holmer, B., (2002), A GIS based empirical model to simulate air temperature variations in the Göteborg urban area during the night. Climate Research, 22: 215-226. doi:10.3354/cr022215.
- Tuan L. M., Cao T. A. T., Tran N. A. Q, Le T. K. C, Sadriavich S. I., huong N. T.K., (2019), Case Study of GIS Application in Analysing Urban Heating Island Phenomena in Tropical Climate Country, IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 661:012090. doi:10.1088/1757-899X/661/1/012090.
- Urban Heat Island Basics, (2008), “Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies”, U.S. EPA. https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_1.pdf.
- Van de Griend, A., Owe, M., (1993), On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. International Journal of Remote Sensing, 14, 1119. <https://doi.org/10.1080/01431169308904400>.

References

References (in Persian)

- Sadeghinia, A., Alijani, B., Zeaieanfiroozabadi, P. (2013). Analysis of Spatial-Temporal Structure of the Urban Heat Island in Tehran through Remote Sensing and Geographical Information System, *Geography and Environmental Hazards*, 1(4):1-17. doi: [10.22067/geo.v1i4.16950](https://doi.org/10.22067/geo.v1i4.16950). [In Persian]
- Sadeghinia, A., Alijani, B., Zeaieanfiroozabadi, P., Khaledi Sh. (2013). Application of Spatial autocorrelation techniques in analyzing the heat island of Tehran, *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 13(30):67-90. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-1623-fa.html>. [In Persian]
- Rezaeei Rad, H., Raffeyan, M. (2017). Estimating the spatial-temporal Changes in intensity of the heat island in Tehran Metropolitan by Using ASTER and Landsat8 Satellite Images, *journal of Regional Planning*, 7 (27): 47-60. <http://ensani.ir/fa/article/download/376979>. [In Persian]
- Alijani, B., Toulabi nejad, M., sayadi, F. (2017). Calculating of Heat Island Intensity Based on Urban Geometry (Case Study: District of Kucheh bagh in Tabriz), *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 4 (3) :99-112. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2752-fa.html>. [In Persian]
- Hashemi Darebadami, S., Darvishi Boloorani, A., Alavipanah, S. K., Maleki M., Bayat R. (2019). Investigation of changes in surface urban heat-island (SUHI) in day and night using multi-temporal MODIS sensor data products (Case Study: Tehran metropolitan), *Journal of Applied researches in Geographical Sciences* 19(52):113-128. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2745-fa.html>. [In Persian]

References (in English)

- Abrams, M, Hook, S., Ramachandran, B., (2002), ASTER User Handbook, version 2, Jet Propulsion Laboratory: Pasadena, CA, USA. https://lpdaac.usgs.gov/documents/262/ASTER_User_Handbook_v2.pdf.
- Carlson, T.N., Ripley, D.A. (1997), On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62: 241–252. doi:[10.1016/s0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(97)00104-1).
- Jiménez-Muñoz J.C., Sobrino J.A., (2003), A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. <https://doi.org/10.1029/2003JD003480>.
- Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Gillespie, A., Sabol, D., Gustafson, (2006), W.T. Improved land surface emissivities over agricultural areas using ASTER NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 103: 474–487. doi:[10.1016/j.rse.2006.04.012](https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.04.012).
- Jiménez-Muñoz J.C., Cristóbal J., Sobrino J.A., Soria G., Ninyerola M.; Pons X., (2009), Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data. *IEEE Transaction in Geoscience and Remote Sensing*, 47: 339-349. doi:[10.1109/TGRS.2008.2007125](https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2007125).
- J. C., Sobrino J. A., (2010), A Single-Channel algorithm for land surface temperature retrieval from ASTER data, *IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS*, 1: 176 – 179. doi:[10.1109/LGRS.2009.2029534](https://doi.org/10.1109/LGRS.2009.2029534).
- Li W., Putra S. Y., Yang P.P.2004, GIS analysis for the climatic evaluation of 3D urban geometry-The development of GIS analytical tools for sky view factor, *Journal Alam Bina*,1:175-187
- Li H., Liu Q., (2008), Comparison of NDBI and NDVI as indicators of surface urban heat island effect in MODIS imagery, *Proceedings Volume 7285, International Conference on Earth Observation Data Processing and Analysis (ICEODPA)*; 728503. <https://doi.org/10.1117/12.815679>.
- Liu L., Zhang, Y., (2011), Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*,3, 1535–1552. <https://doi.org/10.3390/rs3071535>
- Nakata, C.M., Souza, L.C.L, (2013), Verification of the influence of urban geometry on the nocturnal heat island intensity, *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 2:286-292. <https://www.jstor.org/stable/26189199>.
- Nakata O C. M, De Souza L. C. L, Rodrigues D.S., (2015), A GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry, *Proceedings of CUPUM 2015, Conference Cambridge, Massachusetts (USA)*:1-16. http://ctac.uminho.pt/sites/default/files/biblio/2129-2015_CUPUM_julho_346_nakata-osaki_h.pdf.
- Nakata-Osaki, C.M., Souza, L.C.L, Rodrigues, D.S., (2018), THIS – Tool for Heat Island Simulation: A GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry, *Computers, Environment and Urban Systems*, 67:157-168. doi:[10.1016/j.compenvurbsys.2017.09.007](https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.09.007).
- Oke T. R., (1981), Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *International Journal of Climatology*, 1, 237-254. <https://doi.org/10.1002/joc.3370010304>.
- Oke T.R., (1982), The energetic base of urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. London. Elsevier Science. 108:1-24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>.
- Oke, TR (1984), Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. *Energy and Buildings* 7(1):1-10. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(84\)90040-9](https://doi.org/10.1016/0378-7788(84)90040-9).
- Roth M., (2013), Urban heat islands, *Handbook of Environmental Fluid Dynamics*, Volume Two, edited by Harindra Joseph Sermal Fernando. CRC Press/Taylor & Francis Group, LLC. ISBN: 978-1-4665-5601-0. <http://profile.nus.edu.sg/fass/geomr/roth%20uhi%20hefd13.pdf>

- Svensson, M., Eliasson, I., Holmer, B., (2002), A GIS based empirical model to simulate air temperature variations in the Göteborg urban area during the night. *Climate Research*, 22: 215–226. doi:[10.3354/cr022215](https://doi.org/10.3354/cr022215).
- Tuan L. M. , Cao T. A. T., Tran N. A. Q, Le T. K. C, Sadriavich S. I., huong N. T.K., (2019), Case Study of GIS Application in Analysing Urban Heating Island Phenomena in Tropical Climate Country, IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 661:012090. doi:[10.1088/1757-899X/661/1/012090](https://doi.org/10.1088/1757-899X/661/1/012090).
- Urban Heat Island Basics, (2008), “Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies”, U.S. EPA. https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_1.pdf.
- Van de Griend, A., Owe, M., (1993), On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1119. <https://doi.org/10.1080/01431169308904400>.